

## **Leuchtdioden als Pflanzenlicht**

Von Nothart Rohde / März 2011

-1-

LEDs zu Beleuchtungszwecken werden auf die menschliche Sehfähigkeit abgestimmt. Dabei ist ausreichendes Kunstlicht für Pflanzen schon lange ein wichtiges Thema. Man fragt sich also, inwieweit Pflanzen mit dieser neuen Beleuchtungsart zurechtkommen. Die Ergebnisse sind absolut nicht naheliegend.

### **1 Technische Grundlagen**

Aktuelle Leistungs-LEDs haben einen elektrischen Wirkungsgrad bis zu 20 %. Mit einer Grundfläche von 2,5 x 2,5 cm sind 1-Watt-Module mit bündelnder Optik recht kompakt und beschreiben auch gut die mögliche Leistungsdichte auf einer vorgegebenen Fläche. Damit lassen sich auf einem Quadratmeter 320 W reines Licht erzeugen, vermutlich mehr, als man von der berühmten Solarkonstanten (1 kW pro m<sup>2</sup>) ableiten kann. Im Beispiel würde auch über 1 kW Wärmeleistung anfallen, die geeignet abgeführt werden muss. Es handelt sich aber nicht um Wärmestrahlung im Lichtstrahl und in diesem Punkt unterscheiden sich die LEDs von allen anderen Lichtquellen. Konventionelle Lichtquellen müssen daher bei hoher Leistung entsprechende Wärmefilter enthalten. Das ist aufgrund der thermischen Belastung dieser Filter keine triviale Konstruktionsaufgabe. Blicke als unklarer Punkt das Faktum, dass das Licht prinzipiell einfarbig ist und die Konvertierung via Leuchtstoff Verluste bringt. In diesem Punkt sind weiße LEDs sehr mit den Neonröhren verwandt, weil die dort genutzte Quecksilberdampf-Strahlung im UV - Bereich liegt. Ausführliche Erläuterungen zur Messtechnik findet man unter [1].

### **2 Biologische Grundlagen**

Bei den biologischen Fragen ist zunächst mit einem alten Missverständnis aufzuräumen : Pflanzen sind zwar grün, das bedeutet aber keinesfalls, dass sie grünes Licht nicht brauchen können. Es gibt bei ihnen mehrere lichtempfindliche Stoffe und in absoluten Werten betrachtet ist der grüne Schimmer eher eine "Delle" im gesamten Frequenz- bzw. Farbengang. Zusätzliche Rezeptoren, besonders im Roten, melden der Pflanze, dass überhaupt Licht zur Verarbeitung zur Verfügung steht. Um einen Teil der Ergebnisse vorwegzunehmen : mit Rotlicht kann man auch einiges durcheinanderbringen.

### 3 Erste Gehversuche

Der ursprüngliche Ansatz war, möglichst effektiv Licht zu produzieren, also LEDs auf GaN-Basis einzusetzen, was zu Blau, Cyan, Grün, Kaltweiß und Warmweiß führt. Später kam noch Bernstein (amber) und mit Einschränkung Rot dazu. Die Spektren sind in **Bild 1** dargestellt.

