

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
4.3 Kommerzielle Pflanzen-LEDs.....	13

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 nur sehr wenig 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>)

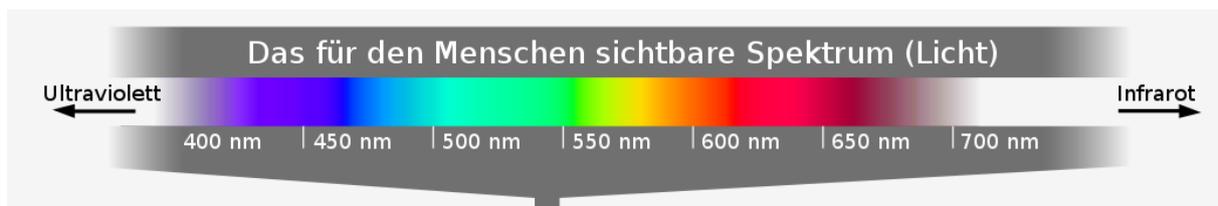
Für die Pflanzenbeleuchtung wurden daher spezielle sog. Grow (englisch für wachsen) LEDs entwickelt. Man bekommt sie oft sehr günstig direkt aus China, aber auch im Amazon Shop sind sie als fertige Leuchten erhältlich.

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

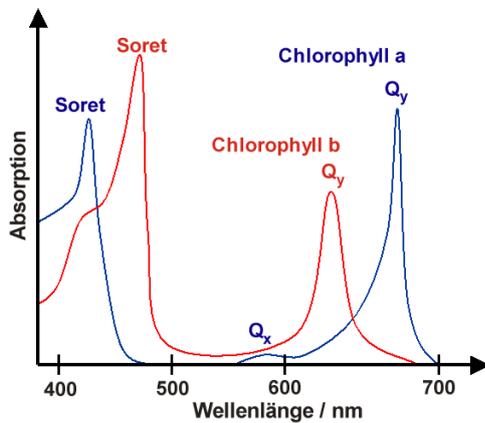
Das sichtbare Licht geht von ca. 400 nm bis 700 nm.



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

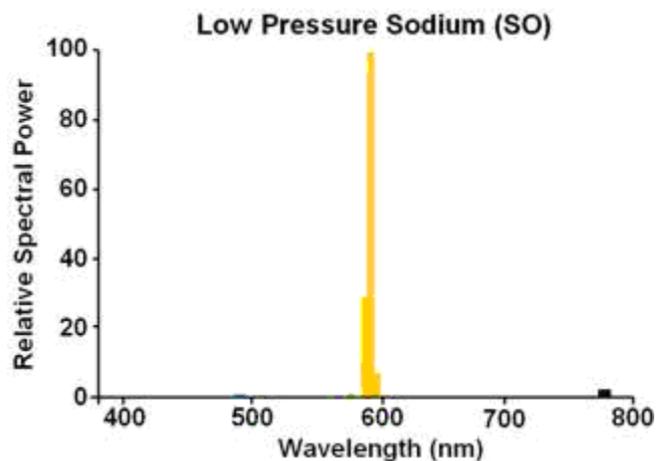
Im Internet sieht man oft die Absorptionsspektren des Chlorophylls, wie hier:



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 Natriumdampflampen (NDL) ebenfalls gerne für die Pflanzenzucht eingesetzt, da sie mit einer Lichtausbeute von bis zu 150 lm/W sehr effizient sind. Sie strahlen allerdings nur monochromatisches Licht mit einer Wellenlänge von ca. 600 nm aus (das Auge hat hier ca. 60 % seiner maximalen Empfindlichkeit und interessanterweise ist die maximale Empfindlichkeit des Auges ungefähr bei der Wellenlänge, bei der auch das auf die Erde dringende Sonnenlicht seine maximale Intensität hat).

