

Pflanzenzucht LEDs / Grow-LEDs

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	1
1 Einleitung / Motivation	2
2 Hintergrund	2
2.1 Spektrum des sichtbaren Lichts	2
2.2 Das von Pflanzen genutzte Licht.....	3
2.3 Die Wirkung von rotem und blauem Licht.....	5
2.4 Photorespiration und -Inhibition.....	6
3 Konkrete Beispiele für Grow-LEDs	6
3.1 LED-Leuchtstreifen	6
3.2 „Full Spectrum Grow LED“	8
4 Fazit, Tipps und Empfehlungen.....	12
4.1 Lux-Meter.....	12
4.2 Weiße LEDs	12
4.2.1 Die Osram Substitube LED-Lampe	14
4.3 Kommerzielle LEDs für Pflanzenbeleuchtung	14
4.3.1 Fertiglösungen	14
4.3.2 Die Selbstbaulösung.....	15

1 Einleitung / Motivation

Frisches, selbstgezo­genes Bio­gemüse erfreut sich zunehmender Beliebtheit oder man möchte einfach nur die Pflanzen für den Sommer bereits im Spätwinter vorziehen. Da hier das natürliche Licht meistens nicht ausreicht, hilft man mit künstlicher Beleuchtung nach.

Pflanzen erscheinen grün, weil sie grünes Licht reflektieren und somit grünes Licht nicht vollständig nutzen können. Es liegt daher nahe Pflanzen nur mit blauem und rotem Licht zu beleuchten um sich die Energie für den grünen Lichtanteil zu sparen. Das menschliche Auge ist übrigens bei grünem Licht am empfindlichsten. (<https://de.wikipedia.org/wiki/V-Lambda-Kurve>)

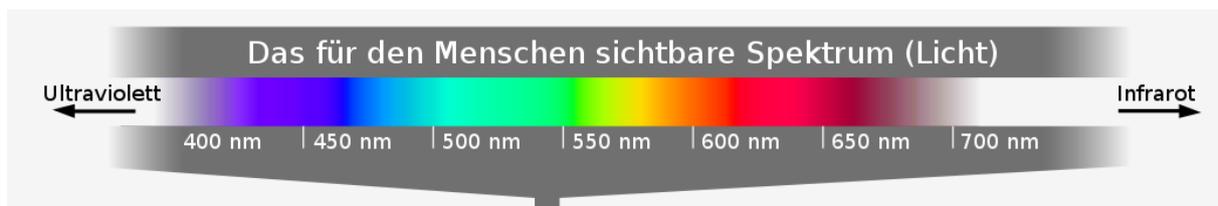
Für die Pflanzenbeleuchtung wurden daher spezielle sog. Grow (englisch für wachsen) LEDs entwickelt. Man bekommt sie oft sehr günstig direkt aus China, aber auch im Amazon Shop sind sie als fertige Leuchten erhältlich.

Nur wie gut sind diese LEDs tatsächlich? Ohne spezielle Messgeräte kann man das nicht beurteilen. Um hier ein wenig Licht in das Dunkel zu bringen und anderen dabei zu helfen Energie zu sparen, bessere Ergebnisse in der Pflanzenzucht zu erzielen und dadurch mehr Freude bei ihrem Hobby zu haben, entstand dieses Dokument.

2 Hintergrund

2.1 Spektrum des sichtbaren Lichts

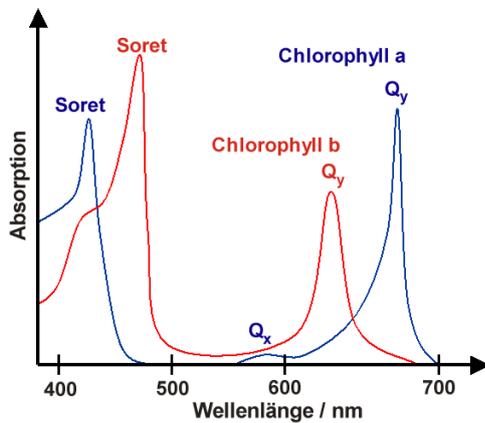
Das sichtbare Licht geht von ca. 400 nm bis 700 nm.



Quelle: Horst Frank / Phrood / Anony - Horst Frank, Jailbird and Phrood, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3726606>

2.2 Das von Pflanzen genutzte Licht

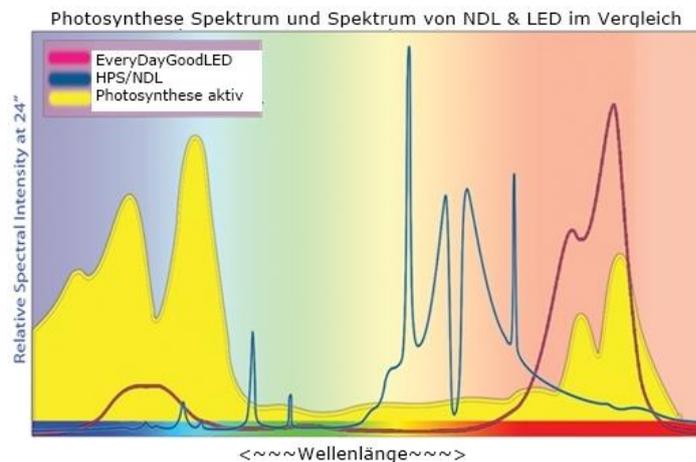
Im Internet sieht man oft die Absorptionsspektren des Chlorophylls, wie hier:



Quelle: aegon - Eigenes Werk, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1019093>

Wie zu erkennen, findet zwischen 500 und 600 nm durch das Chlorophyll kaum Absorption statt. Die angegebenen Spektren gelten allerdings nur für in Lösungsmittel extrahiertes Chlorophyll. Im Gesamtsystem Pflanze können auch andere Wellenlängen verarbeitet werden.

So werden Hochdrucknatriumdampflampen (HPS/NDL) ebenfalls gerne für die Pflanzenzucht eingesetzt, da sie mit einer Lichtausbeute von bis zu 150 lm/W sehr effizient sind. Sie strahlen allerdings das Licht in einem Wellenlängenbereich (steiler Anstieg bei ca. 550nm bis ca. 625 nm) aus, der nicht optimal den Absorptionsspektren für die Photosynthese entspricht.

