

Licht ist Leben !

Gliederung:

- Einleitung
- Was ist Licht
- Begriffe und deren Bedeutung
- Lichtverhältnisse an tropische Riffen
 - Strahlungsintensitäten
 - spektrale Lichtverteilung
 - Strahlungsausrichtung

Licht als lebenswichtiger Faktor zooxanthellater Koralle

- Untersuchungen verschiedener moderner Leuchtmittel
- Qualität von Lichtsystemen für die Aquaristik
- Zusammenfassung

Einleitung:

Licht ist eines der wichtigsten Existenzgrundlagen für das Leben im Riff.

Dies wird schon deutlich, wenn man sich die Artenvielfalt an sonnendurchfluteten tropischen Riffdächer anschaut. Im folgendem Vortrag wird neben einigen technischen Grundkenntnissen auch auf wichtige biologische Aspekte eingegangen.

Gerade in diesem Gebiet, sind die Kenntnisse in den letzten 10 Jahren durch neue wissenschaftliche Arbeiten wesentlich größer geworden, die für das Verständnis des Lichtbedarfes unserer Korallen jedoch sehr wertvoll sind.

Was ist Licht ?

Als Licht wird derjenige Anteil der elektromagnetischen Strahlung bezeichnet, für den unser menschliches Auge empfindlich ist. Dieser Bereich liegt von ca. 380 nm bis 780 nm. Es gibt keine genauen Grenzen für den Spektralbereich der sichtbaren Strahlung, da diese von dem Betrag der Strahlungsleistung, die die Netzhaut erreicht und von der Augenempfindlichkeit des Beobachters abhängen.

Zur Wahrnehmung von Licht enthält das menschliche Auge zwei Arten von lichtempfindlichen Rezeptoren:

- Die Zapfen, die farbiges Sehen ermöglichen ("Tageslichtsehen"), mit Maximum der Lichtempfindlichkeit im Gelb-Grünen, bei einer Lichtwellenlänge von $\lambda = 555\text{nm}$ (Tageswertkurve $V(\lambda)$)
- Die hochempfindlichen Stäbchen, die schwarz/weißes Sehen ermöglichen ("Nachtsehen"), mit Maximum der Lichtempfindlichkeit im Grünen, bei einer Lichtwellenlänge von $\lambda = 507\text{nm}$ (Nachtwertkurve und $V'(\lambda)$).

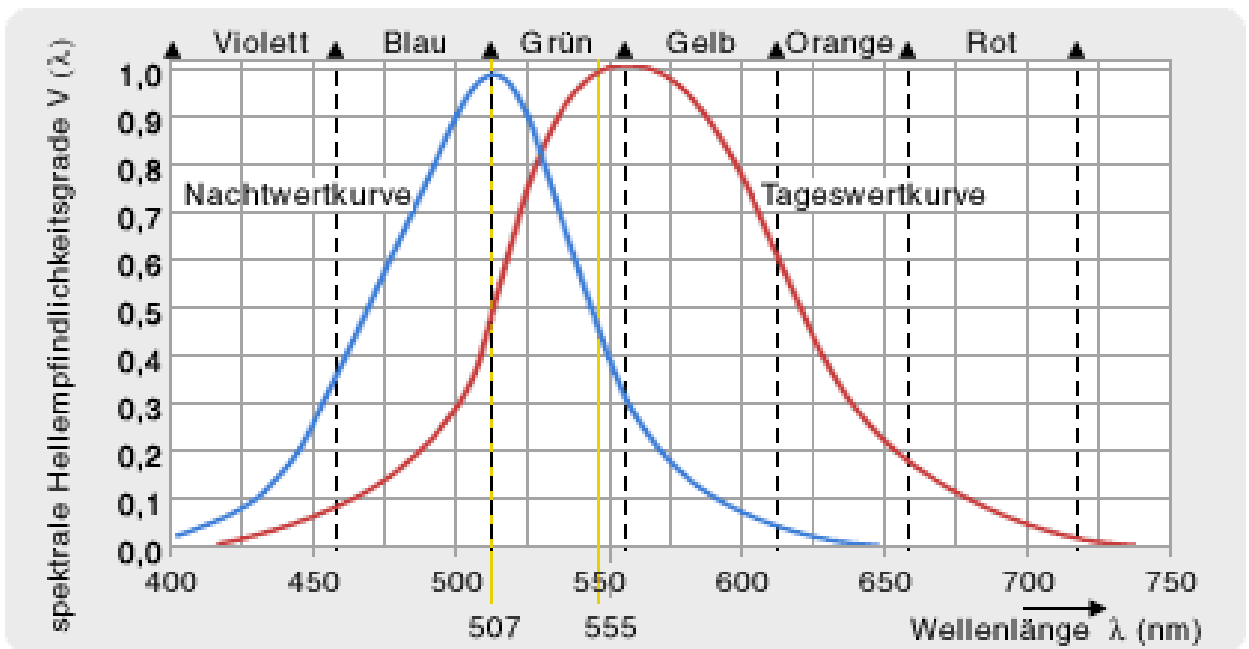


Abb. 1: spektrale Augenempfindlichkeit

Begriffe und deren Bedeutung

- **LUMEN Lichtstrom**

Der Lichtstrom F [lm] stellt die gesamte von einer Lichtquelle in den Raum abgegebene Strahlungsleistung dar, **die mit der spektralen Augenempfindlichkeit V_λ bewertet wird. (siehe Abb. 1)**

Fazit: + gutes Maß zur Beurteilung der Helligkeitsleistung einer Lampe,
- schlechtes Maß für die Aquaristik, da dieser Wert spektral auf das Helligkeitsempfinden des menschlichen Auges abgestimmt ist, was jedoch nicht den spektralem „Empfinden“ unserer Pfleglinge (Korallen) entspricht. Gerade der wichtige Blauanteil wird hier z.B. nicht genügend erfasst.

- **LUX Beleuchtungsstärke E**

Einheit lux [lx]: $E = F / A$

F = Lichtstrom in Lumen
 A = Fläche

Die Beleuchtungsstärke E gibt das Verhältnis des auffallenden Lichtstroms zur beleuchteten Fläche an. Die Beleuchtungsstärke beträgt 1 lx, wenn der Lichtstrom 1 lm auf eine Fläche von 1 m² gleichmäßig auftrifft.

Fazit: Da auch Lux der spektralen Augenempfindlichkeit unterliegt, ist auch diese Einheit für die Aquaristik nur eingeschränkt brauchbar

- **KELVIN Farbtemperatur**

Der Wert in Kelvin sagt nur etwas über die Farbtemperatur einer Lichtquelle aus. Die Farbtemperatur einer Lichtquelle gibt die Farbmischung (Summe) aller Spektralanteile wieder. Rückschlüsse über spektralen Zusammensetzung und die Farbqualität einer Lichtquelle sind jedoch nicht möglich. Zwei Lichtquellen mit völlig verschiedener spektralen Zusammensetzung können durchaus die gleiche Farbtemperatur d.h. die selbe Kelvinzahl besitzen.

Fazit: Kelvinangaben werden sehr gerne bei Leuchtmittel für die Aquaristik angegeben. Tatsächlich spielt dieser Wert jedoch keine bedeutende Rolle, da weder Rückschlüsse auf die spektrale Lichtzusammensetzung noch auf die Farbqualität gemacht werden können. Höhere Kelvinzahlen bedeuten somit auch nicht automatisch das ein Leuchtmittel einen höheren Blauanteil hat. Höhere Kelvinzahlen bei einem Leuchtmittel können ebenso durch einen höheren Violettanteil zustande kommen. Der Wert ist daher eher ungeeignet für brauchbare Diskussionen in der Aquaristik und wird auch von Biologen gar nicht beachtet.

- **Photonenfluss PFD:**

Einheit: $E \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ oder auch $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$

Dieser Wert gibt an wie viel Mikro Mol an Photonen pro Sekunde auf m² fällt und ist unter biologischen Gesichtspunkten eine wichtige Größe, da hier wirklich die Menge der photosynthetisch aktiven Photonen bestimmt wird.

Bei der **Photonenflussdichte (PFD)** wird die sichtbare Strahlung zwischen 400-700nm gemessen.

Man spricht hier auch von **photosynthetisch aktiver Strahlung (PAR)**, wobei keine spektrale Bewertung vorgenommen wird.

Im Gegensatz hierzu steht die **photosynthetisch nutzbare Strahlung (PUR)**,

- **Spektren**

Emissionsspektren geben Aufschluss über die spektrale Lichtzusammensetzung einer Lichtquelle. Unser menschliches Auge ist für die Beurteilung der Lichtqualität als Instrument völlig ungeeignet, da zwei Lampen mit dem gleichem Farbort (optischer Farbeindruck einer Lampe) auch völlig unterschiedlich in der spektralen Zusammensetzung sein können. Eine weiße Lichtquelle kann z.B. aus einem Vollspektrum, wie etwas das natürliche Sonnenlicht bestehen oder auch nur durch drei einzelne Peaks aus dem jeweils blauen, grünen und roten Bereich.

Wenn man sich Spektren anschaut, sollte man jedoch auch darauf achten, das es sich nicht um „beschönigte“ Spektren handelt.