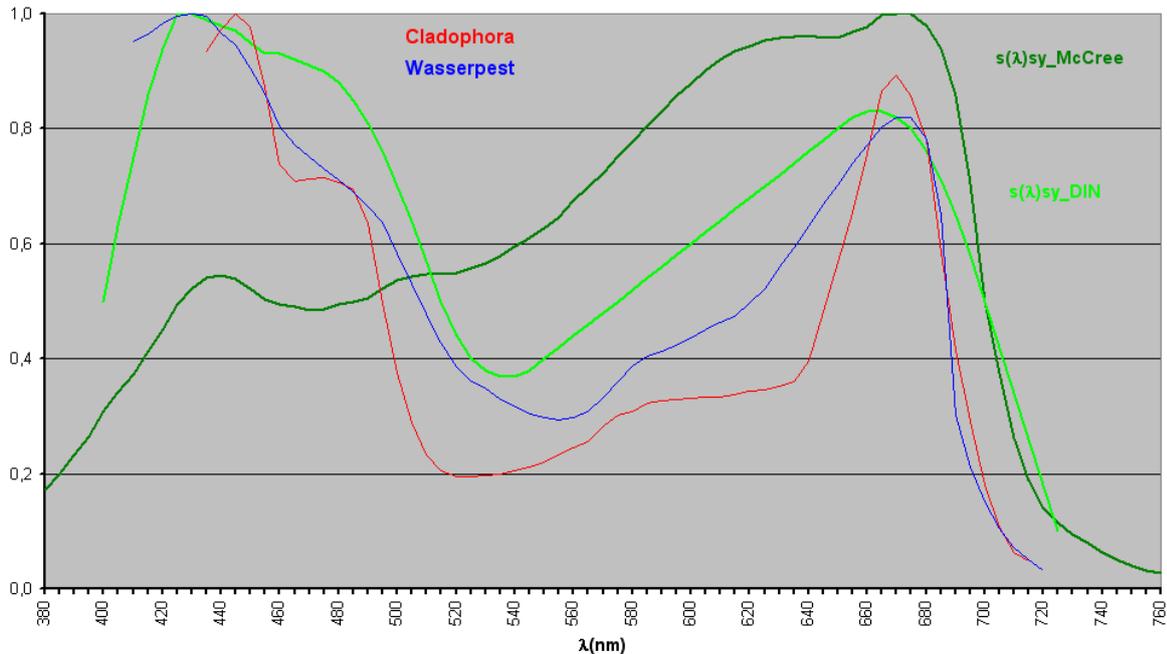


Quelle: Der ursprünglich hochladende Benutzer war Gerben49 in der Wikipedia auf Niederländisch - Übertragen aus nl.wikipedia nach Commons., CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3511896>

Nach der obigen Grafik dürften die Pflanzen somit bei ausschließlicher Beleuchtung durch eine Natriumdampflampe kaum 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:

