

# **Pflanzen sehen anders**

*Mit dem richtigen Licht kann man das  
Pflanzenwachstum effizient beschleunigen*

**Thomas Reichelt<sup>1</sup>, Drees R. Oellerich<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>LEDclusive.de, Kempten, Deutschland

<sup>2</sup>Chopper Light GmbH, Berlin, Deutschland

# Pflanzen sehen anders

*Pflanzen haben ihr eigenes „Sehen“ – anders als das visuelle Empfinden beim Menschen und dazu noch unterschiedlich von Art zu Art. Mit dem richtigen Licht kann man das Pflanzenwachstum effizient beschleunigen.*

Es ist allgemein bekannt, dass wir Menschen Farben unterschiedlich empfindlich wahrnehmen. Die maximale Empfindlichkeit des Auges liegt im grüngelben Bereich und so wurde gemäß Norm DIN 5031 dieser Wert auf 555 nm festgelegt. Die daraus abgeleitete Empfindlichkeitskurve  $V(\lambda)$  für das Tagsehen (fotopisches Sehen) eines Menschen beschreibt die Grafik (rote Kurve) in

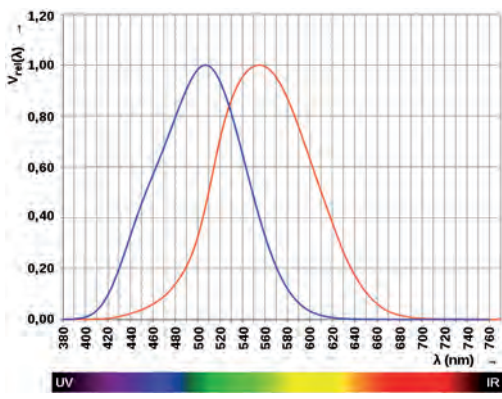


Bild 1. Ergänzend ist dort noch die Empfindlichkeitskurve bei geringer Lichtstärke (Nachtsehen – skotopisches Sehen, blaue Kurve) eingetragen. Darüber hinaus gibt es u.a. auch eine Empfindlichkeitskurve, die z.B. die Melatoninproduktion des Menschen bewirkt sowie weitere interessante Forschungsfelder.

So unterschiedlich, wie wir Menschen auf die Zusammensetzung des Lichtspektrums reagieren, ist es auch bei den Pflanzen.

## Wirkung des Lichtes auf die Pflanzen

Ohne Licht kein Pflanzenwachstum, und nicht nur das. Beim Prozess der Photosynthese (Assimilation) werden aus

Wasser und Kohlendioxid in Verbindung einfallender Strahlungsenergie organische Verbindungen hergestellt sowie Sauerstoff freigesetzt. Hierbei werden Pflanzenentwicklung und -Wachstum durch die Stärke der Einstrahlung, Belichtungsdauer und der spektralen Zusammensetzung des Lichtes maßgeblich beeinflusst.

Die Wissenschaft hat den relevanten Wellenlängenbereich des Lichtes für Pflanzen im Bereich 400 nm bis 700 nm gemäß CIE 106/8 definiert. Die Teilbereiche beeinflussen Pflanzen in unterschiedlichster Art und Weise. So ist z.B. dunkelrot für Stengelstreckung, bzw. Blau verstärkt für die Fotosynthese verantwortlich. (Tabelle 1)

Hieraus stellt sich die Frage, wie sich ein effizientes Lichtspektrum für Pflanzenwachstum zusammensetzen sollte?

Das Sonnenlicht erzeugt ein Spektrum an elektromagnetischer Strahlung im Bereich von 280 nm – 2800 nm. Unser menschliches Auge, und das ist der sichtbare Anteil, ist von 380 nm – 780 nm beschrieben, gemäß oben beschriebener Empfindlichkeitskurve.

Im Speziellen zeigt sich z.B. für Chlorophyll bzw. Carotinoid eine besondere Empfindlichkeit bei Wellenlängen um den Bereich 430 nm/660 nm (Chlorophyll A), 460 nm/640 nm (Chlorophyll B), 460 nm (Carotene) bzw. 730 nm (Chlorophyll f). Chlorophylle, als natürlicher Farbstoff in Pflanzen, sind hauptverantwortlich für die Absorption der Lichtenergie und können als „Energieumwandler“ verstanden werden.

Aus der Vielzahl der für die Fotosynthese unterschiedlichen Absorptions-

spektralen haben sich zusammengefasst zwei in der Praxis verwendete Wirkspektralen bewährt.