Hierbei sollten die prozentualen Angaben auf der y-Achse bis 100% gehen. Häufig werden nur gekappte Spektren auf Verkaufsverpackungen gezeigt, die schon bei 30 oder 40% enden, um ein besseres Bild zu vermitteln.

Folgendes erfundene Beispiel soll dies verdeutlichen.

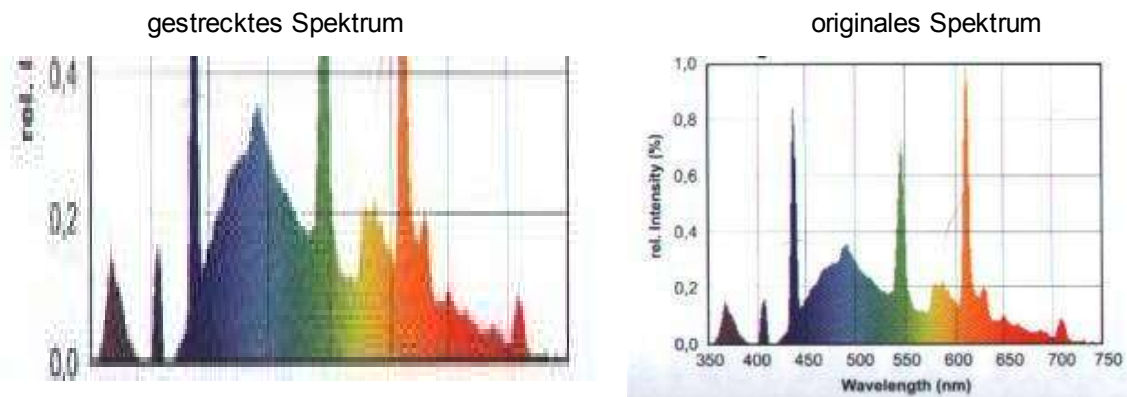


Abb. 2 : Spektren im Vergleich

Des weiteren sind auch häufig nur Angaben von 400 – 750 nm zu finden. Hierbei erfährt man jedoch nichts über eine mögliche UV-Belastung, die jedoch für die Riffaquaristik nicht unwichtig ist.

Fazit:

Ein Spektrum ist ein unerlässliches Instrument zur Beurteilung der Lichtqualität einer Lampe.

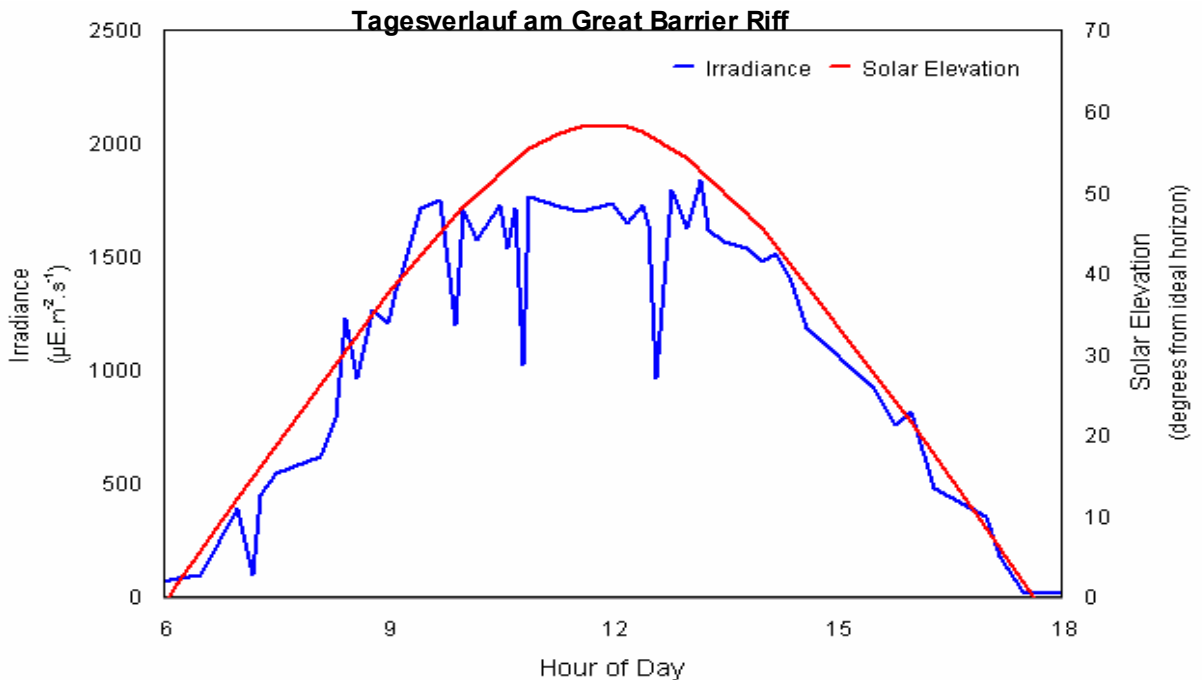
Nur ein Spektrum gibt Aufschluss über die spektrale Lichtzusammensetzung, und somit auch über die tatsächlichen Farbeigenschaften einer Lichtquelle.

Man sollte jedoch darauf achten, dass auf der x-Achsen der Bereich von 350 – 750 nm (also auch incl. der UVA - Strahlung) erfasst ist und auf der y-Achse die Skala bis 100% geht bzw. nicht gekappt ist. Nur so haben die Spektren eine brauchbare und vergleichbare Aussagekraft für die Aquaristik.

Lichtverhältnisse an tropischen Riffen

1. Strahlungsintensität

Die Strahlungsintensität oder besser Photonenflussdichte wird mit einem Quantum-Meter gemessen. Umrechnungen von einem Quantum-Meter auf Lux sind leider nicht ohne weiteres möglich. Doch als Orientierung hat man bei tropischem Sonnenlicht zur Mittagszeit ca.: 2000 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, was ca. 100.000 lux bzw. 900 Watt / m^2 entspricht.



Irradiance and solar elevation for September 2, 1998 at One Tree Island, Great Barrier Reef (23°30'S, 152°06'E) (A. Salih, unpublished data).

Abb 3:

Mit zunehmender Meerestiefe nimmt die Strahlungsintensität je nach Standort ab. Bereits nach 3 - 5 Meter Meerestiefe herrschen durchschnittlich 50% der Strahlungsintensität der Oberfläche vor. Bei Spitzenwertwerten von ca. 2000 μmol an der Oberfläche sind dies noch stolze 1000 μmol oder rund 45 - 50.000 Lux . Selbst in 10 Meter Meerestiefe herrschen an einem Außenriff noch 500-600 μmol oder rund 30.000 Lux vor. Hierbei handelt es sich jedoch um Spitzenwerte und nicht als Durchschnittswerte.

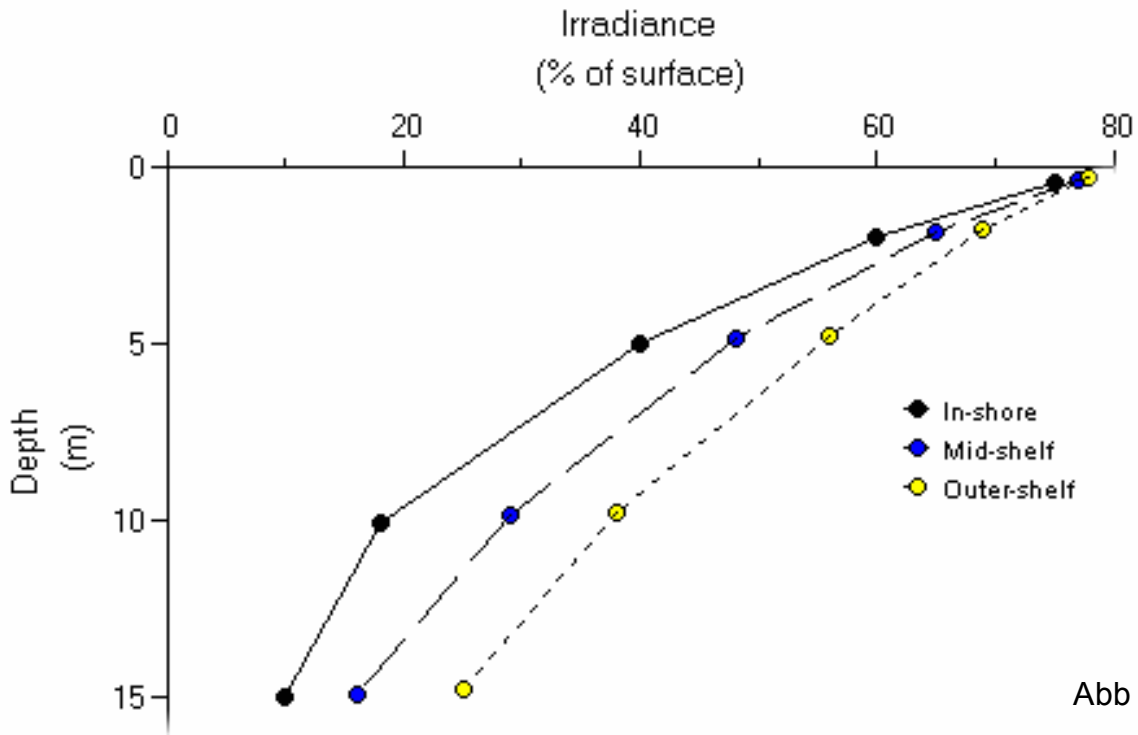


Abb 4:

In diesem Zusammenhang spielt der photosynthetische Sättigungspunkt bei Korallen eine wichtige Rolle. Der photosynthetische Sättigungspunkt beschreibt die Strahlungsintensität, bei der eine weitere Steigerung in der Strahlung zu keiner höheren Photosyntheserate führt. Dieser Wert ist jedoch nicht immer gleich und ist bei Schwachlichtbedingungen niedriger als bei Starklichtbedingungen. Dies liegt unter anderem daran, dass die Koralle (als Wirt) die Anzahl der Zooxanthellen unter Schwachlichtbedingungen erhöhen kann und gleichzeitig auch die räumliche Anordnung der wirtseigenen Pigmente so ändert, dass die Zooxanthellen im Wirtsgewebe mit photosynthetisch nutzbarer Strahlung (z.B. reemittierter Blaustrahlung, die von hinter den Zooxanthellen gelagerten UVA und violett absorbierenden Chromoproteinen kommt) sogar noch zusätzlich versorgt werden. Je nach Meerestiefe konnte man Sättigungspunkte bei z.B. Acroporen in 1-5 Meter Meerestiefe (also Riffdach) zwischen 330 - 410 μmol (ca. 15.000 - 20.000 Lux) feststellen. Derartige Strahlungsintensitäten findet man jedoch durchaus noch in Tiefen von 10 - 15 Meter. Selbst in diesen Tiefen haben Korallen also noch ihre maximale Photosyntheserate und somit optimale Wachstumsmöglichkeiten, was unter anderem auch noch das häufige Vorkommen von zooxanthellate Korallen bis in diesen Tiefen erklären lässt. Schaut man sich nun die Strahlungsintensität im Tagesverlauf an, ist der photosynthetische Sättigungspunkt vieler Korallen auf dem Riffdach schon bereits morgens um 9.00 Uhr erreicht und dauert bis ca. 16 - 17 Uhr an.

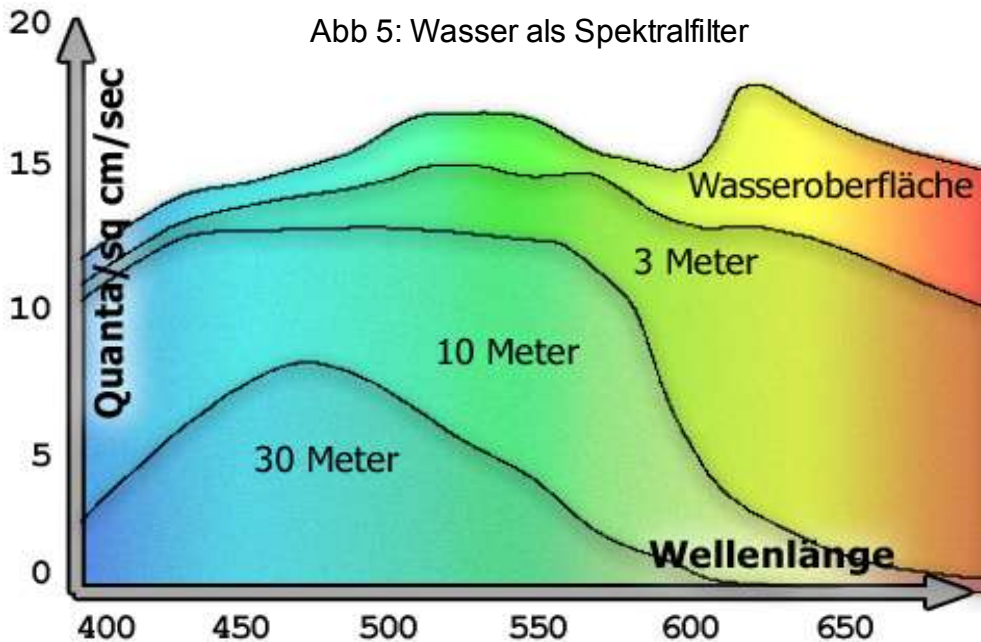
Fazit: Auf das Aquarium übertragen, ist es günstig die Hauptbeleuchtung für zooxanthellale Korallen so auszulegen, dass der photosynthetische Sättigungspunkt von rund 300 – 400 μmol (15 – 20.000 Lux) möglichst an den Koralle erreicht wird, Ab diesen Beleuchtungswerten wird die Photosynthese und somit auch das Wachstum der Korallen optimal unterstützt.

Zwar vermögen Korallen sich auch an schwächere Beleuchtungsstärken anzupassen, jedoch ist dies ein lebensnotwendiger Anpassungsmechanismus der Koralle, den man nicht unter dem Aspekt der Optimierung der Beleuchtungsbedingungen anstreben sollte.

Orientiert man sich an den täglichen Lichtperioden in tropischen Riffen, ergibt sich für die Hauptbeleuchtung eine tägliche Beleuchtungsphase von 7- 8 Stunden.

Eine vor- und nachgeschaltete Nebenbeleuchtung von jeweils 1-2 Stunden ist für die Simulation der täglichen Lichtperiode ebenfalls vorteilhaft, womit sich eine totale Beleuchtungsphase von 10 – 12 Stunden ergibt.

2. Veränderung der Lichtzusammensetzung mit zunehmender Meerestiefe



Mit zunehmender Wassertiefe verringert sich jedoch nicht nur die Strahlungsintensität. Je tiefer man im Meer hinabtaucht, umso bläustichiger wird das Licht. Bereits nach wenigen Metern wird der Rotanteil absorbiert. Auffällig ist jedoch, dass in einer Meerestiefe von rund 3 – 10 Meter, also von dort wo unsere meisten Korallen herkommen, die Lichtverteilung zwischen 425 nm (violettblau) – 560 nm (gelbgrün) sehr gleichmäßig ist. Erst mit zunehmender Wassertiefe von 20 – 30 Meter dominiert schließlich nur noch Blaulicht.

FAZIT: Eine naturnahe Lichtzusammensetzung für die meisten Korallen, zeichnet sich durch ein gleichmäßiges Spektrum von 425 – 560 nm aus. Der Gelborange und besonders der Rotanteil sollte jedoch deutlich geringer sein.

1. Strahlungsausrichtung

Mit zunehmender Wassertiefe wird auch die Strahlungsausrichtung des Lichtes beeinflusst.

Verantwortlich hierfür sind neben den gelösten Salzen, die zu einer leichten Streuung der Lichtstrahlen führen, auch Schwebeteilchen und Schwebelagen.

Mit zunehmender Tiefe wird das Licht also immer diffuser, so dass auch Schatten weniger kontrastreich sind. Gleichzeitig nimmt mit zunehmender Bodennähe und Beschaffenheit des Bodens auch der Anteil an „aufwelliger“ Strahlung zu.

Korallen erhalten so wesentlich mehr Licht von der Seite, was sich auch auf die Wuchsform vieler Korallen auswirkt.

Fazit: In der Natur herrscht je nach Standort auch ein mehr oder weniger großer Anteil an diffusem Streulicht vor. Hierauf sollte man bei der Aquarienbeleuchtung achten, indem man nicht nur eine punktförmige Lichtquelle zur Hauptbeleuchtung wählt und gegebenenfalls hellen (reflektierenden) Bodengrund (z.B. Live Sand) verwendet.

1. Veränderungen

Die Lichtbedingungen unter Wasser sind sowohl von der Strahlungsintensität als auch von der Lichtzusammensetzung niemals immer gleich.

Schon eine rauhe See führt z.B. bei niedrigem Sonnenstand zu einer geringeren Reflektionsrate an der Wasseroberfläche als bei glatter See und somit zu leicht höheren Strahlungsintensitäten unter Wasser. Jahreszeitlich bedingte Regenzeiten verringern über mehrere Monate deutlich die Strahlungsintensität.

Sich verändernde Strömungen führen zu unterschiedlichem Aufkommen von Phytoplankton, was wiederum die Lichtzusammensetzung unter Wasser beeinflusst. Letztendlich gibt es eine Vielzahl von Einflüssen, die für sich ständig ändernde Lichtbedingungen unter Wasser verantwortlich sind.

Entscheidend ist in diesem Zusammenhang das Veränderungen bei den Lichtbedingungen eher die Regel statt die Ausnahme darstellen. Dies steht im Gegensatz zu den meisten sehr konstanten abiotischen Faktoren, wie z.B. die sehr konstanten Wasserparameter (pH-Wert, KH-Wert, Calcium, Magnesium... sämtliche Makro- und Mikroelemente, Salinität).

Fazit: Leichte Variationen in den Lichtbedingungen kommt einer natürlicheren Beleuchtung näher als eine immer nur konstante Lichtbedingungen. Gezielte stärkere Variationen in der Beleuchtung sollten jedoch trotzdem nicht unbedingt herbeigeführt werden, da die Auswirkungen auf weitere biotische und abiotische Faktoren in unserem kleinem geschlossenem Ökosystem Aquarium wesentlich stärker ausfallen, als dies etwa im offenem Meer der Fall wäre. Veränderungen in der Beleuchtungsstärke können also zu stärkeren Auswirkungen in unserem geschlossenem Aquariumsystem führen, als dies im offenem Meer ist.