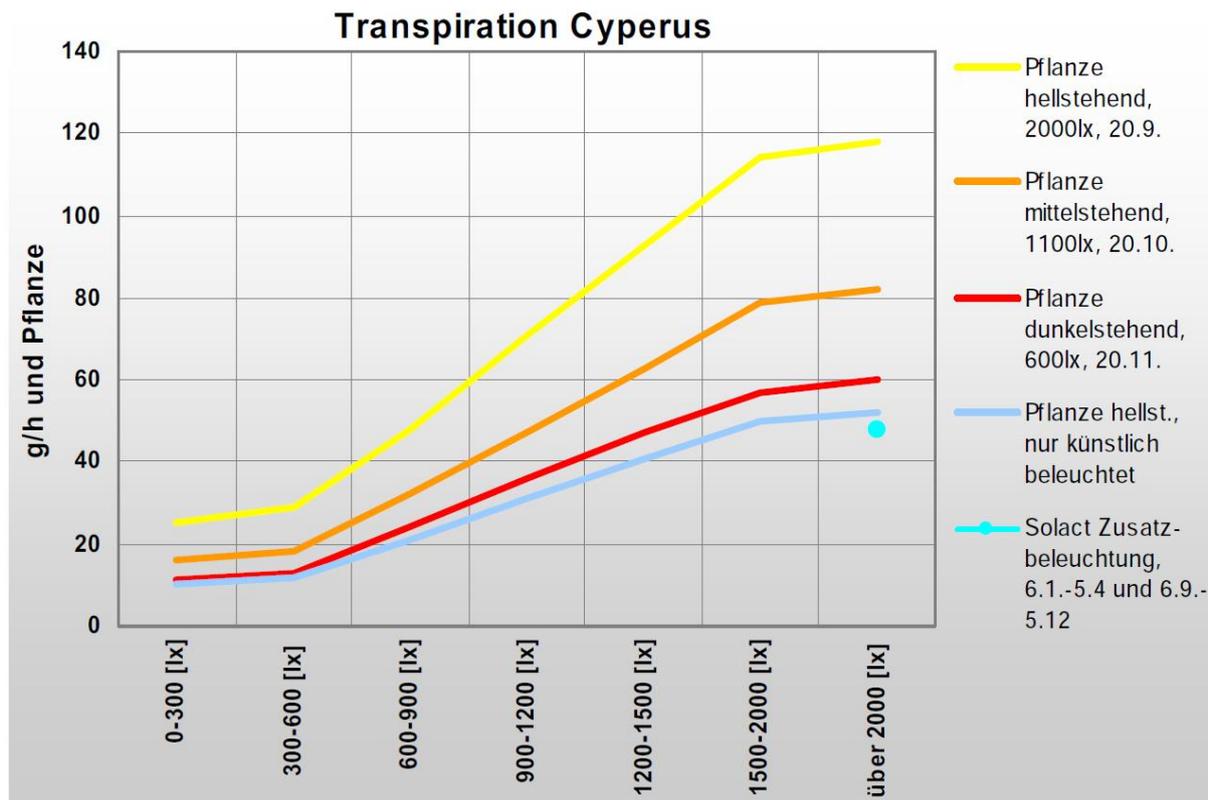


Quelle: http://www.hereinspaziert.de/Sehlicht_2009/Bild6.htm

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.

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.

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 von speziellen 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. Irgendwo habe ich mal gelesen (finde leider die Quelle trotz intensiver Suche nicht, glaube es war bei Wikipedia und dieser Effekt hat sogar einen eigenen Namen), dass nur wenn beide Photosysteme angeregt werden ein optimales Wachstum herrscht.

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)

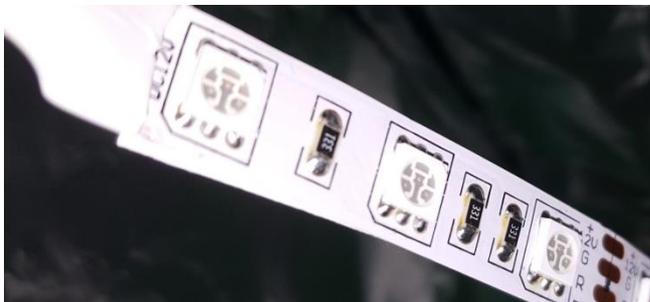
Eigenschaften:

- 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 ab 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 Einzelleds 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.

