

## Licht ! Teil 1

Kaum ein anderer Bericht hat die Gemüter so bewegt wie der vor einer Woche erschienene Bericht über T5 Leuchtstoffröhren. Begleitet durch die Zu - bzw. auch Abneigung der User gegen die Herstellenden (Distributoren) Firmen, gab es vor allem in Foren viele heiÙe Diskussionen.

Wir möchten nun diesen "Aufreger" etwas aufarbeiten, denn schlussendlich sind wir seit Tagen daran und versuchen mehr über Licht zu lernen, was aber in der Kürze der Zeit nicht möglich ist. Wir sind nach wie vor, auch im ersten Bericht klar kenntlich gemacht, Lichttechnische Laien. Natürlich bekommt man im Laufe der Zeit genug mit, aber mit den Leuten mit zu halten die sich täglich damit beschäftigen ist nicht drinn. Na ja, außer wir hätten ein paar Jahre Zeit noch ein wenig was zu lernen. \*grins\* Und nach den vergangenen Wochen, muss ich ehrlich gesagt schreiben, das es mir das nicht wert wäre. Viel zu wenig Sinnvolles kommt dabei heraus, viel zu wenig was man verwerten kann. Zumindest meiner Meinung nach.

Allerdings habe ich auch das Gefühl das eben viele User den Bericht **nicht wirklich ganz** gelesen haben, sondern sich auf rein auf das gezeigte Spektrum der Fa. Giesemann gestürzt haben. Lassen wir die Aussagen die mal getätigt worden sind, ganz außen vor. Lassen wir ebenso die Aussagen über 3 oder 5 Banden außer Acht, sie spielen derzeit für uns keine relevante Rolle. Allerdings seit die Anmerkung gestattet das mir eine [schriftliche Bestätigung vorliegt](#) das es sich bei einer der Röhren (nämlich die AquaScience) um eine **5 Band Röhre** handelt. Ob man das nun positiv oder negativ beurteilt ist mir ehrlich gesagt "wurscht". Ich glaube da es für den Anwender unerheblich ist.

Natürlich zeigt dieses gezeigte Spektrum eine etwas hellere Röhre, das ist aber glaube ich auch hinreichend bekannt. Auch ist bekannt das die Röhre der FA. ATI blauer ist. Beides sagt meiner Meinung nach nichts über die eigentliche Effizienz der Röhren im Bezug auf unsere Korallen aus. So führte ich einige Gespräche in den letzten Tagen und komme zu dem Schluss das selbst die Wissenschaftler, rein aus Kostengründen schon nicht wirklich in der Lage sind, Leuchtstoffröhren auf Ihren Wirkungsgrad auf Korallen genau zu messen um zu sagen: **Das ist es.**

Kommen wir zur beschriebenen **Spektrum-Analyse**: Der Lichtstrom sagt nur etwas über die Lampenemission im grün/gelben Spektral-Bereich aus. Diese Größen sind **KEINE** physikalischen Größen, sondern wurden für die Lichttechnik "erfunden", um Lampen zu charakterisieren, die ein besonders für unser Auge optimiertes Licht emittieren.

Nun zur **PAR Messung**: Messungen mit Billig-Quantumetern sind ebenso weit entfernt von der Realität, wie wohl die angegebene Spektralanalyse. Sie sagen eben beide zu wenig in der Gesamtheit aus. Allerdings haben wir zu dieser Feststellung auch einige Tage gebraucht. Vergessen wir die früher selbst gemachten Lux Messungen ebenso die Lumen Messungen, aber dann können wir vermutlich auch die PAR Messungen vergessen. Es gibt da eine relativ gute Abhandlung von Danna Riddle die auf [Advance Aquarist](#) beschreibt wo die Probleme liegen können. Bitte machen Sie sich die Mühe der Übersetzung.