Licht als lebenswichtiger Faktor zooxanthellater Koralle

Nachdem wir einen kleinen Einblick in die natürlichen Lichtverhältnisse am Korallenriff bekommen haben, stellt sich natürlich auch die Frage, in wieweit Korallen sich an diese Lichtverhältnisse adaptiert haben und in wieweit den nun die zur Verfügung stehende Strahlungsenergie genutzt wird.

Hierbei ist es zunächst notwendig, dass man sich die photosynthetisch aktiven symbiotischen Algen (Zooxanthellen), die als Hauptenergielieferant für die Korallen (Wirt) dienen, einmal genauer anschaut.

Die Zooxanthellen leben in Zellen der inneren Körperwand (Gastrodermis). Ihre Anzahl pro Quadratzentimeter Korallenoberfläche schwankt sehr stark (von einigen Hunderttausend bis zu zehn Millionen) und hängt von der Korallenart, Nährstoffsituation und der Strahlungsintensität ab.

Die Zooxanthellen gehören zu der Gruppe der Dinoflagellaten. Der Grund warum Korallen ausgerechnet Dinoflagellaten als Partner haben und keine einzelligen Grünalgen oder Cyanobakterien, die als Symbionten in anderen Tierstämmen (Einzellern, Schwämmen, Manteltieren) vorkommen, dürfte daran liegen, dass sowohl der Zellstoffwechsel der Zooxanthellen als auch der des tierischen Wirtes auf Lipiden basiert und sich die beiden Stoffwechsel aus diesem Grund problemlos biochemisch kurzschließen konnten; das heißt, die biochemische Verständigung war problemlos, da beide Partner "die gleiche Sprache sprechen". (Schlichter 1999)

In den Dinoflagellaten sind die drei Pigmente Chl a, Chl c₂ und Peridinin zusammen mit Proteinen (Eiweiße) zu sogenannten **Peridinin-Chlorophyll-Protein – Komplexen** vereinigt. Die nachfolgende Grafik stellt die Absorptionskurve dieser PCP-Komplexe in vitro (isoliert Pigmente) dar.

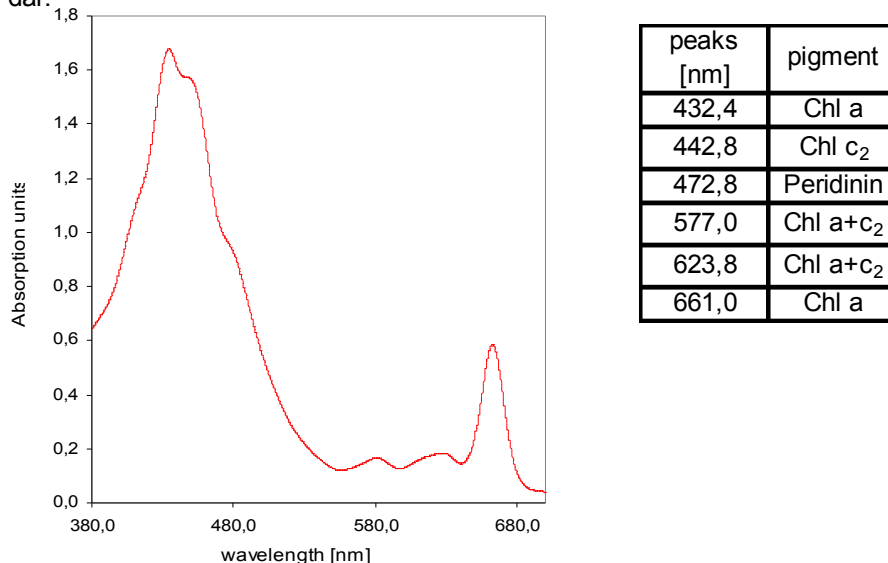


Abb 6: Absorptionsspektrum

Quelle: Jörg Kokott

Anhand dieser Absorptionskurve wird deutlich, dass gerade die Strahlung von 430 bis 480nm (reine Blauanteile) sehr wertvoll für die Photosynthese ist. Photonen mit dieser Wellenlänge können prozentual am besten absorbiert werden. Die zweite Spitze bei 661 nm, welche durch das Chl a verursacht ist, stellt im Verhältnis zu der absorbierten Energie (Fläche unterhalb der Kurve) in dem Bereich 430 – 480nm nur einen kleinen Teil dar und ist auch aufgrund der schnelleren Absorption dieses Spektralbereiches schon durch das Wasser in der Praxis auch weniger bedeutsam.

Noch realistische sind jedoch Absorptionsspektren in vivo. Also z.B. das Absorptionsspektrum einer kompletten Zooxanthelle. Hierbei sind die Pigmente in Ihrer physiologischen Umgebung, wobei es durch die Kopplung an bestimmte Proteine zu einer leichten Verschiebung mit größeren Wellenlängen kommt. Besonders deutlich wird dies an dem Pigment Peridinin, welches in vitro (isoliert) ein Absorptionsmaximum bei 473 nm in der Zooxanthelle aber hingegen fast bei 500nm hat.

Abb. 7 stellt das Absorptionsspektrum einer kompletten Zooxanthelle in vivo dar.

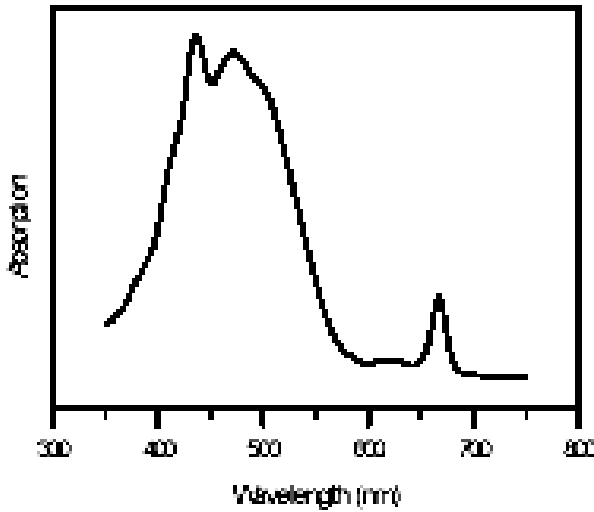


Abb 7: Absorptionsspektrum Zooxanthelle

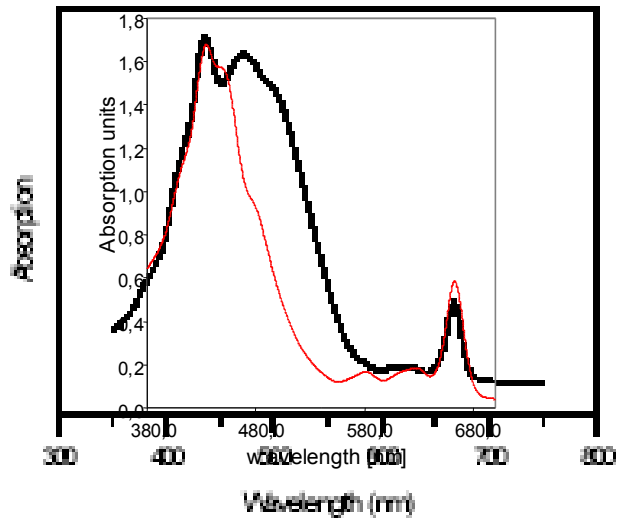


Abb 8: die rote Kurve stellt die Absorption in vitro dar, die schwarze die Absorption in vivo dar

Gerade das Absorptionsspektrum in vivo zeigt deutlich, dass der gesamte Bereich von 430 – 500 nm am besten absorbiert und somit als Energie für die Photosynthese genutzt wird. Vergleicht man dieses Spektrum nun mit der spektralen Lichtverteilung in 3-10 Meter Meerestiefe, wird deutlich, dass hier eine Anpassung an die hier vorkommende spektrale Strahlungsverteilung stattgefunden hat.

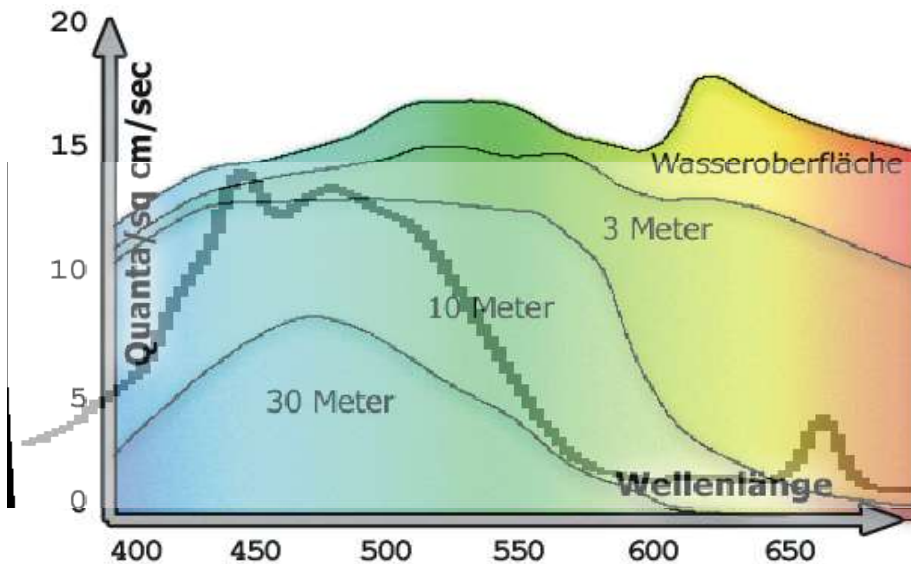


Abb 8a: Absorptionsspektrum der Zooxanthelle (schwarze fette Linie) im Vergleich zum Strahlungsvorkommen in verschiedenen Meerestiefen.