Aus der Arbeit von Shinji Tazawa und McCree bei der Untersuchung von ca. 60 unterschiedlichen Pflanzenarten hat sich das sogenannte McCree Action Spektrum durchgesetzt. (Bild 6 u. 7.)

Darüber hinaus findet sich in der Norm DIN 5031-10 eine etwas abweichende Bewertungskurve. Zusammengefasst zeigt sich, dass es für die Pflanzenwelt keine allgemeingültige ideale spektrale Verteilung gibt. Mehrere Universitäten und Institute arbeiten fortwährend an der Erforschung weiteren Verhaltens der spektralen Abhängigkeit von Licht auf Pflanzen.

## Physikalische Größen und deren Zusammenhänge

Wärmeleistung unabhängig vom Heizofen oder der Strahlungsleistung der Sonne wird mit der elektrischen Einheit „Watt“ beschrieben. Daraus abgeleitet z.B. die Einheit für Bestrahlungsstärke in „W/m<sup>2</sup>“, welche aussagt, wieviel Wärmeleistung z.B. ein Solarpanel je Quadratmeter aufnehmen kann. Diese radiometrischen Größen wurden in der Lichttechnik, bedingt durch die Bewertungskurve  $V(\lambda)$ , durch die Einheiten „Lumen“ für den Lichtstrom bzw. der Einheit „Lux“ für Beleuchtungsstärke zur klaren Abgrenzung abweichend benannt. Diese fotometrischen Größen können, aufgrund der wiederum abweichenden Empfindlichkeitskurven, nicht zur Bewertung der Lichtenergie für Pflanzenwachstum herangezogen werden.

Wellenlänge in „nm“	Farbbereich	Wirkung auf Pflanzen
280–315	Ultraviolett	Geringer Einfluss auf Prozesse in der Pflanze, bleicht Farben, und kann „Sonnenbrand“ verursachen. Anregung von Sporenbildung bei einzelnen Pilzen.
315–400	Ultraviolett / Blau	Geringe Absorption durch Chlorophyll, Hemmung der Zellstreckung, kann ebenfalls „Sonnenbrand“ und Sporenbildung bei manchen Pilzarten verursachen.
400–520	Blau	Wichtiger Einfluss auf die Fotosynthese. Hohe Absorption durch Chlorophylle und Carotinoide.
520–610	Grün / Gelb	Geringe Absorption bedingt durch Pigmente.
610–750	Rot	Mittlere Absorption durch Chlorophyll mit großem Einfluss auf die Fotosynthese.
750–1000	Rot/Infrarot (FRL)	Geringe Absorption, Zellstreckung wird stimuliert und zeigt Einfluss auf die Blüte und die Keimung.
>1000	Infrarot	Reine Wärmestrahlung, Erwärmung.

**Tabelle 1: Spektralanteile und deren Wirkung**

Und so legte McCree 1972 die Anzahl der Photonen (Lichtteilchen) im Wellenlängenbereich 400 nm bis 700 nm als Maß für die Fotosyntheseeffizienz fest. Grund hierfür war das Ergebnis einer Studie, die zeigte, dass es eine Beziehung zwischen der Photonenanzahl und Fotosynthese gibt. Die hierfür verwendete Einheit für die Anzahl der je Zeiteinheit abgestrahlten Lichtenergie oder auch Fotosynthetische Aktive Strahlung (engl. Photosynthetically Active Radiation – PAR) lautet „ $\mu\text{mol}/\text{sec}$ “ und wird auch Fotosynthetischer Photonenfluss (PPF) bezeichnet. Der wirksame Anteil des Photonenstroms auf eine Fläche lautet entsprechend Photonenstromflussdichte, bzw. PPFD mit Einheit  $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{sec}$ .

Eine Übersicht der versch. physikalischen Größen zeigt **Tabelle 2**.