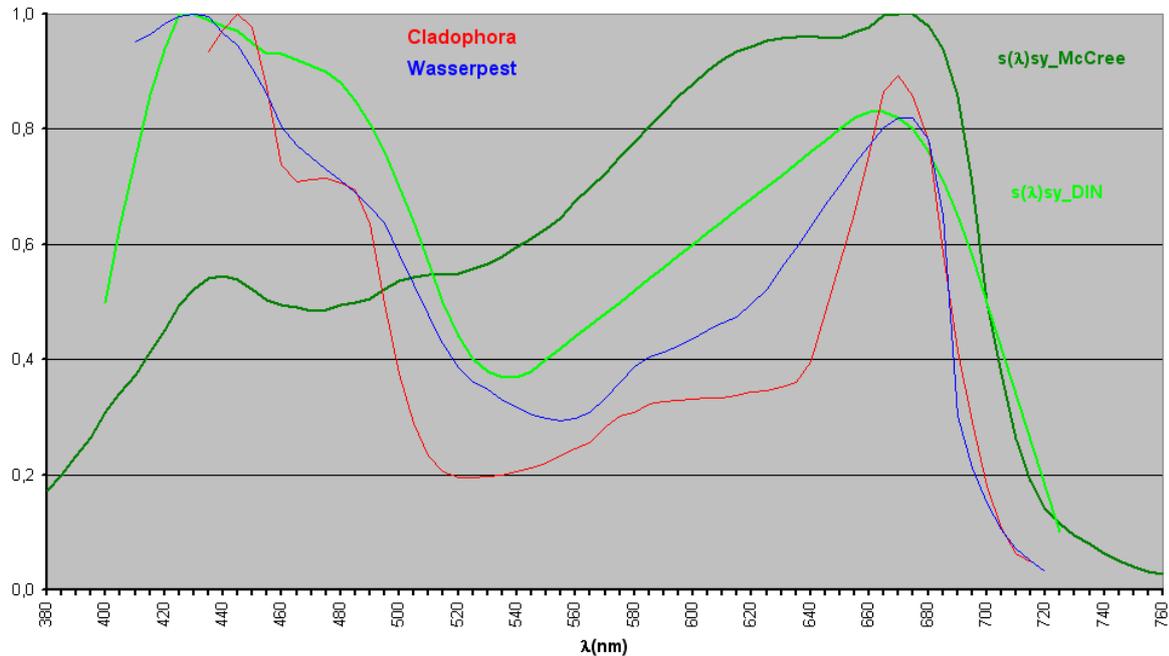


Quelle: <http://www.grow-highpower-led.com/everydaygood-led-lampen/led-und-pflanzenwachstum.html>

Nach der obigen Grafik dürften die Pflanzen somit bei ausschließlicher Beleuchtung durch eine Natriumdampflampe nur langsam wachsen. Es hängt jedoch sehr von der Pflanze ab, wie das Licht jeder Wellenlänge genutzt wird. Sehr interessant dazu ist http://www.hereinspaziert.de/Sehlicht_2009/Bewertung.htm Ganz kurze Zusammenfassung: Es gibt viele Untersuchungen zu den Wirkspektren der Photosynthese. Eine herausragende Arbeit ist die vom japanischen Forscher Keith J. McCree. In seiner Photosynthesekurve sind 61 verschiedene

Pflanzenarten eingeflossen. Eine weitere wurde vom Deutschen Institut für Normung herausgegeben, mit dem Hinweis, dass sie nicht für alle Pflanzen gültig sein kann.

Schauen wir uns nun diese Grafik an:

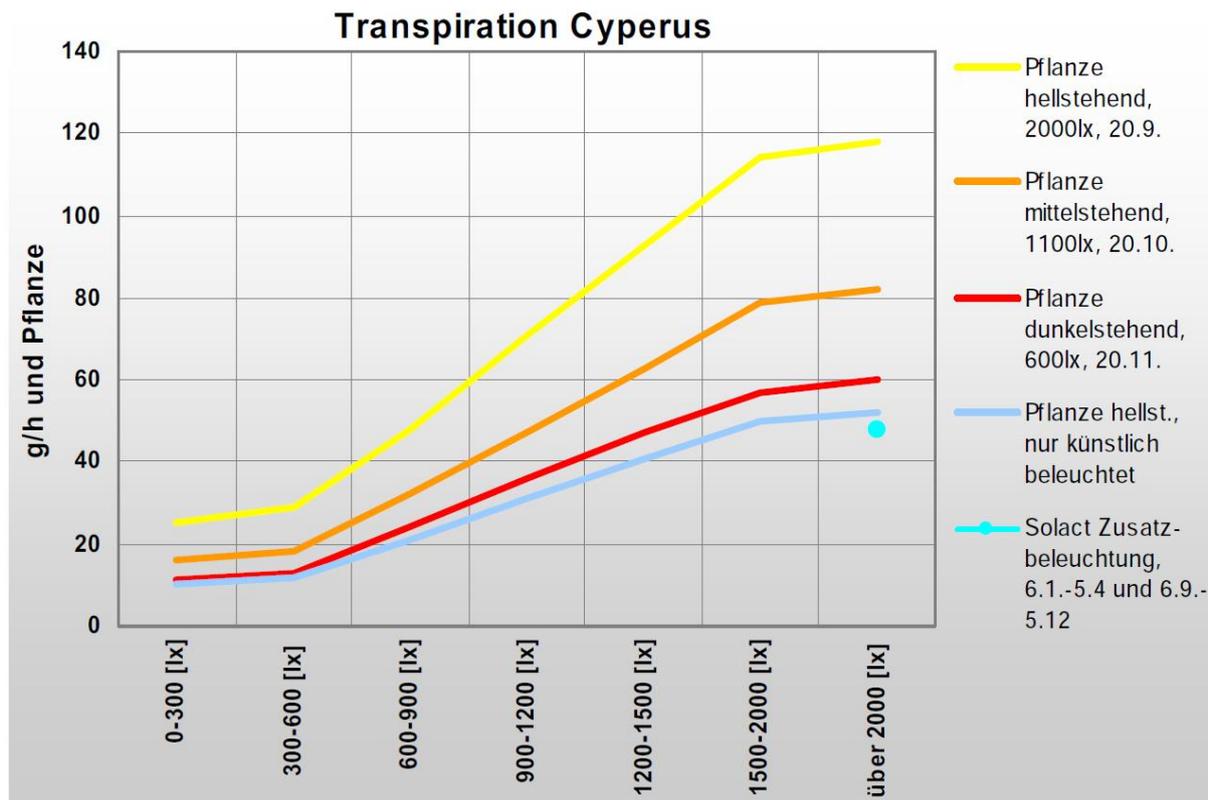


Quelle: http://www.hereinspaziert.de/Sehlicht_2009/Bild6.htm

Wie man erkennt, wird je nach Pflanze/Untersuchung Licht bei einer Wellenlänge von 600 nm zwischen ca. 35 % und ca. 90 % genutzt. Pflanzen sind sehr anpassungsfähig. Meine Meinung ist, dass sich die Pflanzen an das vorhandene Lichtspektrum anpassen und es nach einiger Zeit effizienter nutzen können. Manche Pflanzen mehr, manche Pflanzen weniger. Daher kommt es bei solchen Messungen auch immer darauf an, wie lange man die Pflanze mit dem untersuchten Licht beleuchtet bevor man misst, sodass die Pflanze auch Zeit hat sich anzupassen. *Cyperus alternifolius* (Zypergras, auch Zyperngras genannt) passt z.B. seine Verdunstungsleistung dem vorhandenen Licht an. Es geschieht einmal kurzfristig im Laufe von ca. 30 Minuten je nach Lichtstärke, sowie im Zeitraum von ca. einer Woche.