Im Gegensatz zu den zooxanthellenspezifischen Pigmenten, **die auch für die Braunfärbung der Korallen verantwortlich sind**, stehen die wirtsspezifischen Pigmente, **die im wesentlichen für die Färbung der Korallen verantwortlich sind**.

Vergleicht man z.B. das Absorptionsspektrum des Pocilloporin mit dem der Zooxanthellen, werden grundlegende Unterschiede schnell deutlich, wie folgende Grafiken zeigen.

Absorptionsspektrum des Pocilloporin

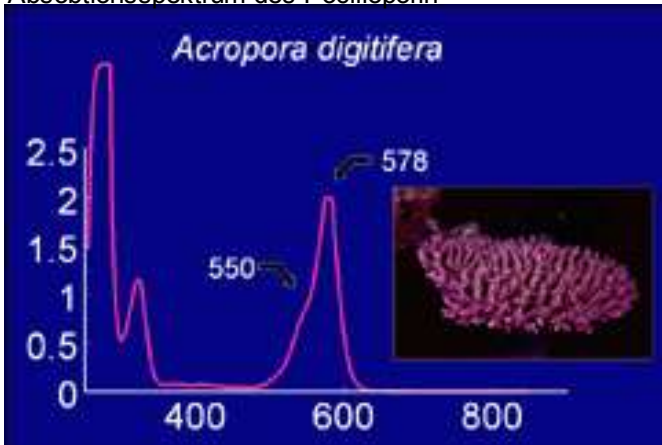


Abb. 9

Absorptionsspektrum der Zooxanthelle

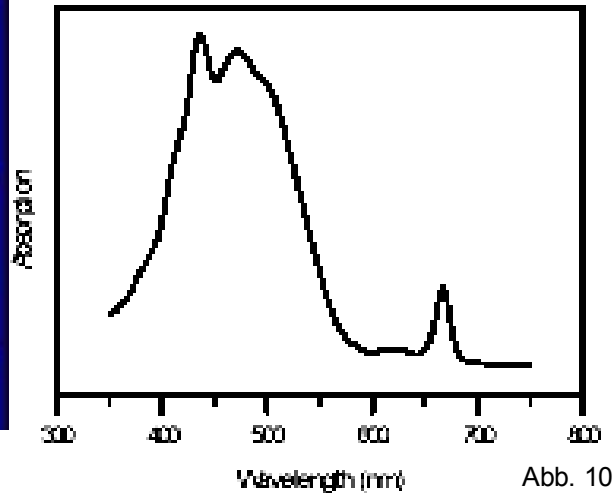


Abb. 10

Während die zooxanthellenspezifischen Pigmente ihre höchste Absorption in einem Bereich von 430-500nm haben, findet man bei den wirtsspezifischen Pigmenten die Absorptionsmaxima genau in anderen Bereichen. Hier speziell im UV-Bereich und in einem Bereich von 550-580nm. Die wirtsspezifischen Pigmente lassen also die Strahlung in dem wichtigen Bereich der Zooxanthellen weitestgehend passieren und blocken (oder absorbieren) die Strahlung verstärkt in photosynthetisch nicht so wertvollen Bereichen, wie dem Gelbgrün und UV-Bereich.

Hieraus ist auch die These entstanden, dass den wirtsspezifischen Pigmenten im wesentlichen auch eine Schutzfunktion zukommt, die vor allen den Photosyntheseapparat schützen soll.

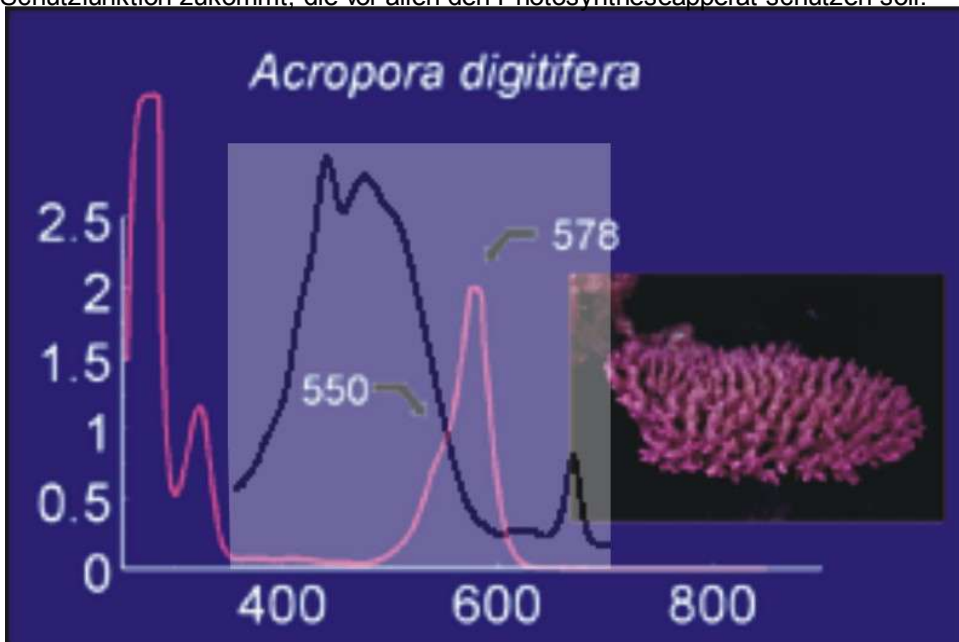


Abb. 11

Spektren (oder die nackte Wahrheit)