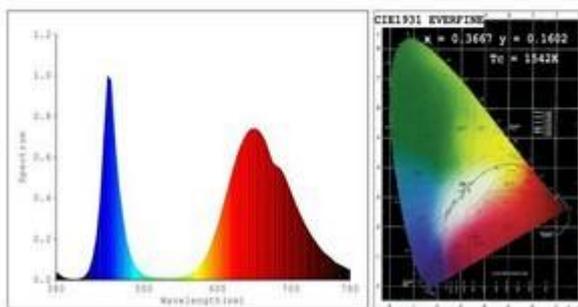
3.2 „Full Spectrum Grow LED“

Der aktuelle Renner (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>

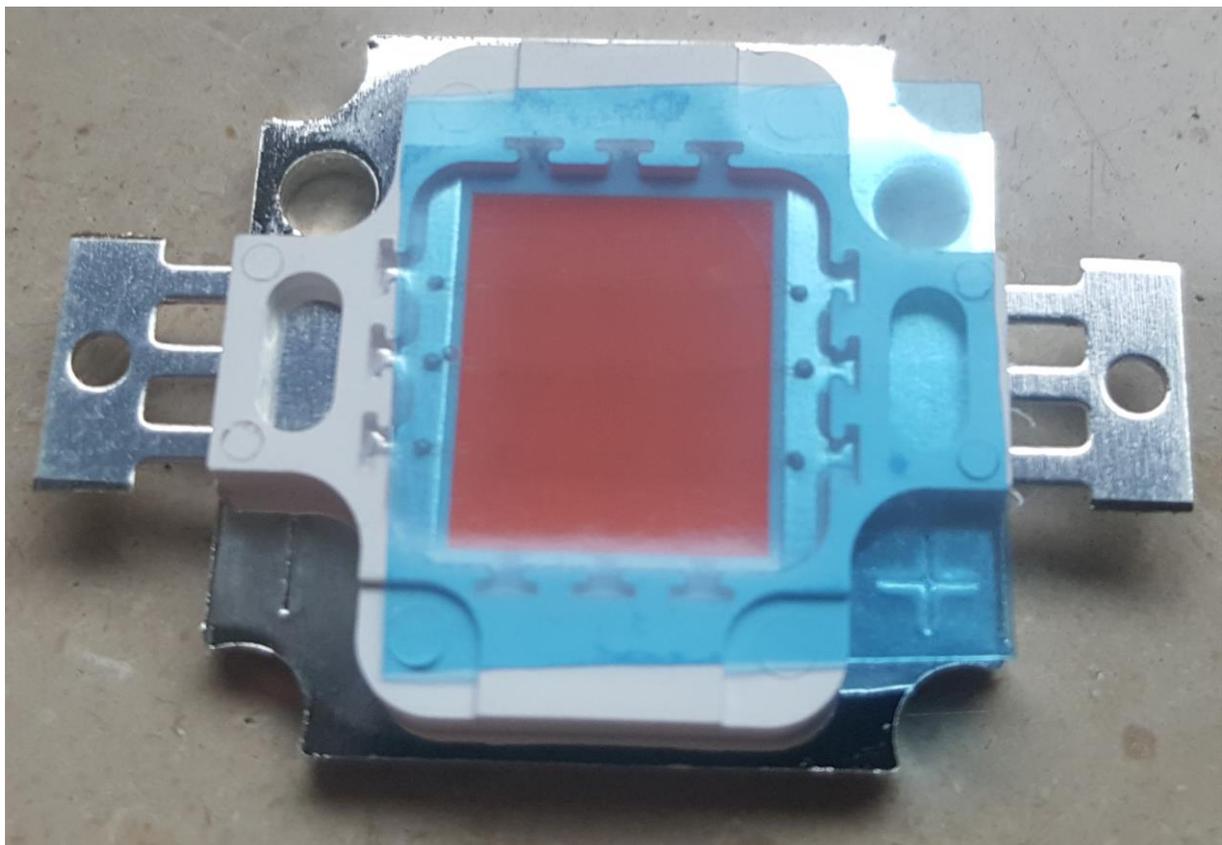
Es wird mit namhaften Herstellern wie Epistar und Bridgelux geworben. Interessanterweise findet man auf deren Webseite keine LEDs, die die beworbenen technischen Daten haben. Das hätte mich schon stutzig machen müssen.