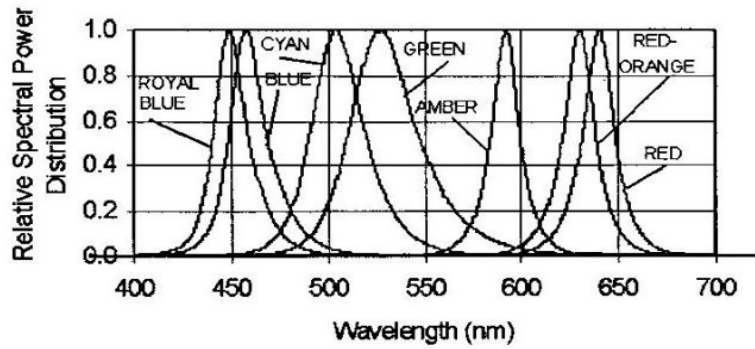


Figure 1a. Relative Intensity vs. Wavelength

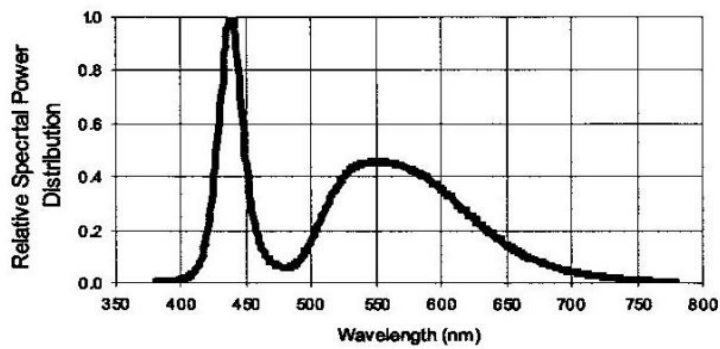


Figure 1b. White Color Spectrum of Typical CCT Part, Integrated Measurement. Applicable for LXHL-BW02.

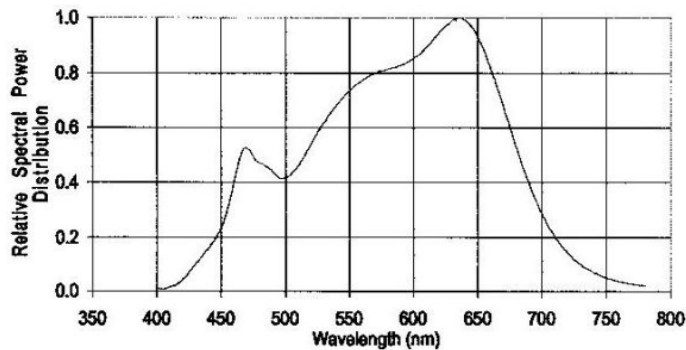


Figure 1c. White Color Spectrum of Typical Warm White Part, Integrated Measurement. Applicable for LXHL-BW03.

**Bild 1**

Auszug aus dem Datenblatt der verwendeten Luxeon-LEDs [2]

Als Testpflanze wurde zunächst die bekannte Gartenkresse gewählt, in Töpfchen, mit der entsprechenden Lichtquelle + Abdunklung darüber. Es stellte sich aber bald heraus, dass die Samen soviel Vorräte mitbringen, dass sie auch im Dunklen wachsen und sich die Qualität der Beleuchtung nicht so recht im gärtnerischen Ergebnis widerspiegelt.

Korrekterweise sollte man ja auch eine Pflanze über die ganze Vegetationsperiode beobachten und dann z.B. das erzeugte Gewicht der Biomasse bestimmen. Eine Standardpflanze für solche Untersuchungen ist das Pflänzchen Acker-Schmalwand (*Arabidopsis*). Es ist einjährig, wächst schnell und ist gut untersucht. Es wurden damit Vergleiche bei Blau, bei Tageslicht und bei Neonlicht (Standard-Weiß) gemacht. Durch die vergleichsweise lange Messdauer, die unterschiedlichen Standorte und die offensichtlich nicht einheitliche Temperatur und Bodenfeuchte waren die Ergebnisse aber auch nicht so, dass man ihnen hätte trauen können.

#### 4 Endgültige Versuche

Zur Vermeidung der genannten Probleme wurde daher eine Wasserkultur mit Wasserlinsen (*Lemna minor*) angelegt. Das ist dem Vernehmen nach die Pflanze, die am schnellsten wächst. In einer Wasserkultur kann man alle Teilnehmer auf gleicher Temperatur und gleichem Nährstoffvorrat halten, das lässt sich anders kaum erreichen. Dieser Ansatz war dann richtig und die Ergebnisse so, dass man eine Aussage wagen kann. **Bild 2** zeigt den Aufbau mit



**Bild 2** Geöffnete Kultur mit Ergebnis nach 1 Woche, im Beispiel für Grün, Weiß, Gelb und Blau. Die Töpfchen sind im Wasser offen und die leiterartigen Strukturen halten die Pflanzen in der Mitte.

abgenommenen Lampen. Jede Einzelkultur hat eine lichtdichte Abdeckung, die bis unter den Wasserspiegel reicht. Kleine Löcher in der Abdeckung mit permanenter Luftbewegung außerhalb führen die gasförmigen Stoffwechselprodukte ab. Es stehen insgesamt 4 Töpfchen zur Verfügung, wobei zur Verbesserung der Aussage immer eine Referenzkultur mit Kaltweiß angelegt wurde. Das Erscheinungsbild der Pflanze gewährleistet eine gleichmäßige Belichtung der Blätter auch bei Wachstum und an der kleinen Wurzel lässt sie sich trotz Oberflächenspannung vom Rand des Töpfchens fernhalten.