1. Emissionsspektren der am meist genutzten „10.000 + x“ Kelvin Brenner

für die Riffaquaristik

Megachrom 250w

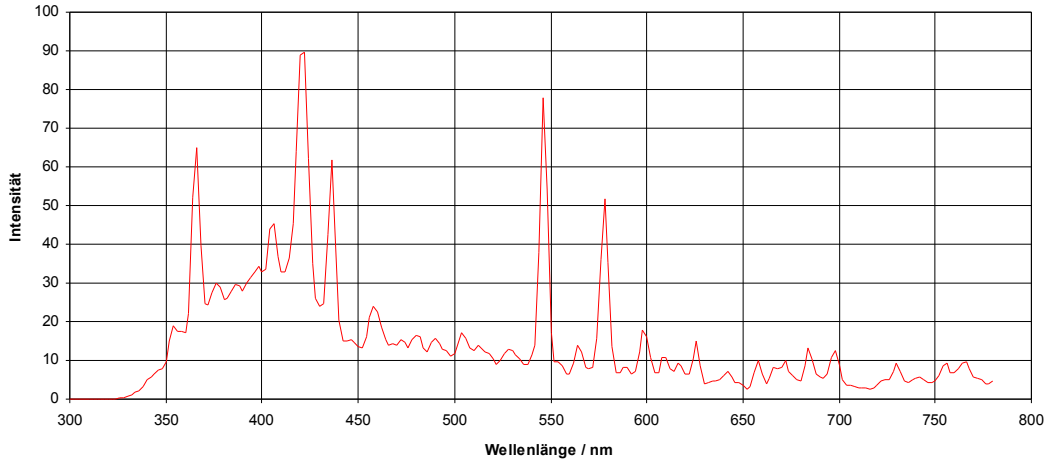


Abb.12

AB 250w

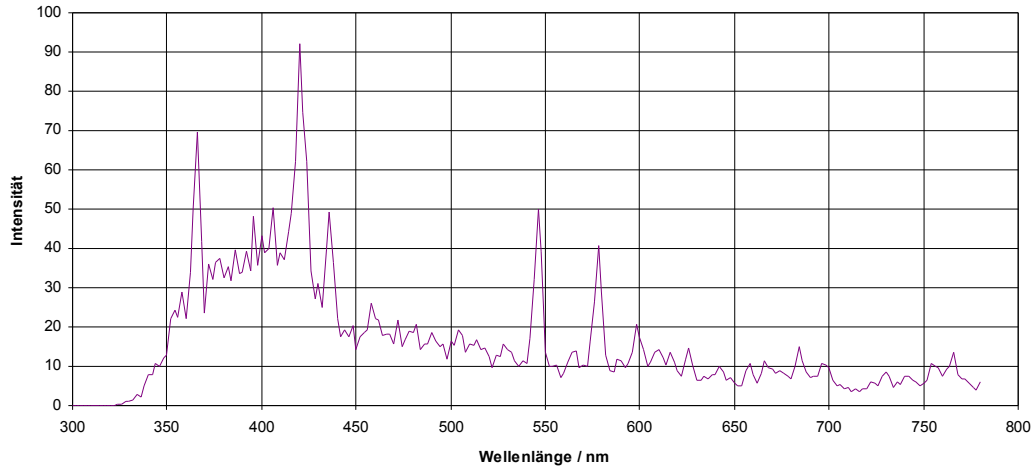


Abb. 13

BLV 250W

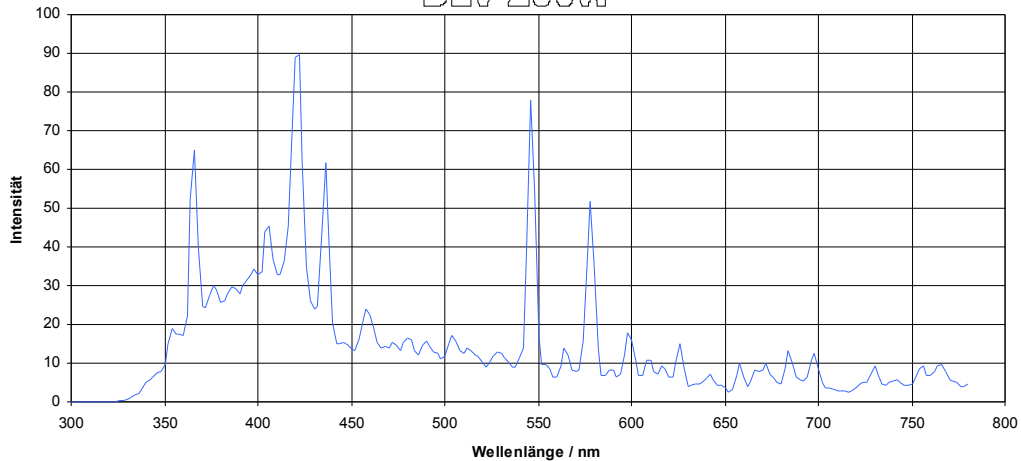


Abb. 14

Comparison of 250W DE Lamps - M80 Ballast

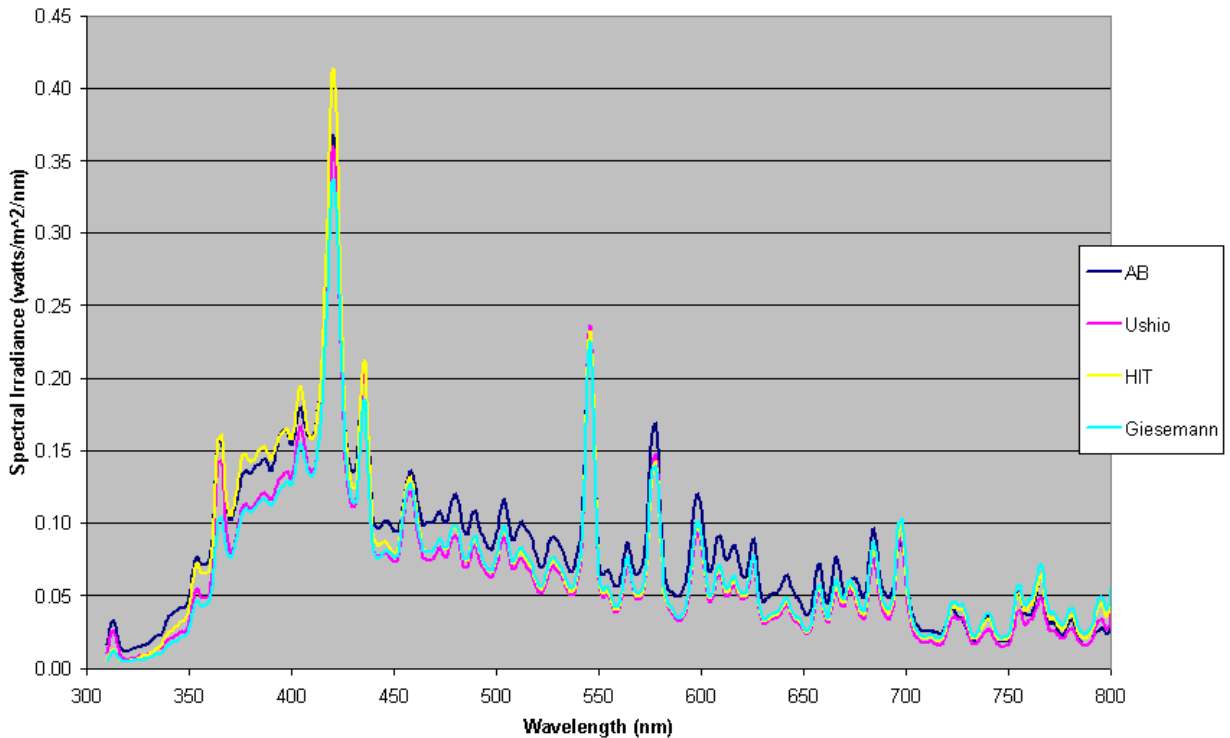


Abb. 15 Quelle: Joshi & Mark 2004

- Die am meist genutzten „Spezialbrenner“ für die Riffaquaristik sind in der spektralen Lichtzusammensetzung fast identisch. Sie sind durch deutliche Emissionsspitzen im UVA - Bereich bei 366nm im Violettbereich bei 422 und 435nm) sowie im gelbgrün und Gelbbereich bei 546 und 578nm charakterisiert.
- Da bereits ab 350nm zellschädigende Wirkungen auftreten können und es bereits schon bei 360nm deutliche Emissionsspitzen gibt, ist dies als nicht günstig für die Haltung von Korallen zu bewerten. Bei allen Brennern handelt es sich also um typische Violettrahler mit Emissionsspitzen von 390 – 430 nm.
- **Die häufig zu hörende Aussage, dass 10.000 K Brenner einen erhöhten Blauanteil (440 – 490nm) haben ist also nicht richtig, da lediglich der violett und UVA - Anteil stark erhöht ist.**
- Der photosynthetisch wichtige Blaubereich wird nur teilweise (bis 430 nm) abgedeckt. Wichtige photosynthetisch nutzbare Spektralanteile und hier besonders der Bereich von **440 – 490nm sind bei allen Brennern leider nur sehr unzureichend vertreten.**