Bei PAR wird der gesamte sichtbare Bereich elektromagnetischer Strahlung erfasst. Aber auch mit dieser Größe kann man durchaus Schindluder treiben, da man auch hier nur **EINEN** Wert erhält, der nichts über die exakte spektrale Verteilung aussagt.

Noch besser geeignet sind sogenannte **PUR (Photosynthetic Usable Radiation)-Messungen**, denn hier wird lediglich der für die Photosynthese relevante Spektralbereich erfasst. Solche Sensoren sind allerdings auf das Absorptionsspektrum des Chlorophylls abgestimmt und liefern ebenfalls wieder nur **EINEN** Wert.

### **Die ideale Messung ist die Spektralanalyse, d.h. die Ermittlung der spektralen Verteilung über dem gesamten sichtbaren Spektralbereich.**

Eine Begebenheit will ich Ihnen gerne noch schildern, da ich sie in dem Zusammenhang für recht amüsant halte.

Vor zwei Tagen erhielt ich ein Fax. In diesem beschreibt das Leibnitz - Institut für Meereswissenschaften an der Uni Kiel eine Durchführung der Messung einiger Leuchtmittel verschiedener Hersteller. In einer komplexen Lichtsteuerungsanlage wurde mit einer multispektralen Sonde (Fa. Licor-LC 1800) gemessen, im Wellenlängenbereich von 300 - 850 nm unter Zuhilfenahme von Meerwasserbehältern und Kunstlicht. Die Wissenschaftler stellten dabei fest das bei den verwendeten Leuchtmitteln **kein kontinuierliches Lichtspektrum** gemessen werden konnte. Das Sonnenlicht hingegen, so die Ausführung, zeigt **ein kontinuierliches Lichtspektrum**.

**Allerdings ist die Aussage für uns oder für unsere Korallen auch nicht wirklich verwertbar. Denn die Hersteller versuchen vermutlich nicht mal das Sonnenlicht nachzumachen. Aber sie soll zeigen wie Aussagen auf jemand wirken mögen. Aussagen von Aquarianern, wie schon beschrieben, wären hier aber in der Praxis weit hilfreicher, und zwar von Aquarianern die beide Röhren gleichzeitig betreiben. Damit kann man der Aquarianer zumindest etwas anfangen.**

#### **Ein für Aquarianer guter Ansatz wäre vielleicht folgender Versuchsaufbau:**

Wir nehmen zwei bekannte Korallenzüchter, zum Beispiel Joes Korallenfarm (Dortmund) und Jörgs-Korallenkeller (Beckum).  
Dort kommen über einem Becken je die gleichen Leuchtmittel der beiden Hersteller, über die gleichen Korallen.  
Dann schauen wir im Verlauf von 8 - 12 Wochen ob es gravierendere Unterschiede geben wird, wie sich die Korallen entwickeln. Ich komme ja ohnehin oft beruflich ins Rheinland und kann vermutlich jede zweite Woche sogar Bilder machen, um es besser dokumentieren zu können. Das biete ich als Anregung beiden Distributoren an! Wer von beiden Interesse daran hat, soll sich einfach bei mir melden.

So greifen wir, wie schon im ersten Bericht angekündigt, auf den Dipl. Biologen **Jörg Kokott zurück**, der einen sicherlich fachlich, vielleicht für manche schwierig zu lesenden Artikel, zum Thema geschrieben hat. Viel Spass beim lesen.

### **Qualitativer Vergleich der aquaristischen Leuchtmittel Aquablue spezial (ATI) und Aquascience special (Aquaperfekt, Fauna Marin) anhand ihrer Emissionsspektren**

#### **Einleitung**

Neben der Strahlungsintensität ist die spektrale Zusammensetzung emittierter (ausgestrahlter) sichtbarer Strahlung einer in der Riffaquaristik eingesetzten Strahlungsquelle entscheidendes qualitatives Merkmal, das Wachstum und Farbigkeit von photosynthetisierenden Korallen positiv beeinflussen kann. In den letzten Jahren hat sich der Einsatz von Leuchtstoffröhren in der 16 mm Version (T5) als sehr günstig für die Korallenhaltung erwiesen. Einerseits ist die Lichtausbeute durch die dünnere Röhrenform in