https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/hdz_pdf/endbericht_sunnyresearch_id2782.pdf

PDF S. 103 bzw. 89 (unten rechts auf der Seite). Je nachdem wieviel Licht die Pflanze innerhalb der letzten Woche bekam, schwankt die Verdunstungsleistung pro Stunde zwischen bei gleicher Beleuchtungsstärke (z.B. Bereich 1500-2000 Lux) zwischen ca. 110 Gramm pro Stunde und ca. 50 Gramm pro Stunde. Das ist ein Unterschied von mehr als 100 % und lässt auf eine große Anpassungsbereitschaft der Pflanzen schließen.



Quelle: https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/hdz_pdf/endbericht_gruenes_licht_id3606.pdf PDF S. 342 bzw. 321

Bei der Solact Zusatzbeleuchtung handelt es sich meiner Vermutung nach um Halogenleuchtampen. Da Pflanzen ihre Spaltöffnungen vor allem durch blaues Licht öffnen (<http://www.spektrum.de/lexikon/biologie-kompakt/spaltoeffnungsbewegungen/10965>), ist es nicht weiter verwunderlich dass die Verdunstungsleistung mit der künstlichen Beleuchtung sehr gering ist. Merkwürdigerweise werden zu diesen Lampen keinerlei Lumen oder ein Energieeffizienzlabel angegeben.

Sehr interessant ist diese Untersuchung <http://bit.ly/2ix3z2O>: Bei hohen Lichtstärken unter weißem Licht, wenn die Pflanze bereits in Lichtsättigung ist, kann durch Gabe von grünem Licht die Photosyntheseleistung gesteigert werden. Da grünes Licht nicht so stark absorbiert wird, wie rotes und blaues Licht, ist es in der Lage weiter in die Tiefe des Blattes vorzudringen und kann in der Tiefe für die Photosynthese genutzt werden. Insgesamt wurde eine Absorption des grünen Lichts (550 nm) an Pflanzen zwischen 50 % und 90 % gemessen, d.h. die Pflanze kann zwischen 50% und 90% für Photosynthese nutzen.

2.3 Die Wirkung von rotem und blauem Licht

Rotes Licht ist vor allem für Längenwachstum verantwortlich, blaues Licht für einen dichten, kräftigen Wuchs. Viele Growleds verwenden einen Rot zu Blau Anteil zwischen 4:1 und 8:1. Auch hier hängt es vermutlich wieder von der Pflanze ab, welchen genauen Anteil sie sich für optimales Wachstum wünscht. Blaues Licht ist energiereicher als rotes Licht und ist für die Photosynthese nicht direkt verwendbar, ein Teil der Energie wird in Form von Wärme abgegeben, die restliche Energie entspricht der von rotem Licht und wird genauso wie dieses für die Photosynthese benutzt. Die unterschiedliche Wirkung auf die Pflanze scheint einzig und allein durch biologische Prozesse zu entstehen. Ähnlich wie sich manche Menschen lieber ein warmweißes Licht ins Wohnzimmer

wünschen um sich wohler zu fühlen, obwohl Licht im Prinzip Licht ist. Laut <https://www.amazon.de/G%C3%A4rtnerischer-Pflanzenbau-Grundlagen-Anbau-Kunststoffen/dp/3825212785> ist es ab Lichtstärken von umgerechnet 6000 Lux die Zusammensetzung des Lichts kaum noch entscheidend.

Die ersten/einfachen Grow-LEDs bestanden aus blauen und roten LEDs, sodass die Pflanze insgesamt Licht zweier verschiedener Wellenlängen erhält. Die genauen Wellenlängen variieren je nach LED-Typ und Anbieter. Es gibt auch die abenteuerlichsten Konstruktionen bei denen roten und blauen LEDs auch noch weiße LEDs beigefügt ist, was den Effizienzvorteil dieser China LEDs natürlich stark reduziert (sofern sie denn Effizient wären☺). Es macht jedoch Sinn zwei Wellenlängen für rot zu verwenden, da es das Photosystem 1 mit Absorptionsmaximum bei 700 nm hat und Photosystem 2 mit einem Absorptionsmaximum bei 680 nm. <https://de.wikipedia.org/wiki/Emerson-Effekt>

2.4 Photorespiration und -Inhibition

Bei C3 Pflanzen (die meisten Pflanzen) gibt es einen interessanten Effekt namens Photorespiration. <https://de.wikipedia.org/wiki/Photorespiration>. Je weniger CO₂ im Verhältnis zu Sauerstoff vorhanden ist, desto ausgeprägter ist dieser Effekt, da sich das Enzym RuBisCO statt an CO₂ an Sauerstoff bindet. Je geschlossener die Spaltöffnungen sind, desto weniger CO₂ gelangt zur Pflanze, sodass ein zu hoher Rotanteil die Photorespiration erhöhen kann (es sei denn man „düngt“ mit CO₂ <https://de.wikipedia.org/wiki/Kohlenstoffdioxid-D%C3%BCngung>) und damit umsonst beleuchtet wird.

Übrigens gilt nicht, viel hilft viel, bei zu viel Licht reduziert sich das Wachstum. Das ganze nennt sich Photoinhibition. Die genauen Werte hängen natürlich auch wieder von Pflanzenart und wahrscheinlich auch von deren individuellen Bedingungen (z.B. unter wieviel Licht gewachsen) ab. <https://de.wikipedia.org/wiki/Photoinhibition>

3 Konkrete Beispiele für Grow-LEDs

3.1 LED-Leuchtstreifen

Meine erste Erfahrung mit Grow-LEDs war ein im November 2015 bei Banggood bestellter LED Streifen. Er wird immer noch unter diesem Link <https://anonym.to/?http://www.banggood.com/de/1M-2M-3M-4M-5M-41-5050-SMD-LED-Hydroponic-Plant-Grow-Strip-Light-12V-p-973918.html> angeboten. Der Preis ist ungefähr immer noch ca. derselbe wie vor einem Jahr (ca. 17 € inkl. Versand)

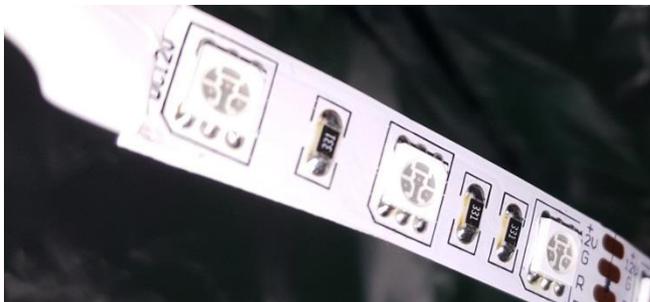
Eigenschaften:

- Rot zu Blau Anteil 4:1
- 12 Volt Spannung
- Mit 12 Watt pro Meter angegeben
- Wellenlänge rot: 625-660nm, blau 450-465 nm

Es wurde die 5 Meter Version bestellt. Bei 12 Watt pro Meter müsste das 60 Watt machen.