Aber auch diese Pflanze ist heikel in der Kultur. Man findet in der Natur Teiche, die vollkommen überwuchert sind und daneben Teiche, in denen die Pflanze bald verschwindet, wenn man sie dort freisetzt. Die Gründe sind auch für den Fachmann nicht unbedingt offensichtlich. Ganz grob sind es sicher die vorhandenen Nährstoffe zum einen und die unpassenden Verunreinigung zum anderen. Für die Versuche wurde abgekochtes Regenwasser mit Volldünger für Hydrokulturen verwendet, dazu eine spezielle Düngung mit Eisen, was für solche Kulturen ein kritischer Punkt ist. Die Lösung wurde stets frisch angesetzt und der Kontainer zuvor mit Leitungswasser gereinigt. Wassertemperatur um 24 °C , 12 h Licht an, 12 h Licht aus.

Zur Minimierung der Fremdstoffe wurde auch auf die verwendeten Kunststoffe geachtet, weil eine derartige Konstruktion kaum komplett in Glas realisierbar wäre. Verwendet wurde eine Auskleidung mit PE-Folie, die für Dampfsperren im Baubereich angeboten wird. Test auf Fremdstoffe : absolute Geruchsfreiheit beim Abwickeln der Rolle. Kulturtöpfe aus Hart-PVC , lichtdichte Abdeckung aus schwarzem PP (große Blumentöpfe).

Es wurde ein größerer Vorrat an Pflänzchen im Glas auf dem Fensterbrett gezüchtet und zum Beginn einer Serie jeweils 5 möglichst gleichgroße in die entsprechenden Töpfe eingesetzt. Nach 1 Woche wurden die vermehrten Pflanzen blattweise ausgezählt, danach getrocknet und auf die Mikrowaage gelegt. Auszählen und Wiegen ergaben vergleichbare Ergebnisse.

Die LEDs wurden alle mit gleicher Stromstärke versorgt, was einigermaßen ähnliche Helligkeit ergibt. Zur Verbesserung der Aussage wurde in einem zweiten Schritt die tatsächlich abgestrahlte Lichtleistung nachgemessen und auf das Ergebnis beim Wachstum umgerechnet. Dabei wurde berücksichtigt, dass die Helligkeit exponentiell in das Ergebnis eingeht. In einem dritten Schritt wurde der elektrische Wirkungsgrad der LEDs mit berücksichtigt, also gefragt, bei welcher Farbe die eingesetzte Energie am besten in Biomasse umgesetzt wird.

Die verschiedenen Farben sind in einer Tabelle zusammengefasst. Die genannten Werte sind relativ angegeben, bezogen auf das Wachstum unter Kaltweiß, d.h. im Zahlenwert der anderen Farben ist der unterschiedliche elektrische Wirkungsgrad berücksichtigt. Zur Abschätzung der absoluten Helligkeit : 110 mA LED-Strom, 10 °- Optik und Abstand zur Kulter = 15 cm.

<b>Typ</b>	<b>Farbe</b>	<b>Zunahme Biomasse nach 1 Woche</b> (bei gleicher elektrischer Energie)
<b>LXHL-NL94</b> (590 nm)	<b>Gelb</b> ( <i>Amber</i> )	<b>2,05</b>
<b>LXHL-NM98</b> (530 nm)	<b>Grün</b>	<b>2,48</b>
<b>LXHL-NE98</b> (505 nm)	<b>Cyan</b>	<b>4,30</b>
<b>LXHL-NB98</b> (465 nm)	<b>Blau</b>	<b>3,45</b>
<b>LXHL-NWE 8</b> (5500 K)	<b>Kaltweiß</b>	<b>3,43</b>
<b>LXHL-NWG 8</b> (3300 K)	<b>Warmweiß</b>	<b>3,25</b>

Auffällig ist der deutliche Abfall des Wachstums bei Gelb und das besonders gute Wachstum unter dem blaugrünen Cyan, einer Farbe, bei der zufälligerweise auch der elektrische Wirkungsgrad besonders hoch ist. Nicht weiter untersucht, aber als Empfehlung, könnte eine Kombination aus Cyan mit etwas Warmweiß ein sehr gutes Ergebnis liefern. Anhand von Bild 1 sieht man auch, dass diese Kombination ein breitbandiges Weiß ergibt.