Kombination mit hochwertigen Reflektoren im Vergleich zu der 26 mm T8 Röhrenform größer. Andererseits ist die spektrale Lichtverteilung insbesondere bei 5-Banden Röhren im Vergleich zu Halogenmetaldampfbrennern (HQI Brenner) als ausgeglichener zu bezeichnen. Das Merkmal der Ausgeglichenheit eines Emissionsspektrum meint in diesem Zusammenhang, dass eine möglichst breite Verteilung des emittierten Lichtes über das sichtbare Lichtspektrum ( 380 – 780 nm ) gewährleistet ist, also sowohl blaue, grüne, gelbe und rote Wellenlängenbereiche abgedeckt werden. Dabei spielen nicht nur die für die Photosynthese relevanten Anregungswellenlängen im blauen und roten Strahlungsbereich eine Rolle (Anregungswellenlängen bzw. maximale Absorption für Chlorophyll a bei blau 430 nm und rot 660 nm), sondern auch um grüne und gelbe Wellenlängen, die sicher stellen, dass farbige Pigmente in Korallen auch sichtbar werden. Solche Pigmente absorbieren für sie charakteristische Wellenlängen und reflektieren die übrigen, nicht absorbierten Wellenlängen. Die Reflektionswellenlängen erzeugen dann eine Farbwahrnehmung im menschlichen Auge. Ein unausgeglichenes Emissionsspektrum, dass z.B. einseitig im Blaubereich emittiert, wird ein rotes oder gelbes Pigment nicht entsprechend wiedergeben können, so dass es für das menschliche Auge vielmehr grau als rot erscheint. Die optische Wirkung von farbigen Korallen kann demnach durch die Verwendung von Lichtquellen, die sich durch ein ausgeglichenes Emissionsspektrum auszeichnen, optimiert werden.

### **Emissionsspektren und ihre Aussagekraft**

Die für die Photosynthese relevanten Wellenlängen können in einem sog. Aktionsspektrum für einen beliebigen Photosynthese treibenden Organismus ermittelt werden, in dem für jede ausgestrahlte Wellenlänge einer Lichtquelle die Photosynthesereaktion quantitativ gemessen wird. Daraus ergibt sich ein qualitativer Befund, der aussagt, bei welchen Wellenlängen die Photosyntheseleistung des Organismus am größten ist. Für die Entwicklung von Leuchtmitteln für die Korallenriffaquaristik sind solche Untersuchungen sicherlich hilfreich. Allerdings ist ein Aktionsspektrum dahingehend zu verstehen, dass es lediglich für die bei der Aufnahme des Spektrums akut vorherrschenden Umgebungsbedingungen gilt. Das Phänomen der sog. bathochromen Verschiebung, bei der ein Organismus – z.B. durch chemische Modifizierungen im Photosyntheseapparat – die Absorptionsmaxima der beteiligten Pigmente variabel verschieben kann, erzeugt in einer anderen Umgebung möglicherweise ein abweichendes Aktionsspektrum, obwohl es sich um den gleichen Organismus handelt. Dies ist in so fern wichtig, als dass die Lichtverhältnisse im Aquarium i.d.R. statisch sind, d.h. sich keine weiteren Wellenlängen erzeugen lassen als die durch die Lichtquellen emittierten. Der Einfall von natürlichem Sonnenlicht würde z.B. die Beleuchtung im Aquarium zeitweise dynamisch machen. Durch die Bathochromie sind Photosynthese treibende Organismen im Aquarium allerdings dazu in der Lage, sich an die bestehenden statischen Strahlungsbedingungen optimal anzupassen. Es ist also in der Praxis unerheblich, ob ein Leuchtmittel bei 430 nm, bei 425 nm oder bei 440 nm emittiert. Eine Lichtquelle, die ihr Emissionsmaximum genau bei 430 nm vorweist ist folglich qualitativ nicht besser oder schlechter als ein Leuchtmittel mit maximaler Emission bei 440 nm.