2,64 Ampere bei 12 Volt sind 31,68 Watt und damit nur die Hälfte der versprochenen Leistung.



Es sind immer 3 rote LEDs in einer Dreiergruppe sowie eine Dreiergruppe bestehend aus 2 roten und einer blauen LED im Wechsel. Der Vorwiderstand ist immer gleich, der Aufdruck beträgt 331 und damit 330 Ohm. Blaue LEDs haben eine höhere Spannung als rote LEDs, d.h. in der Dreiergruppe mit der blauen LED, bekommen die roten LEDs weniger Spannung als in der Dreiergruppe mit drei roten LEDs. Der Spannungsabfall am Widerstand in der Gruppe mit drei roten LEDs beträgt 5,5 Volt, in der anderen Dreiergruppe mit zwei roten und einer blauen LED 4,8 Volt. $5,5/12=0,46$, d.h. 46 % der Energie wird in der Dreiergruppe mit roten LEDs in Wärme umgewandelt, $4,8/12=0,4$ d.h. 40 % sind es bei der Dreiergruppe mit einer blauen und zwei roten LEDs. Da diese beiden Gruppen immer im Wechsel sind, beträgt der Gesamtverlust am Widerstand $0,4+0,46/2=43\%$.

Es handelt sich hier um SMD LEDs der Bauform 5050 mit je 6 Anschlüssen. Es sind drei einzelne LEDs in den Gehäusen untergebracht. Interessanterweise wird der Grow-LED-Streifen so geliefert, dass nur eine dieser drei LEDs leuchtet. Erst wenn man die beiden mittleren Anschlusskontakte auf Masse legt, leuchten auch die beiden anderen Einzel LEDs innerhalb einer 5050 SMD-LED. Die Tatsache, dass der Grow-LED-Streifen nur mit einem Drittel seiner Möglichkeiten betrieben wurde, ist mir gerade erst bewusst geworden, als ich für diesen Bericht nachgemessen habe. Sehr merkwürdig vom Hersteller, dass er die beiden anderen Kontakte nicht gleich auf Masse setzt, denn 99 % der Käufer werden einfach an die vom Hersteller herausgeführten Anschlüsse die 12 Volt anlegen. Somit bleiben auch die beiden rechten SMD-Widerstände im Bild oben im „Herstellerbetrieb“ ohne jeden Stromdurchfluss. Werden die beiden anderen Kontakte auf Masse gelegt, erreicht man sogar 18 Watt pro Meter, statt der vom Hersteller angegebenen 12 Watt pro Meter.

Mit diesem 5 Meter LED-Streifen wurde auf einer Fläche von ca. 0,4 m² Radieschen, Kopfsalat und Thymian gezogen. Der Thymian ging ein, die Radieschen und der Kopfsalat waren stark vergeilt. Mit einem PAR-Meter, einem Messgerät, welches die photosynthetisch aktive Strahlung misst, wurde ein Vergleichswert von lächerlichen 1000 Lux gemessen. Wäre der LED-Streifen mit allen drei Einzel LEDs der 5050 SMD-LEDs betrieben worden, wären es 3000 Lux gewesen, bei dreifachem Stromverbrauch versteht sich. Nun ist jedenfalls das Ergebnis des äußerst schlechten Wachstums klar, obwohl ca. 20 Stunden am Tag beleuchtet wurde (jeweils 10 Stunden mit 2 Stunden Dunkelpause). Mit weißen LEDs und guten 150 Lumen pro Watt wären gute 11.900 Lux erreicht worden (12V*2,64A=31,68 W; 31,68 W * 150 Lumen/Watt = 4752 Lumen; 4752 Lumen / 0,4 m² = 11.880 Lux). Nehmen wir mal an bei diesem Grow-LED-Stripe wären keine Verluste in den Vorwiderständen zu verzeichnen, d.h. statt 1000 Lux wären es nun 1000/0,43=2326 Lux, sprich der Wirkungsgrad der weißen LEDs ist immer noch ca. fünfmal höher als der gelieferten roten und blauen LEDs.

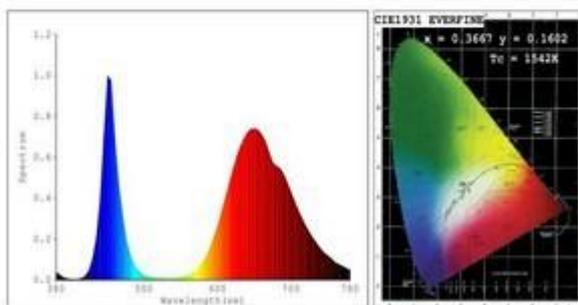
3.2 „Full Spectrum Grow LED“

Der aktuelle Renner in China-Shops (gemessen an der Anzahl der Angebote) sind „Full Spectrum Grow LEDs“. Sie werden größtenteils als fertige 220V Lösungen angeboten. Leider sind solche Lösungen, was die elektrische Sicherheit angeht, oftmals leider auf einem sehr niedrigen Standard. Da ich keine Lust auf einen Wohnungsbrand habe, wurden die Chips für Niederspannung bestellt um sie mit einem sicheren Netzteil betreiben zu können.

Hier geht's zum Produkt <https://anonym.to/?https://www.aliexpress.com/item/Hydroponic-1W-3W-10W-30w-50W-100w-Led-Grow-light-Chip-Epistar-Bridgelux-chip-full-spectrum/32669288029.html>