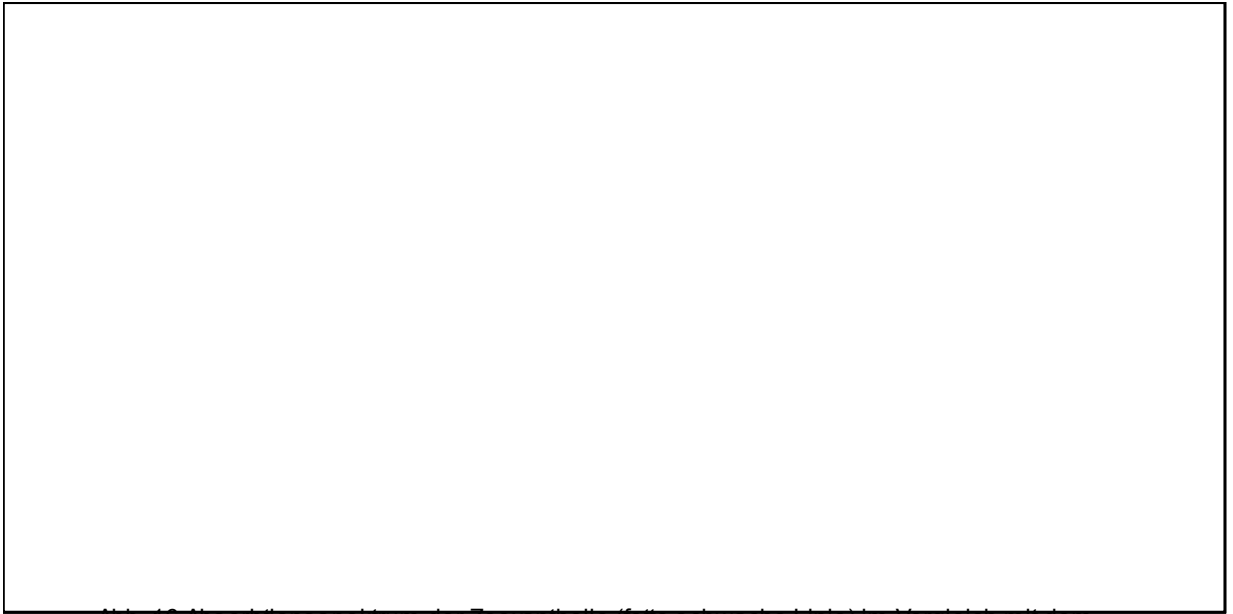
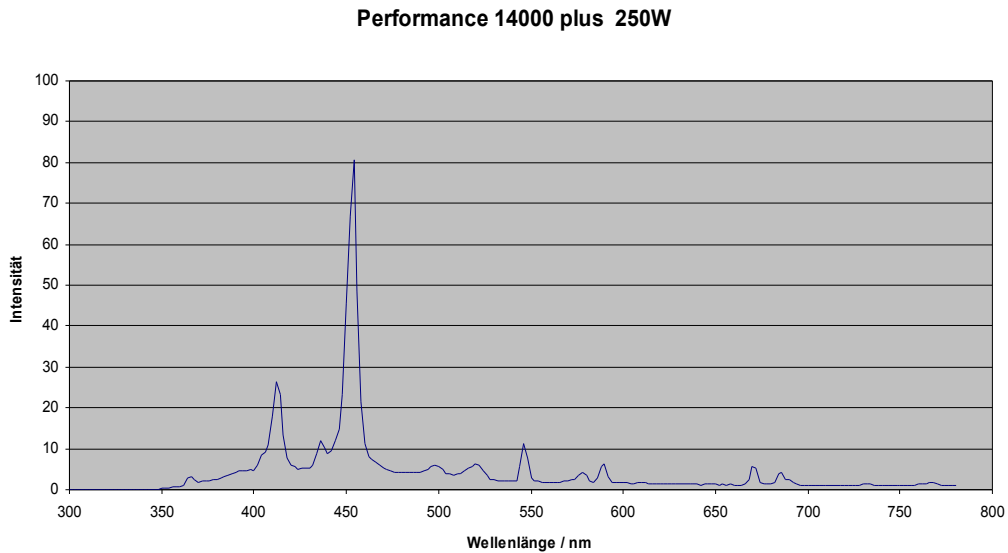
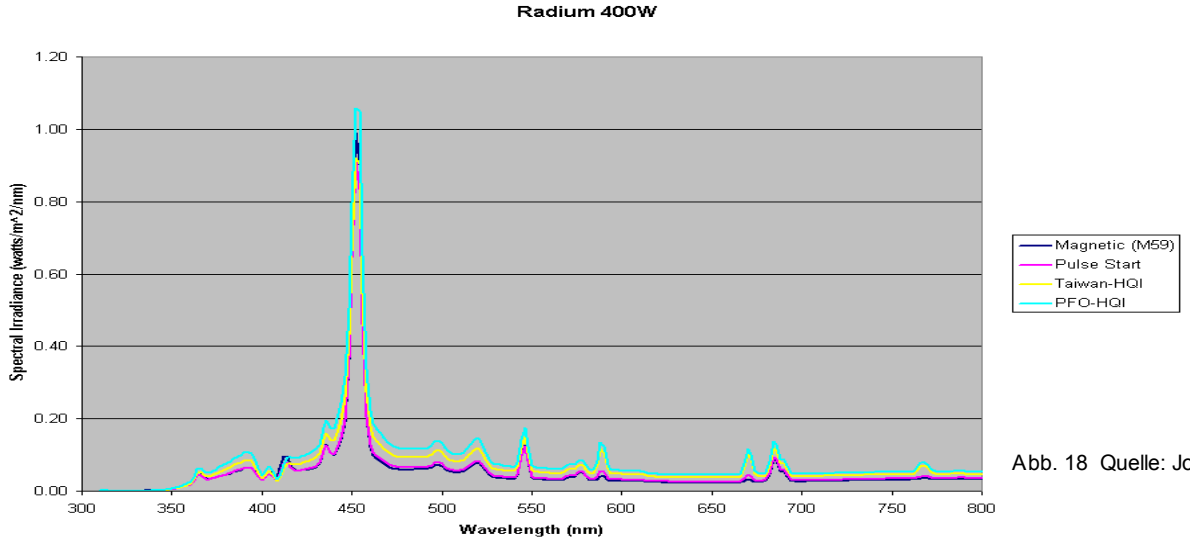
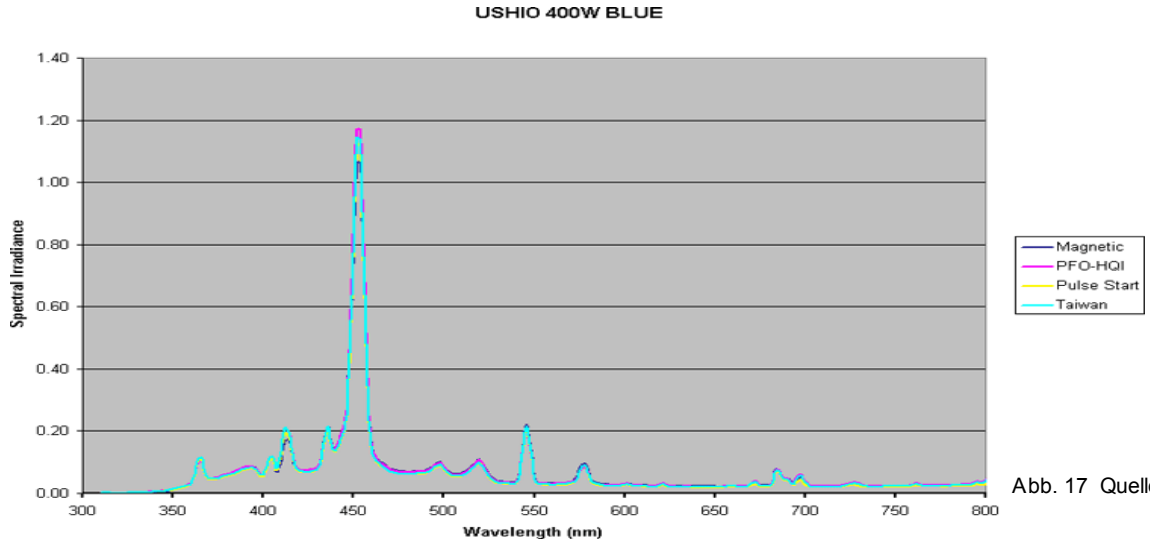


Abb. 16 Absorptionsspektrum der Zooxanthelle (fette schwache Linie) im Vergleich mit dem Emissionsspektrum (dünne Linie) eines Brenners

Der direkte Vergleich des Emissionsspektrum eines Brenners mit dem Absorptionsspektrum der Zooxanthelle zeigt auch, dass ein nicht unerheblicher Anteil an Strahlungsenergie in einen für die Photosynthese nicht direkt oder schlechter nutzbaren Bereich abgegeben wird. So werden min. 20% der gesamten Strahlungsenergie in einem zu kurzwelligem Bereich abgegeben.

Weitere häufig verwendete Spezialbrenner



Vergleich mit alternativen Beleuchtungstechniken

Alternativ konnte sich in den letzten Jahren besonders die T5 – Technik immer mehr durchsetzen. Doch was macht diese neuere Leuchtstoffröhrentechnik für die Riffaquaristik so interessant ? Hier sind neben wirtschaftlichen Aspekten besonders die nun wesentlich höheren Beleuchtungswerte zu nennen, die bei einer flächenmäßigen Anordnung den Hallogenmetallampfen nichts nachstehen. Des weiteren können mit verschiedene Lichtfarben die Strahlung gezielter in den für Korallen wichtigen Blaubereich gelenkt werden. Die Strahlung wird also gezielter genutzt als dies z.B. bei Hallogenmetallampfen wäre. Folgendes Beispiel soll diesen Effekt verdeutlichen:

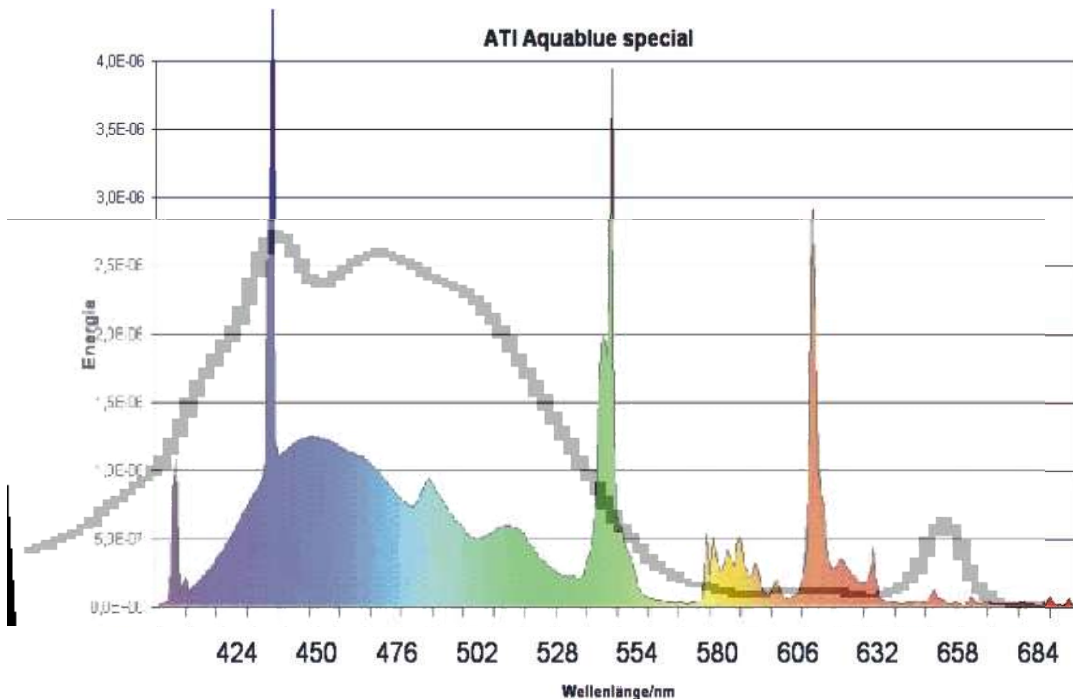


Abb. 20 Vergleich Emissionspektrum Aquablue spezial (farbig) mit Absorptionsspektrum der Zooxanthelle (schwarze fette Linie)

Der Vergleich verdeutlicht, dass im Gegensatz zu vielen Brenner für die Riffaquaristik, die kurzwellige Strahlung in den photosynthetisch nutzbareren Bereich verschoben ist. Die Strahlungsenergie kann somit für die Photosynthese effizienter genutzt werden.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die diffusere Strahlungsausrichtung bei flächiger T5-Beleuchtung. Durch die flächige Beleuchtung ist die Eigenabschattung der Koralle wesentlich geringer. Hierdurch kann von der gesamten Oberfläche einer Koralle mehr Strahlungsenergie absorbiert werden und für die Photosynthese genutzt werden.