Man sieht aber auch, dass der Bereich Grün oder gar Gelb nicht so günstig ist, also die grüne Reflexion der Blätter doch mehr als nur eine "Delle" im Farbgang sein könnte. Auch stark gelbstichiges Pflanzenlicht (Natriumdampflampen) dürfte daher nicht so günstig sein, wie oft behauptet wird. Allerdings werden in der Tabelle Exponentialfunktionen verglichen und die Startgrößen sind nicht ganz so unterschiedlich und auch mit Messfehlern behaftet.

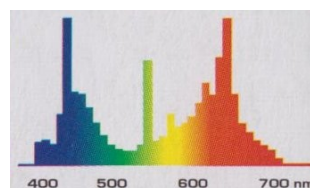
## **5 Spezialthema Pflanzenlicht**

Eine Sonderrolle spielt seit jeher das "Pflanzenlicht", das Grün weitgehend unterdrückt. Inwiefern es wirklich besser als Weiß ist, erscheint nicht so ganz klar. Jedenfalls sind diese Neonröhren deutlich teurer und manche Fachleute kommen auch mit normalen Tageslichtröhren (Neudeutsch : "cool white") gut zurecht. Wer auf das "Pflanzenlicht" schwört, muss sich zudem vorhalten lassen, dass eine objektive Aussage nicht leicht oder fast unmöglich ist, das wurde ja schon hinreichend dargestellt. Nicht weiter verfolgt wurde auch die Frage, ob diese spezielle Farbwahl, etwa bei der bekannte Marke "Fluora", patentrechtlich abgesichert ist oder war und was gärtnerisch-sachlich dahinterstehen könnte. Moden gibt es ja leider überall ....

In **Bild 3** ist ein Spektrum dargestellt, wie man es sich als Kunde vorzustellen hat. Also viel Blau, viel Rot und ganz wenig Grün. Das wurde in einer speziellen Serie versuchsweise nachgestellt, indem zum Blau etwas Rotlicht mit 630 nm (energetisch um 10 %) dazugemischt wurde. Die Idee war dabei, dass das fast sonnenhelle Blau von der Pflanze nicht voll genutzt werden kann, wenn Rot fehlt. Das Ergebnis war schlecht und überraschend : wenig Zunahme an Biomasse und merkwürdiger Krüppelwuchs, der sonst nie aufgetreten war. Erst nach Zugabe von zusätzlich 10 % Grün (530 nm) war der Wuchs wieder so, wie man es anhand der ersten Versuche von Blau erwarten konnte.

### Bild 3

Spektrum auf einer Pflanzenlicht-Packung [3]



Daraus folgt, dass der Grünanteil im typischen Pflanzenlicht wohl sein muss, der Effekt scheint bekannt zu sein. Ob der reduzierte Grünanteil oder das "übertriebene" Rot und Blau allerdings praktischen Nutzen haben, ist eine ganz andere Frage.

Für das Blau bei LEDs bedeutet dies, dass der geringe Rotanteil, der voraussichtlich vorhanden ist, wenn man Bild 1 logarithmisch auftragen würde, vollkommen ausreicht oder als Spezialfall nicht notwendig ist. Will man die Vorteile, die sich aus den Daten der Tabelle ergeben, vollständig nutzen, kann man sicherheitshalber zu Blau oder Blaugrün etwas Weiß dazumischen, also bei großflächigen Strahlern mitunter eine weiße LED vorsehen, die eher diffus strahlt. Andererseits liegt man mit reinem Kaltweiß auch nicht so schlecht, genau das Ergebnis, das auch von Neonröhren berichtet wird. Die gute Fokussierung und die Wärmefreiheit der LEDs bleibt natürlich als Vorteil erhalten.

### Fundstellen :

- [1] Nothart Rohde : „Optische Messtechnik bei Leuchtdioden“, Elektor Sonderheft „LEDs 2“, Elektor-Verlag, Aachen, 2011
- [2] Lumileds, Serie LXHL-Nxx, [www.philipslumileds.com](http://www.philipslumileds.com)
- [3] Verpackung Pflanzenlicht BRO515P (15 W, PAR30, Sockel E27) der Marke *Megaman*

### Danksagung :

Bedanken möchte ich mich bei Herrn Prof. A. Bogenrieder vom Biologischen Institut II der Universität Freiburg für die hilfreiche Diskussion und die tatkräftige Unterstützung bei den Themen Düngung und Bestimmung der Biomasse.