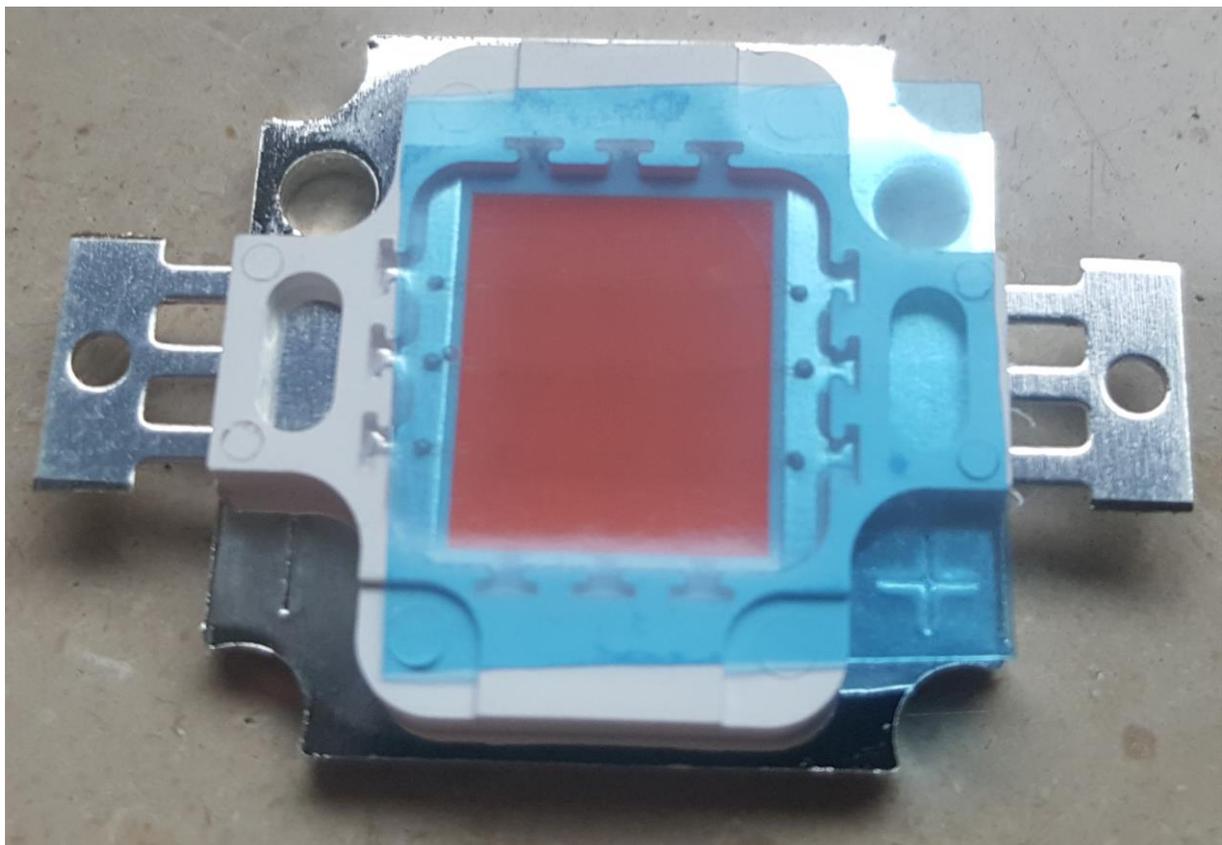
Es wird mit namhaften Herstellern wie Epistar und Bridgelux geworben. Interessanterweise findet man auf deren Webseite keine LEDs, die die beworbenen technischen Daten haben. Das hätte mich schon stutzig machen müssen.

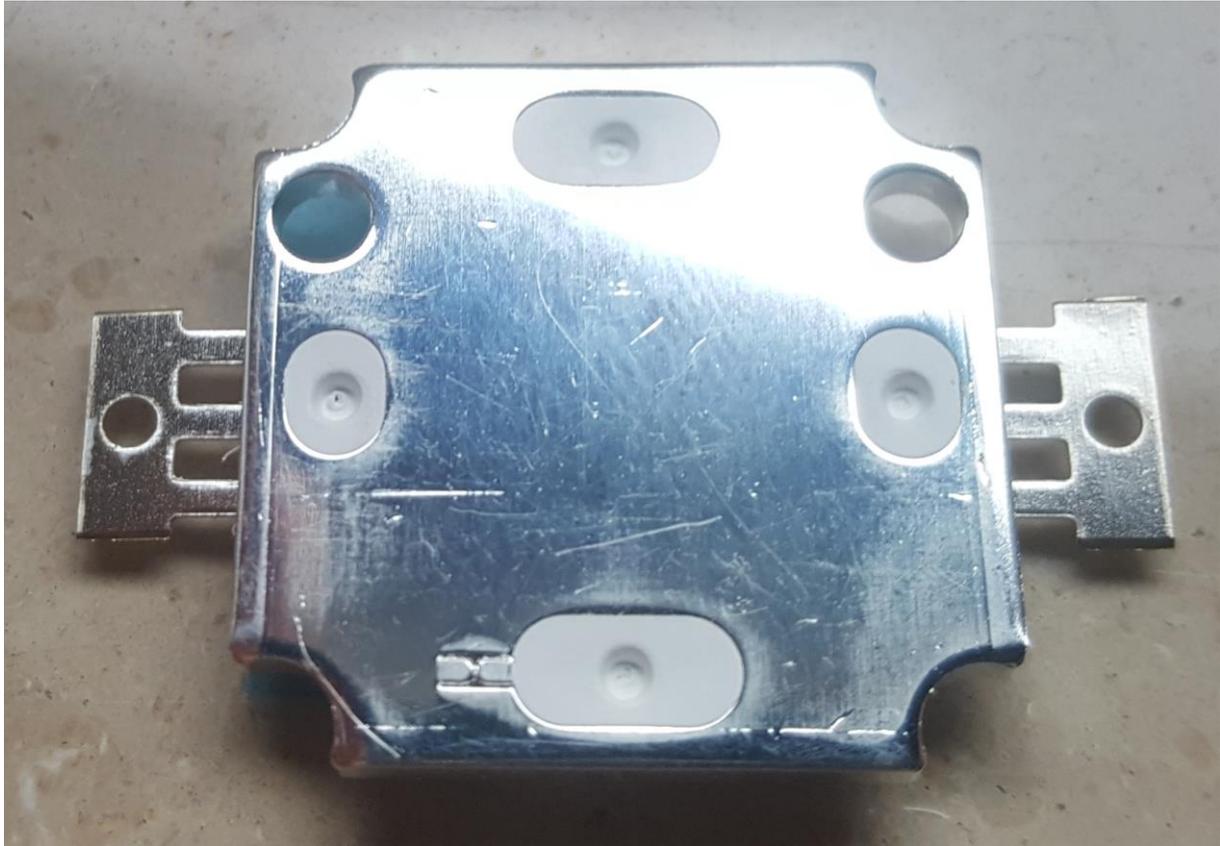
Led full spectrum(380-840nm)



Quelle: Siehe Link oben

Es wird mit „Full Spectrum“ geworben. Gemeint ist, dass es im roten Bereich eine große Verteilungskurve gibt. Dies ist, wie oben beschrieben aufgrund von Photosystem 1 und 2 sinnvoll. Dennoch ist unter Full Spectrum eigentlich ein weißes Licht mit einem hohen Farbwiedergabeindex (CRI) zu verstehen. Die Abbildung der CIE Farbtabelle ergibt für mich hier gar keinen Sinn.