Deshalb führen gemessene 10.000 lux einer gleichgerichteten Strahlung (z.B. durch Brenner) nicht zu der gleichen Photosyntheserate wie bei 10.000 lux diffuserer Strahlung (z.B. durch T5)

Letztendlich führen aber natürlich beide Beleuchtungsmöglichkeiten zu befriedigenden Ergebnissen, was auch die Vergangenheit gezeigt hat.

Aufgrund der besseren spektralen Anpassung der Leuchtmittel an die Bedürfnisse der Korallen und der nicht so gleichgerichteten Strahlungsausrichtung, hat die T5-Beleuchtungstechnik zumindest aus der Sicht der Koralle jedoch einige Vorteile.

Eine Ergänzung der häufigsten Riffbrennern mit T5-Blauröhren ist deshalb auch sowohl vom Spektrum als auch von der Strahlungsausrichtung günstig.

Wie schaffe ich optimale Beleuchtungsvoraussetzungen ?

1. Spektrum

Ein blaulastiges Vollspektrumlicht kommt den Bedürfnissen vieler Korallen am nächsten und simuliert auch eine natürliche Wiedergabe in 5 -10 Meter Meerestiefe wieder. Geschickt ist es die Blaulastigkeit auch nach Korallenbesatz auszuwählen. Viele Korallen mit fluoreszierenden Farben mit höherem Blauanteil bestrahlen Korallen mit plakativen Farben (z.B. Hysterix) eher mit Tageslichtcharakter

2. Strahlungsausrichtung (Eigenabschattung)

mehrere Lichtquellen über dem Aquarium verringern die Eigenabschattungen von SPS und führen somit zu einer prozentual besseren Ausnutzung der zur Verfügung stehenden Strahlungsenergie. Im Gegensatz zu sehr gleichgerichtetem Licht, kann bei diffusem Licht die gesamte Oberfläche der Koralle zur Lichtabsorption dienen und somit zur Photosyntheseleistung beitragen.

3. Intensität an Bedarf anpassen

Wachstum: für optimales Wachstum vieler Korallen genügt es den photosynthetischen Sättigungspunkt der Korallen zu erreichen. Dieser liegt bei „Normallichtbedingungen“ vieler Korallen zwischen 250 -350 μm . (10-15.000 lux)

Färbung: höhere Strahlungsdosen verstärken die erblich veranlagte Fähigkeit zur vollen Farbausbildung. Die „Schwellenwerte“ sind hier jedoch je nach Art recht unterschiedlich. Überdosen sind zu Vermeiden, da ansonsten der Photosyntheseapparat geschädigt werden kann, was negativ für das Wachstum ist.

4. Auf gute Farbwiedergabeeigenschaften der Leuchtmittel achten.

um die volle Farbenpracht der Korallen auch wiedergeben zu können, sollte die Leuchtmittel möglichst keine größeren Lücken im Spektrum aufweisen. In dem Spektralbereich, wo eine Lichtquelle nur schwach abstrahlt, werden auch zwangsläufig die Farben nur mangelhaft wiedergegeben.

Qualität von Lichtsystemen für die Aquaristik

1. Qualität der Leuchtmittel:

1.1 Quantenausbeute pro Watt

Hier liegen derzeit LL-Lampen mit rund 100 lm/Watt vor
Hallogen-Metaldampflampen mit 70 – 85 lm/Watt
Quecksiberdampflampen ...

1.2 Farbstabilität der Leuchtmittel

1.3 Spektrum

2. Leuchtenwirkungsgrad

2.1 optimale Unterstützung der jeweiligen Lampentemperatur

2.2 hochwertiges Reflektormaterial und Reflektorform

13. Der Beleuchtungswirkungsgrad

Entscheidend ist letztendlich wie viel Licht auch wirklich bei den Korallen ankommt. Es nützt die beste Lampe und der beste Leuchtenwirkungsgrad nur sehr wenig, wenn dieses Licht z.B. durch einen schlechten Abstrahlwinkel nicht wirklich dorthin gelenkt wird, wo es benötigt wird.

Der Beleuchtungswirkungsgrad gibt Aufschluss über das Verhältnis der abgegebenen Strahlungsenergie einer Lampen zu den Beleuchtungswerten an dem zu beleuchtendem Objekt (Korallen).

Ein guter Reflektor begrenzt den Abstrahlwinkel auf das zu beleuchtende Objekt (Aquarium). Streulicht oder Strahlung, die über das Aquarium geht, deutet auf einen schlechten Beleuchtungswirkungsgrad hin.

Fazit:

häufige Empfehlungen von reinen Wattzahlen pro Liter sind für die Aquaristik viel zu ungenau und werden den unterschiedlichen Lichtbedürfnissen der Korallen und den unterschiedlichen Leistungen der verschiedenen Beleuchtungssystemen nicht gerecht.

Entscheidend ist hier die tatsächliche Stromaufnahme eines Systems im Verhältnis zu der unmittelbar an den Korallen gemessenen PAR-Strahlung.

Zusammenfassung

Es gibt viele Begriffe wie Kelvin, Lux oder Lumen, die sich in der Aquaristik eingebürgert haben, indem Sie aus anderen Bereichen übernommen oder gezielt von Herstellern geprägt wurden. Diese sind jedoch aus aquaristischer und insbesondere aus „der Sicht der Korallen“ nicht relevant. Für die Beurteilung der Lichtqualität, sollte **immer ein Spektrum** herangezogen werden und für die Beurteilung der Lichtquantität sollte die **PAR-Strahlung** in $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ oder einfach μmol gemessen werden. Nur ein Quantum- oder PAR-Meter erfasst auch die gesamte tatsächlich abgegebene sichtbare Strahlungsleistung.

Verglichen mit der Lichtbedingungen an tropischen Riffdächern, können wir unseren Korallen sowohl in der spektralen Lichtzusammensetzung als auch in der Strahlungsintensität oft nur Kompromisse anbieten. Gerade deshalb ist es sinnvoll, die mit künstlichen Lichtquellen zur Verfügung stehende Strahlungsenergie in den Bereichen zu legen, in denen die **Photosynthese optimal unterstützt wird**.

Im Gegensatz zur ausschließlichen Beleuchtung mit Halogen-Metaldampflampen bietet die Beleuchtung mit der **T5-Technik eine effizientere Möglichkeit den Korallen ausreichend photosynthetisch nutzbare Strahlung (PUR) zu liefern**. Dies liegt neben der hohen Energieverschwendung (ca. 20%) der meisten „Spezialbrenner“ für die Riffaquaristik im UV-Bereich, auch an der ungünstigeren Strahlungsausrichtung mit einer stärkeren Eigenabschattung, wodurch die gesamte Koralle prozentual weniger Pur-Strahlung absorbieren und somit für die Photosynthese und das Wachstum nutzen kann.

Letztendlich ist die Beleuchtung mit Halogen-Metaldampflampen aber natürlich ebenso geeignet, wie die Beleuchtung mit T5-Röhren. Bei der T5-Technik ist jedoch der Energieaufwand für die gleiche PUR – Strahlung deutlich niedriger und die UV-Belastung für die Korallen ebenfalls geringer.

Viele Spezialbrenner mit Angaben über 10.000 Kelvin sind in Ihrer spektralen Zusammensetzung nahezu identisch. Dies geht aus den in Deutschland und parallel in den USA gemachten Spektralanalysen hervor.

Bei der Wahl des Beleuchtungssystems für die Riffaquaristik, ist es durchaus vorteilhaft verschiedene **Lichtquellen oder Lampenfarben zu mischen**, um so z.B. mögliche Lücken im Spektrum gezielt schließen zu können und eher eine flächenmäßige Beleuchtung mit einer geringeren Eigenabschattung zu erhalten.

Lichttechnisch ist hier auf ein **gutes Reflektormaterial (min 95%) und auf eine gute Reflektorform** zu achten, da diese beiden Faktoren **maßgeblich** an den tatsächlichen Beleuchtungswerten an den Korallen beteiligt sind. Ein Reflektorblech über mehrere Lampen und Leuchten mit einem großen Abstrahlwinkel, führen oft zu einem deutlich schlechterem Beleuchtungswirkungsgrad, da viel Strahlungsenergie leider nicht zum Ziel gelenkt wird und somit verlorene Energie ist.