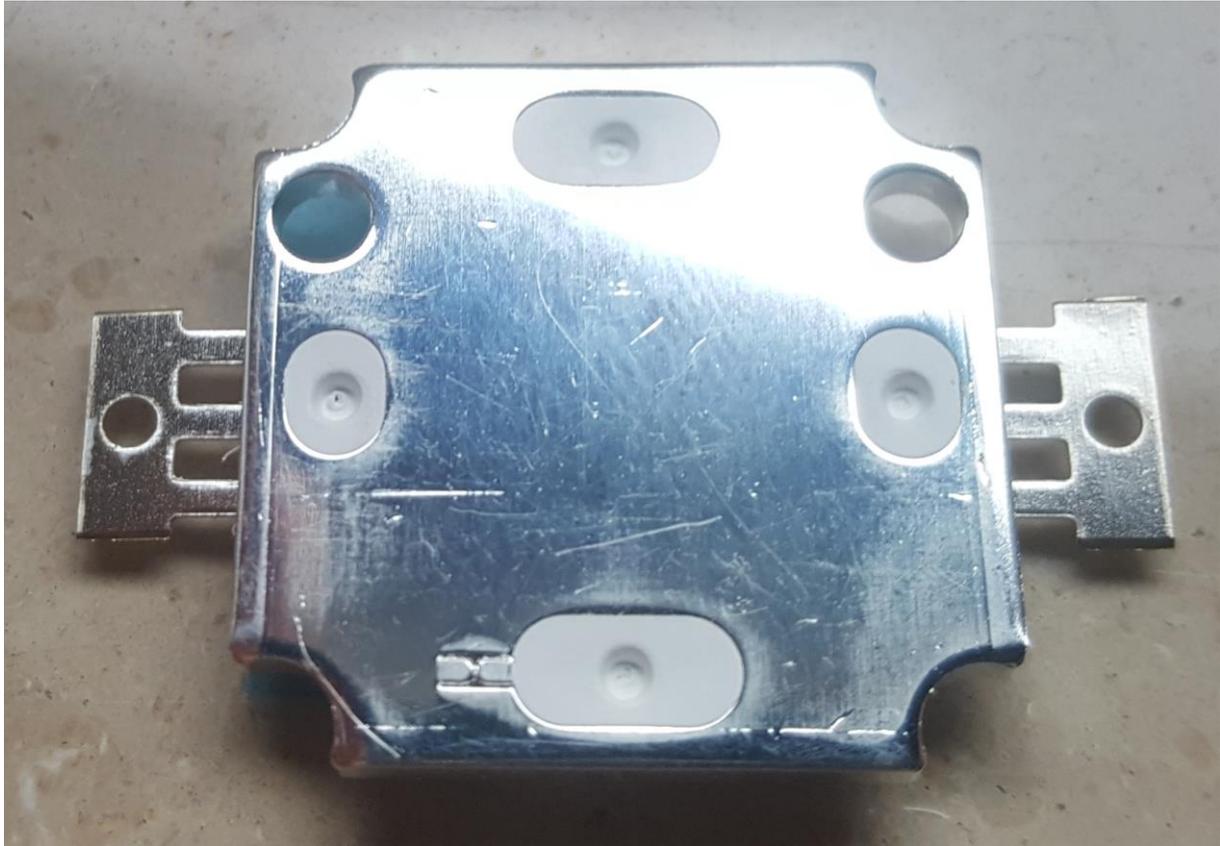
Led full spectrum(380-840nm)



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.



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.

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 nicht.

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.

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

Die einfachste Lösung sind herkömmliche weiße LEDs von einem vertrauenswürdigen Hersteller auf dessen Lumenangabe man sich verlassen kann. 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.

Warmweiße LEDs eignen sich für die Pflanzenzucht besser als kaltweiße LEDs, da erstere einen höheren Rotanteil aufweisen. Das PAR-Messgerät zeigte bei den warmweißen LEDs (3000K) beim selben Lux-Wert eine ca. 20 %ige höhere fotosynthetisch verwertbare Strahlung gegenüber einer LED mit 6500K an.

Aber Achtung: Kaltweiße LEDs lassen sich mit einem höheren Wirkungsgrad herstellen als Warmweiße, deswegen findet ihr dort LEDs mit einer höheren Lumen pro Watt Angabe.

Nehmen wir mal wieder meinen aktuellen Liebling die Osram Substitube. Die 4000K Version (=Neutralweiß) liefert 150 Lumen pro Watt. Die warmweiße 3000K Version (Osram SubstiTUBE Advanced ST8A-EM 20W/830) liefert 137,5 Lumen pro Watt. Gehen wir davon aus, dass eine 3000K LED gegenüber einer 4000K LED ein 10% höher photosynthetisch verwertbares Licht ausstrahlt. Dies entspräche dann 152,8 Lumen pro Watt und sie somit liegen sie für die Pflanzenzucht praktisch gleichauf. Es könnte allerdings auch sein, dass der Vorsprung der warmweißen LED für das Pflanzenwachstum deutlich weniger als 10 % beträgt. Die gemessenen 20 % Vorsprung beziehen sich auf 3000K gegenüber 6500K. Bei einem einfachen Dreisatz wären es ein 5,71 % höherer PAR-Wert bei einer 3000K LED gegenüber einer 4000K LED, sodass ich zur neutralweißen LED von Osram rate. Die tageslichtweiße LED von Osram (6500K) hat ebenfalls 150 Lumen/Watt, sodass diese für die Pflanzenzucht uninteressant ist.

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.

4.3 Kommerzielle Pflanzen-LEDs

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.

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) = $0,8064 \text{ m}^2$. 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 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ Wert in etwa gleich sein. Er ist aber ca. das Doppelte mit 48,30. Rechnen wir hier kurz durch. $1,68 * 0,954 = 1,60 \text{ m}^2$. $48,3 * 1,6 = 77,28$. $77,28 * 56 = 4328$ 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.