So sieht die Lieferung aus (genauer Bestelltag unkenntlich gemacht). Die blaue Folie kann natürlich abgezogen werden.

Technische Daten:

- 10 Watt
- Betriebsspannung 9 – 11 V
- Betriebsstrom 1,05 A
- Abstrahlwinkel 120°

Wenn man die LED an eine viel zu geringe Betriebsspannung anschließt, kann man die einzelnen LEDs schwach glimmen sehen und man erkennt, dass es sich um 3 in Reihe geschaltete einzelne LEDs handelt, das ganze 3 mal, sodass hier 9 1 Watt LEDs verbaut sind.

Es musste relativ viel Spannung am Vorwiderstand vernichtet werden, sodass bei einer Leistungsaufnahme von 10 Watt an der LED das Netzteil 15 Watt aufnahm, d.h. hier haben wir schon 50 % Verlust durch die Stromversorgung bei dieser LED.

Wie macht sich die LED? Leider ziemlich schlecht. Nachdem ich mit dem Leuchtstreifen so hereingefallen war, war ich dieses mal besonders wachsam und habe mir extra hierfür ein PAR-Meter bestellt um zu messen wie gut die LED ist.

Beide LEDs sind mit einem Abstrahlwinkel von 120° angegeben. Links ist eine warmweiße LED, Leistung 3,8 Watt, 340 Lumen, rechts die Grow LED. Um auf dieselbe fotosynthetische Wirkung bei gleichem elektrischem Wirkungsgrad wie die warmweiße LED zu kommen müsste sie $15/3,8$ den 3,94

fachen Wert, also 631 anzeigen. Selbst bezogen auf die Nennleistung von 10 Watt müssten es $10/3,8=2,63$ müssten es 421 sein.

Diese spezielle Grow-LED, die theoretisch aufgrund des fehlenden Grünanteils im Spektrum einen Wirkungsgradvorteil haben müssten, ist um Welten schlechter als die billige 230 Volt LED mit nicht einmal 100 Lumen pro Watt. Auch die überaus starke Erwärmung des Kühlkörpers lässt auf eine niedrige Effizienz schließen.



4 Fazit, Tipps und Empfehlungen

Augen auf beim Kauf von Grow-LEDs. Wie man sieht, wird da sehr viel Mist verkauft. Von günstigen Fertiglösungen für 220 Volt aus China rate ich dringend aufgrund der elektrischen Sicherheit und der Brandgefahr immer ab. Leider sind solche auch direkt bei Amazon.de zu bekommen, also aufgepasst.

Unter http://www.literacy.at/fileadmin/literacy/redaktion/pdf/vwa_stollberger.pdf findet sich eine interessante Arbeit, wo das Wachstum bei einer warmweißen LED und nur blau-rot Beleuchtung mit jeweils 10 Watt Leistung verglichen wird. Man sieht dort auf S. 41, dass sie weiße LED deutlich mehr pflanzenverwertbares Licht als die rot-blauen LEDs liefern. Es wird dort auch vermutet, dass es nicht allein auf die Absorptionskurven von gelöstem Chlorophyll ankommt, sondern im Gesamtsystem Pflanze auch andere Wellenlängen zum Wachstum beitragen. Salat z.B. zeigte bei rot-blau Licht eine deutlich verlängerte Keimdauer (Lichtkeimer), sowie eine deutlich verringerte Keimquote. Weißes Licht wird als die beste Lichtquelle für künstliche Beleuchtung angesehen. Anmerkung: Der Autor der Arbeit ist vermutlich ebenfalls auf billige China-LEDs hereingefallen, weswegen er selbst mit einer warmweißen LED deutlich bessere Ergebnisse als mit rot-blau Beleuchtung erzielt hat.

Persönlich habe ich zu viel Zeit und auch Geld in den Chinamüll investiert, sodass ich mich nun auf weiße Marken-LEDs konzentriere. Alles andere lohnt sich weder finanziell noch zeitlich.

4.1 Lux-Meter

Von ELV gibt es für relative günstige 29,95 € das digitale Luxmeter LM 1302. Der Vorteil von diesem Gerät ist, dass die Messeinheit von der Anzeige getrennt ist, das vereinfacht die Messung erheblich. Beim gezeigten PAR-Meter (Kaufpreis 300 €) ist diese direkt eingebaut, dies ist sehr unpraktisch, weswegen es retourniert wurde. Hinzukommt, dass in dieser 300 € Preisklasse immer noch ein sehr ungenaues Messergebnis erzielt wird. <http://www.advancedaquarist.com/2013/2/equipment> Da reicht ein günstiges Lux-Meter für Vergleichsmessungen aus.

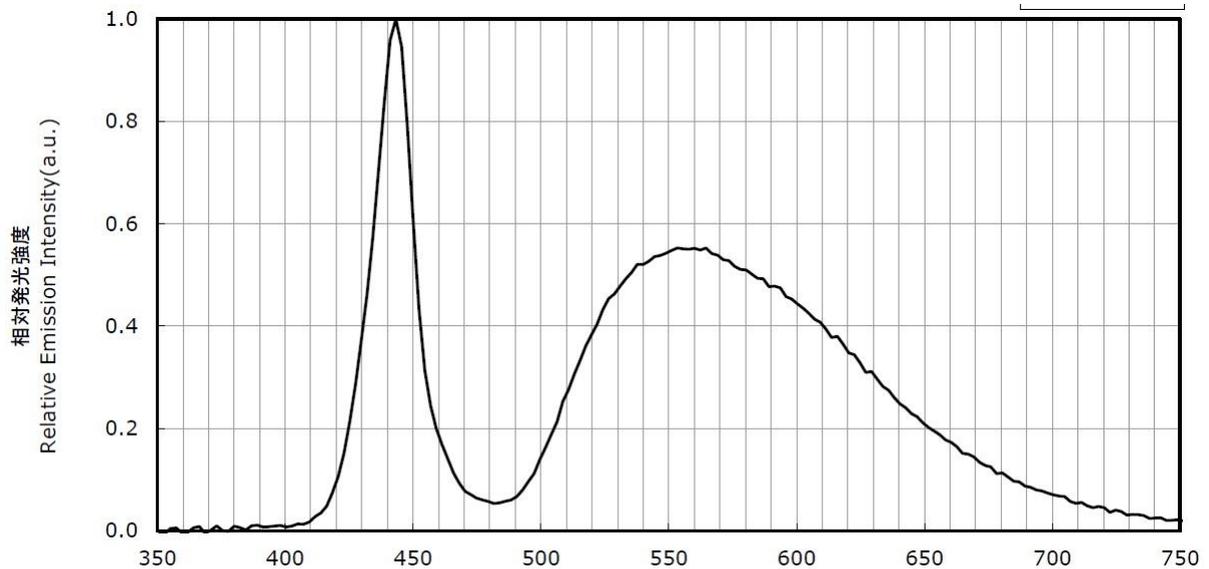
Wer selbst seine Grow-LEDs mittels Luxmeter messen möchte: Um den gemessenen Lux-Wert für die 10 Watt Grow-LED auf äquivalente Tageslicht-Lux umzurechnen ist der Faktor ca. 1,9, sprich der gemessene Werte entspricht ca. den doppelten Lux, wenn es weißes Licht wäre.