Faktisch ist demnach festzuhalten, dass es bei einem Vergleich zweier verschiedener Leuchtmittel nicht auf die Höhe des im Blaubereichs vorliegenden Emissionspeaks ankommt (also auf ein einzelnes Emissionsmaximum), sondern auf die Summe aller blauen Wellenlängen, die im Bereich von 380 bis 500 nm potentiell photosynthetisch nutzbar sind. Praktisch ist diese Vorgehensweise in Bezug auf die Haltung symbiontischer, also Photosynthese treibender Korallen sinnvoll, da die im Korallengewebe eingelagerten Dinoflagellaten (Zooxanthellen) neben Chlorophyll a weitere Photosynthesepigmente besitzen, diese Mikroalgen folglich eine weitaus komplexere Photosynthesepigmentstruktur aufweisen als man annehmen mag. Dabei ist ein zu den Carotinoiden zugehöriges Pigment namens Peridinin primär zu nennen, dass bei Dinoflagellaten mit Chlorophyll gekoppelt und an bestimmte Proteine zu Peridin-Chlorophyll-Protein Komplexen (PCP Komplexe) gebunden ist. Durch diese Pigmentkopplung ist ein Aktionsspektrum bei symbiontischen

Korallen ohnehin in Richtung eines Maximums bei 460 – 480 nm verschoben, wenn entsprechende Anregungswellenlängen im Strahlungsspektrum vorhanden sind. Auch hier werden die Zooxanthellen in symbiontischen Korallen durch bathochrome Verschiebung den Anteil an PCP Komplexen in Abhängigkeit von geeigneten Anregungswellenlängen variieren, also entsprechend auch in Abhängigkeit der im Aquarium verwendeten Leuchtmittel. Die Korallen passen sich also dem Licht in gewissem Maße an.