### Erzeugung von künstlichem Licht

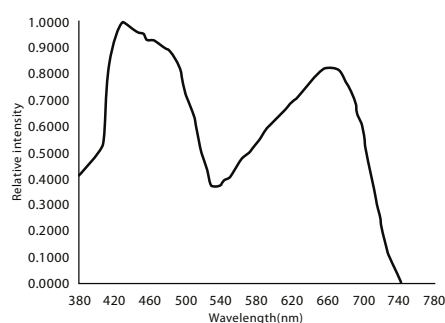
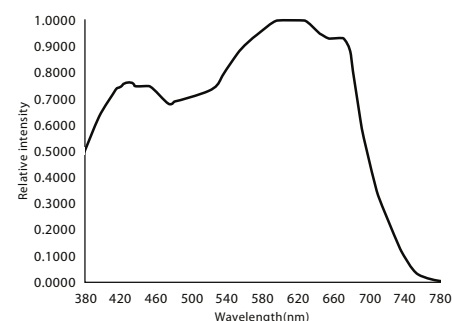
Es gibt viele Gründe, um Pflanzen zusätzlich zur natürlichen Belichtung durch Tageslicht noch zusätzlich mit künstlichem Licht zu bestrahlen. Kommerzielles Interesse ist es, maximales Wachstum

auf kleinstem Raum zu erreichen. Zur Steigerung des Wachstums und somit des Ertrages dient sogenanntes Assimilationslicht. Durch dieses wird oft z.B. geografisch oder jahreszeitlich abhängig das ggf. zu geringe Sonnenlicht verstärkt oder zu geringe Belichtungsdauer künstlich verlängert. Nicht immer besteht die Möglichkeit der Verwendung von Gewächshäusern und man muss vollständig auf künstliche Bestrahlung ausweichen.

Die benötigte bzw. zusätzlich benötigte Photonenstromflussdichte hängt ganz vom Anwendungsfall und der zu bestrahlenden Pflanzenart ab. Während zur Qualitätsverbesserung und begrenzten Produktionssteigerung ein PPFD von 15–30  $\mu\text{mol}/\text{sec} \cdot \text{m}^2$  genügt, liegt der Bedarf an notwendiger Belichtung bei abgeschlossenen, vom Tageslicht unberührten Wachstumskammern bei bis zu mehreren Hundert  $\mu\text{mol}/\text{sec} \cdot \text{m}^2$ .

Klassische Leuchtmittel, ob Glühlampe oder Leuchtstoffröhre, entsprechen nicht dem erforderlichen Spektrum. Zudem erzeugte eine Glühlampe

**Bild 6–7**



**OBEN: Bekannte PAR-Spektren im Vergleich (Quelle: Referenzkurven der Fa. Asensetek in der Smartphone-App SGAL – Spectrum Genius Agricultural Lighting zur Analyse von Photonenstrom zusammen mit dem Messgerät LightingPassport)**

	Radiometrische Betrachtung	Fotometrische Betrachtung	Pflanzentechnische Betrachtung, PAR
Bewertung	keine	Lichtempfindlichkeitskurve des menschl. Auges $V(\lambda)$	Versch. Wirkspektren
Wird abgestrahlt :	Wärmeleistung [W]	Lichtstrom [Lumen, lm]	Fotonenstrom PPF [ $\mu\text{mol}/\text{sec}$ ]
Trifft auf Fläche	Bestrahlungsstärke [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]	Beleuchtungsstärke [ $\text{lm}/\text{m}^2$ ], [Lux]	Fotonenstromflussdichte PPFD [ $\mu\text{mol}/\text{sec} \cdot \text{m}^2$ ]
Wirkungsgrad	Prozentangabe [%]	Lichtausbeute [ $\text{lm}/\text{W}$ ]	Fotonenflussausbeute PFA [ $\mu\text{mol}/\text{s} \cdot \text{W}$ ]

**Tabelle 2: Physikalische Größen im Vergleich**

unerwünschte Wärmestrahlung. Zum Erzeugen des Blauanteils wurde durch entsprechende violette Beschichtung das Lichtspektrum verschoben. Schlechter Wirkungsgrad und unvermeidbarer hoher IR-Anteil ließen die Pflanzen meistens vergeilen (monströses, nachteiliges Wachstum mit Ausbildung von Trieben).

Gerne verwendet werden heute in Gewächshäusern Leuchten mit Gasentladungslampen wie Hochdruckdampf lampen (NDL) sowie auch Metallhalogen dampflampen (MHDL).

Auch Leuchtstofflampen als Vertreter von Niederdruck-Gasentladungslampen werden als Pflanzenlampen eingesetzt. Gerade bei diesem Lampentyp ist es üblich, durch spezielle Beschichtung unterschiedliche Lichtspektren zu erzeugen.

Einen besonderen Schwerpunkt nimmt die LED ein. Diese wird mit steigender Nachfrage eingesetzt, vor allem wegen hoher Effizienz und wesentlich höherer Lebensdauer. Mehrere Hersteller, Institute und Universitäten arbeiten an immer perfekteren Lösungen.