4.2 Weiße LEDs

Eine kostengünstige Lösung und um Welten besser als die billigen China-Grow-LEDs sind herkömmliche weiße LEDs von einem vertrauenswürdigen Hersteller auf dessen Lumenangabe man sich verlassen kann.

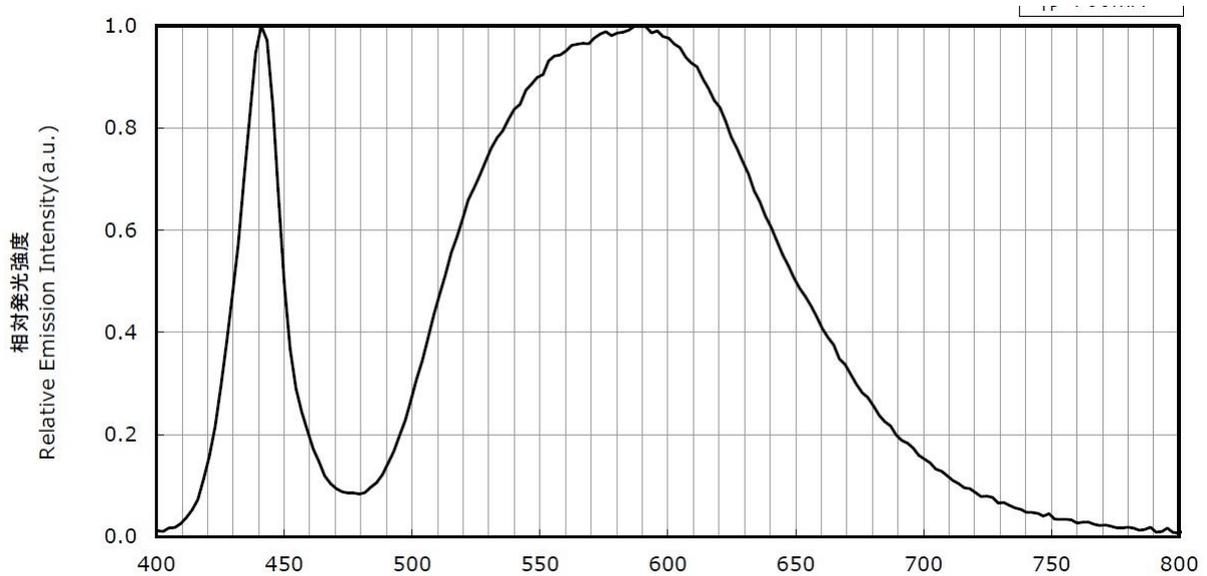
Blaue Leuchtdioden lassen sich mit sehr hoher Effizienz herstellen, deswegen werden für Weißlicht-LEDs hauptsächlich solche verwendet. Man bringt dazu eine Phosphorschicht auf, die einen Teil des blauen Lichtes in langwelligeres Licht umwandelt, wodurch der Eindruck eines weißen Lichts entsteht. Diese Umwandlung ist mit einem gewissen Verlust verbunden, aus diesem Grund lassen sich kaltweiße LEDs mit einer höheren Effizienz, also mehr Lumen pro Watt, herstellen als warmweiße LEDs.

Das Spektrum einer kaltweißen LEDs sieht dann so aus:



Quelle: <https://www.nichia.co.jp/specification/products/led/NVSW219B-V1-E.pdf> S.12

Einer warmweißen:



Quelle: <https://www.nichia.co.jp/specification/products/led/NVSL219B-V1-E.pdf>

Da es sich um relative Werte handelt, sind die Kurven nicht direkt vergleichbar. Es fällt auf, dass der Blauanteil bei der kaltweißen LED wesentlich höher ist als bei der Warmweißen. Der Blauanteil wird (je nach Pflanze), wie in Abschnitt 2 Hintergrund effektiver verwertet als der Anteil um 600 nm herum.

Für die Photosynthese und damit das Pflanzenwachstum zählt hauptsächlich die Anzahl der Photonen. Da bei einer kaltweißen LED insgesamt weniger Umwandlung in langwelliges Licht stattfindet, können dort effizientere LEDs als bei warmweißem Licht hergestellt werden. Hinzu kommt, dass der Blauanteil von den Pflanzen effektiver verwertet wird als der mittlere Bereich um 600nm, sodass kaltweiße LEDs für die Pflanzenzucht besser geeignet sind als warmweiße.

4.2.1 Die Osram Substitube LED-Lampe

Osram hat z.B. die Substitube Baureihe mit über 150 Lumen pro Watt (und das mit Netzteilverlust und Verlust durch den Diffusor). Siehe dazu hier <http://www.ledstyles.de/index.php/Thread/25763-Die-Osram-Substitube-LED-zerlegt-und-untersucht-Link-zu-PDF/> Voraussichtlich in den nächsten 4 Wochen wird im dortigen PDF auch eine Lösung gezeigt, wie die LED auf 12 Volt umgerüstet wird.

Im Netzteil tritt bei der Substitube ein Verlust von ca. 10 % auf, sodass die reine LED auf mindestens 165 Lumen/Watt kommt (Verluste durch den Diffusor unbekannt, vermutlich im Bereich von 10 %). Die Wirkungsgradberechnung gestaltet sich hier etwas schwerer. Je nachdem wie das gewünschte Spektrum aussehen soll, ändern sich die maximal möglichen Lumen pro Watt. Hier <https://www.dial.de/de/article/effizienz-von-leds-die-hoechste-lichtausbeute-einer-weissen-led/> gibt es schöne Berechnungen dazu (Abschnitt "Lichtausbeuten in Abhängigkeit vom Spektrum"). Am vergleichbarsten ist die vorletzte LED mit Farbtemperatur 4000K und 35 Watt. Hier beträgt die theoretische maximale Effizienz ca. 319 Lumen/Watt. Das heißt die verbauten LEDs in der Substitube kommen auf einen Wirkungsgrad von mindestens $165/319=51,7\%$. Bei einfarbigen LEDs geht es noch besser, siehe Abschnitt 4.3.2 Die Selbstbaulösung.