### **Die Messung der Strahlungsintensität und ihre Aussagekraft**

In diesem Zusammenhang ist es auch sinnvoll, die im Sinne biologischer Systeme verwendeten Begriffe der „photosynthetically active radiation“ (PAR) und der Photonenflussdichte (PFD) einzuführen. Die „photosynthetically active radiation“ (PAR), ins Deutsche übersetzt die „photosynthetisch aktive Strahlung“, bezieht sich per Definition auf den Bereich des sichtbaren Strahlungsspektrums, der insgesamt von allen bekannten photosynthetisierenden Organismen aktiv genutzt werden kann. Aktiv bedeutet hier, dass entsprechende Photosynthesepigmente innerhalb des Photosyntheseapparates Strahlung absorbieren und die absorbierte Strahlungsenergie im Zuge der Photosynthese direkt oder indirekt chemisch umsetzen. Eine grüne Pflanze mit ihrer charakteristischen Chlorophyll a und Chlorophyll b Pigmentkomposition ist z.B. nicht dazu fähig, grüne Strahlung bei 555 nm photosynthetisch zu nutzen. Rotalgen oder Cyanobakterien besitzen dagegen neben Chlorophyllen sog. Phycobilline als Photosynthesepigmente, die z.B. Strahlung bei 555 nm aktiv nutzen können. Der Begriff PAR bezieht sich also auf alle photosynthetisierenden Organismen und umgrenzt alle Wellenlängen, die innerhalb der Pflanzengemeinschaften auf der Erde (einschließlich photosynthetisierender Bakterien wie Cyanobakterien) nutzbar sind. Für zooxanthellate Korallen sind aufgrund der Pigmentgarnitur der Zooxanthellen v.a. die blaue als auch in geringerem Umfang die rote Strahlung als der PAR Bereich zu nennen, der die Photosynthese der symbiontischen Mikroalgen anregt. Der Begriff der „photosynthetically useable radiation“ (PUR), der in der Riffaquaristik Gebrauch findet, soll diesen Zusammenhang zwischen der potentiell photosynthetisch nutzbaren Strahlung (PAR) und der individuellen Strahlungsnutzung für die Photosynthese ausdrücken, allerdings findet er in der Wissenschaft keine Anwendung bzw. ist hier gänzlich unbekannt. Die PAR ist insofern relevant, als das die Messung der Strahlungsintensität im Zuge der quantitativen Beurteilung biologischer Systeme (Photosynthese) genau darauf abzielt, den Bereich der potentiell photosynthetisch nutzbaren Strahlung zu erfassen. Während der Lichtstrom (Einheit lumen) bei ca. 555 nm gemessen wird, also bei einer Wellenlänge, die nur von bestimmten Organismengruppen (z.B. Rotalgen oder Cyanobakterien) photosynthetisch genutzt werden kann, erfasst die Messung der Photonenflussdichte (PFD, Einheit  $\mu\text{mol photonen m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , gesprochen micromol Photonen pro Quadratmeter pro Sekunde) den Bereich von 380 bis 780 nm, also den gesamten Bereich der sichtbaren Strahlung (Licht). Daher gibt nur die Messung der Photonenflussdichte ein direktes qualitatives Urteil darüber ab, wie gut eine verwendete Lichtquelle die Photosynthese von Pflanzen und auch symbiontischen Korallen fördert oder nicht. Leider ist die Anwendung sog. Quantummeter zur Messung der Photonenflussdichte in der Riffaquaristik kaum verbreitet, weshalb immer wieder Lichtstrommessungen als Qualitätsbestimmung von aquaristischen Leuchtmitteln herangezogen werden. Zwar ist die Messung des Lichtstroms bei aquarieneeigneten Leuchtmitteln möglich, da fast alle Leuchtmittel bei 555 nm emittieren, allerdings darf die dabei gemessene „Helligkeit“ niemals auf die Anregung der Photosynthese in symbiontischen Korallen verallgemeinert werden. Der Grund dafür liegt wie bereits erläutert wurde darin, dass die Zooxanthellen im Bereich von 380 – 500 nm und im roten Bereich bei ca. 660 nm photosynthetisch arbeiten, und die Wellenlänge bei 555 nm außerhalb ihres photosynthetischen Wirkungsspektrum liegt.

Emissionsspektren werden in der Regel normalisiert, das heißt die Skalierung der Y-Achse ist prozentual, wobei der stärkste Peak (Spitze) im Spektrum als 100 % angesehen wird. Ein solches Spektrum gibt keinerlei Auskunft darüber, wie viel Strahlung tatsächlich abgegeben wird. Eine Messung des Emissionsspektrums (x-Achse) mit gleichzeitiger Angabe der Strahlungsintensität in Abhängigkeit von der Wellenlänge

(Y-Achse) ist durchaus möglich, leider aber nur in der Wissenschaft verbreitet. Hier kann unter Berücksichtigung allgemeiner Umgebungsparameter die Strahlungsintensität pro Wellenlänge gemessen werden, was die Aussagekraft eines derart gemessenen Spektrums erheblich steigern würde. Es darf also bei normalisierten Spektren bei einem hohen Emissionspeak nicht davon ausgegangen werden, dass das Leuchtmittel sehr viel Strahlung emittiert.

### **Vergleich Aquablue spezial (Fa. ATI, Fabrikation Sylvania) und Aqua Science special (Vertrieb Aquaperfekt und Fauna Marin GmbH, Fabrikation NARVA)**

Von jeweils einer fabrikneuen 54 Watt T5 Röhre der Aquablue spezial (Vertrieb Firma ATI, Hamm, Deutschland) und der Aqua Science Special (Vertrieb Aquaperfekt GmbH, Puhlheim und Fauna Marin GmbH, Holzgerlingen, beide Deutschland) wurden für diese Stellungnahme jeweils die normalisierten Emissionsspektren beider Röhren gleicher Wattagen zur Verfügung gestellt (Quelle: Fauna Marin GmbH).