4.3 Kommerzielle LEDs für Pflanzenbeleuchtung

Im professionellen Gartenbau werden tatsächlich nur blaue und rote LEDs eingesetzt. Allerdings sind diese Leuchten von namhaften Herstellern mit einem sehr guten Wirkungsgrad. Da der Fokus auf professionelle Gewächshäuser liegt, sind sie für Privatanwender kaum erschwinglich bzw. einfach nicht wirtschaftlich. Wahrscheinlich werden sie das erst, wenn man für mehrere Jahre 24 Stunden am Tag verwendet. Professionelle, seriöse Grow-LED Hersteller geben die photosynthetisch aktive Strahlung in $\mu\text{mol}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$ an.

4.3.1 Fertiglösungen

Beim Stöbern auf LEDStyles.de bin ich auf <https://anonym.to/?http://www.growy.eu/cards/eu-growy-catalogue.pdf> gestoßen und habe mich an einer Berechnung versucht. Allerdings geben die angegebenen Werte aus meiner Sicht wenig Sinn. Gehen wir von Seite 21 aus. Dort wird eine Lampe mit im Durchschnitt $0,81 \mu\text{mol}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$ pro Watt angeboten. Seltsamerweise ändert sich der Wert je nach Höhe. Das macht keinen Sinn, da der Wirkungsgrad unabhängig von der Höhe ist. Wenn wir davon ausgehen, dass es die Beleuchtungsstärke ist, macht das ebenfalls keinen Sinn, da sie viel zu gering ist, sodass wir nun mit dem avg $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ rechnen, in diesem Fall mit 24,15. Es wird mit beworben, dass Osram LEDs enthalten sind. Die trifft übrigens schon zu, wenn eine einzige verbaute LED von Osram ist...

Es ist eine stabförmige Lampe, d.h. wir stellen uns vor, dass sie an der Decke eines Prismas befestigt ist. Man stelle sich einfach eine große Tobleroneschachtel vor in dessen Decke die Grow-LED befestigt ist. Bei einer Höhe von einem Meter und einem Winkel von 80° kann man sich die beiden

Enden dieser Schachtel als gleichschenkliges Dreieck vorstellen. <https://rechneronline.de/pi/gleichschenkliges-dreieck.php> Gibt man dort als Länge der Schenkel 1,31, als Länge der Basis(=Breite der Tobleroneschachtel) 1,68 an, so erhält man das gleichschenklige Dreieck mit einer Höhe von einem Meter und einem „Dachwinkel“ von 80°. Die Lampe selbst ist 0,48 m lang, das ist die Länge unserer Toblerone. Das macht dann eine Grundfläche von 0,48 (Länge der Schachtel) * 1,68 (Breite der Rolle) = 0,8064 m². Wir gehen davon aus, dass die Lampe ihre gesamte Leistung auf diese Fläche strahlt. Wenn wir annehmen, diese Leistung auf eine Fläche von einem Quadratmeter normieren, dann können wir das in Lux umrechnen bzw. der Lux-Wert entspricht dem Lumen-Wert. Laut

<http://www.landwirtschaftskammer.de/gartenbau/beratung/technik/artikel/lichtwerte-umrechnen.htm> beträgt der Umrechnungsfaktor 0,056 um ihn in Kilolux umzurechnen. In meinen eigenen Messungen habe ich den Umrechnungsfaktor von $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ auf Lux mit 55 bestimmt, sodass die Angabe von 56 glaubhaft ist. Daher $24,15 \cdot 0,8064 = 19,47$ Dementsprechend mit 56 multiplizieren um ihn in Lux umzurechnen. $19,47 \cdot 56 = 1090$ Lumen. Die Lampe hat 30 Watt d.h. bezogen auf eine weiße LED werden hier nur ca. 36 Lumen pro Watt erreicht.

Die nächste angebotene Lampe auf Seite 22 ist doppelt so lang und hat die doppelte Leistung. Damit verdoppelt sich in unserer Vorstellung der Tobleroneschachtel die Länge, da der Abstrahlwinkel von 80° gleich ist. Da wir auch die doppelte Leistung haben, müsste der avg $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ Wert in etwa gleich sein. Er ist aber ca. das Doppelte mit 48,30. Rechnen wir hier kurz durch. $1,68 \cdot 0,954 = 1,60 \text{ m}^2$. $48,3 \cdot 1,6 = 77,28$. $77,28 \cdot 56 = 4328$ Lumen. Diese Lampe hat 60 Watt, wodurch wir hier 72 Lumen pro Watt erreichen würden. Das gibt wenig Sinn, dass diese Lampe nun doppelt so effizient sein sollte.

Vielleicht kann mir jemand die Werte erklären, einen Rechenfehler finden oder es sind einfach nur schön klingende Werte, was den Griff zu normalen weißen LEDs für die Pflanzenzucht nur noch weiter untermauert.

4.3.2 Die Selbstbaulösung

Wer mehr Bastelarbeit nicht scheut, tief und effizient einsteigen möchte, der kann sich selbst eine Pflanzen-LED bestehend aus roten und blauen LEDs bauen. Aber bitte mit effizienten LEDs.

Als derzeit energieeffiziente LEDs kommen hier die Osram Oslon SSL LEDs GH CSSPM1.24 in Frage http://www.osram-os.com/osram_os/en/products/product-catalog/leds-for-general-lighting/oslon-ssl-colors/index.jsp

Es gibt sie mit 80°, 120° und 150° Abstrahlwinkel. Beim Überfliegen der technischen Daten wurde festgestellt, dass diese, bis auf die Abstrahlwinkel, gleich sind. Die weiteren Werte sind dem Datenblatt der 120° Version entnommen.

Rote Photonen haben weniger Energie als blaue Photonen und nachdem es für die Photosynthese nur auf die Anzahl der Photonen ankommt, ist es energiesparender mehr rote Photonen (=rotes Licht) zu verwenden als Blaues.

Obwohl die blaue LED einen um 13 Prozentpunkte oder einen um 23 % höheren Wirkungsgrad hat, ist in Bezug auf die Photonenzahl pro Watt die rote LED um ca. 20 % überlegen.

	Spannung	λ	eV	Strom	Leistung	Strahlungsleistung [W]	Verlustleistung [W]	Wirkungsgrad	Photonen/J	Photonen/s	$\mu\text{mol/s}$	Photonen/W
rot	2,15	660	1,88	0,35	0,7525	0,425	0,3275	56,48	3,32252E+18	1,4121E+18	2,34	1,8765E+18
blau	2,85	451	2,75	0,35	0,9975	0,69	0,3075	69,17	2,27039E+18	1,5666E+18	2,60	1,57049E+18

Daten zu den Osram Oslon SSL GH CSSPM1.24

Im Moment (Mitte Januar 2017) ist nur die 120° Version Ende Januar lieferbar, die anderen beiden Versionen sind erst gegen Ende März lieferbar, deswegen habe ich LEDs von der 120° Version bestellt und werde diese Anleitung nach Erhalt und Eigenbau updaten.