Vergleicht man das Emissionsspektrum beider Röhren wird offensichtlich, dass die ATI Röhre im UVA Bereich bei 366 nm sowie im unteren Blaubereich bei 406 nm weniger, dafür jedoch bei 450 nm deutlich mehr emittiert als die Aqua Science Special Röhre von Fauna Marin/Aqua Perfekt. Der Hauptpeak im Blaubereich bei 436 nm ist annähernd identisch. Die Emissionsspektren zeigen im Vergleich weiterhin eine weitaus geringere Emission der ATI Röhre im gelb-grünen Wellenlängenbereich bei 546 nm sowie im Rotbereich bei 612 nm. Die Summation des Wellenlängenbereichs von 502 – 780 nm anhand der Rohdaten zeigt, dass die ATI Röhre hier 23,6% weniger Strahlung emittiert als die Aqua Science Special. Insgesamt emittiert die Aqua Science Special im Bereich von 380 – 780 nm 1,4 % mehr Strahlung als die Aquablue spezial von ATI.

Anhand der vorliegenden Daten emittiert die Aquablue spezial der Firma ATI im Bereich zwischen 380 und 500 nm mehr Blaustrahlung als die Aqua Science Spezial. Allerdings geht dies auf Kosten der Farbwiedergabe, da gleichzeitig im grün-gelben als auch im roten Spektralbereich weniger Strahlung emittiert wird. Bezüglich der Farbwiedergabe sollte die Aqua Science Spezial demnach im Vorteil sein. Der höhere Blauanteil der ATI Röhre kann unter Umständen eine Steigerung der Photosyntheserate im Experiment (z.B. an frisch isolierten Zooxanthellen) hervorrufen, allerdings gilt zu prüfen, ob hier Signifikanz besteht. Die vorliegenden Emissionsspektren lassen die Spekulation zu, dass aufgrund der Steigerung der Emission im Blaubereich unter gleichzeitiger Einbuße im Bereich 500 – 780 nm bei der ATI Röhre keine deutliche Steigerung der Strahlungsintensität im gesamten PAR Spektrum erreicht wird.

Nur eine unter standardisierten, reproduzierbaren Bedingungen durchgeführte Vergleichsmessung der Photonenflussdichte (PFD) kann Auskunft darüber geben, welche Röhre in der Gesamtheit, d.h. im PAR Bereich, mehr Strahlung emittiert. Beide Röhren sind sich in ihrem Emissionsspektrum äußerst ähnlich, so dass sich in der aquaristischen Praxis kein nennenswerter Unterschied ergeben sollte.

Da die Röhre Aquablue Spezial der Firma ATI in der neuen Version aus einer anderen Fabrikation kommt als die Vorgängertypen, wird erst auf die Langzeiterfahrungen mit dieser Röhre zu warten sein, bis sich Aussagen zur Stabilität des Emissionsspektrums treffen lassen.

### **Jörg Kokott**

Ein weiterer, interessanter Link kam von Dr. Rainer Hirschberger mit Hinweis auf die Dissertation von

#### **Kampmann, Heike**

Photobiologische, energetische und genetische Aspekte des mutualistischen

Zusammenlebens von Zooxanthellen (Symbiodinium sp.) und Steinkorallen im Golf von Aqaba, Jordanien

Und zu guter Letzt freuen wir uns jetzt schon Ihnen einen weiteren Teil von Jörg Kokott zum Thema ankündigen zu dürfen.

**Teil 2: " Theoretische Grundlagen zur Bestimmung von aquaristisch relevanten lichttechnischen Parameter"**

Diesen können Sie in den nächsten Wochen hier lesen.

---

**(c) by [www.korallenriff.de](http://www.korallenriff.de) (April 2006)**