Eine LED strahlt aufgrund ihrer Bauweise schon immer einen hohen Blauanteil ab. Typischerweise fehlt jedoch häufig der Roanteil, welcher zu einem guten Farbwiedergabeindex fehlt.

**(Bild 8)**

So haben die LED-Hersteller inzwischen damit begonnen, in LED-Lampen auch eine zweite, rote LED zu integrieren. Das dazugehörige Spektrum einer LED-Lampe beispielsweise des Herstellers Ledon ergibt einen hohen Farbwie-

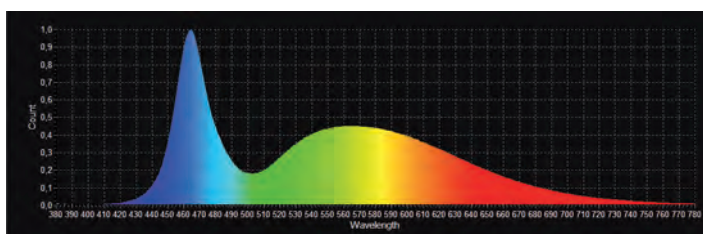
dergabeindex mit nachstehend gezeigtem Spektrum. **(Bild 9)**

Bunt wird es mit z.B. sogenannten RGB-LED-Leuchten. Diese enthalten jeweils LEDs für Rot, Grün und Blau. Was ist da naheliegender, als diese Technik nun mit genau den LEDs zu bestücken, welche dem maximalen Wirkspektrum der Pflanzen entsprechen. Um das ganze abzurunden, ist es auch möglich, eine weiße LED mit passender Lichtfarbe zusätzlich einzusetzen. Werden dann diese z.B. über DALI mit der entsprechenden Steuerung versehen, so lässt sich fast jedes Spektrum einstellen. „Fast“ deswegen, da jeweilig nur die Amplitude/Intensität der jeweiligen LEDs verändert werden kann, nicht jedoch die Wellenlänge.

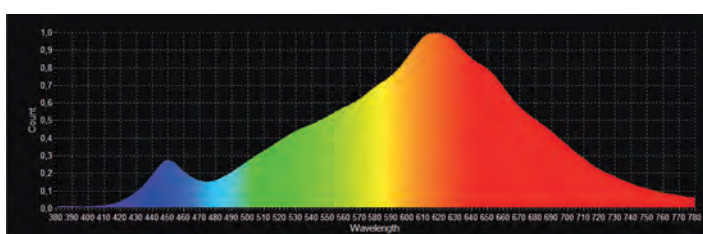
Durch diese Maßnahme wird zum einen das Pflanzenwachstum beschleunigt sowie auch nur die Strahlungsenergie erzeugt, welche Nutzen bringt. Das bedeutet Energieeinsparung durch hohe Fotonenstromflussausbeute. Der Infrarotanteil und somit die Wärmestrahlung, wie z.B. von einer Glühlampe, ist nicht vorhanden und so entsteht auch keine ungewollte Erwärmung der Gewächshäuser oder Wachstumskammern.

**Messtechnik zur Messung der Fotonenstromflussdichte**

Professionelle Gewächshausbetreiber arbeiten häufig mit einem sogenannten PAR-Meter. Dieses funktioniert wie ein gewöhnliches Luxmeter, jedoch mit



**Bild 8: Spektrum einer kaltweißen LED mit CRI von 77**



**Bild 9: Spektrum einer warmweißen LED mit Magenta-LED-Beimischung, CRI von 92**

einem abweichenden optischen Filter. Luxmeter bewerten das einfallende Licht durch Nachbildung der Empfindlichkeitskurve des menschlichen Auges, integrieren die einfallende Lichtmenge und ermitteln daraus den anzuzeigenden Messwert.

Ein PAR-Meter verwendet einen gemäß dem Wirkspektrum einer Pflanze entsprechenden Lichtfilter. Selten gibt es den Hinweis, welche der genannten PAR-Kurven zugrunde gelegt werden. Es ist in den meisten Geräten die Kurve des McCree Action Spectrums.

Existiert nur ein Luxmeter so finden sich häufig in den technischen Datenblättern seriöser Hersteller für Pflanzenbeleuchtung sogenannte Umrechnungsfaktoren. Mithilfe dieser können aus dem Datenblatt bekannte oder gemessene fotometrische Größen in PAR-Werte umgerechnet werden. Hierzu hatte der Hersteller in einem Labor die lichttechnischen Werte ermitteln lassen sowie aus dem bekannten Spektrum einen Umrechnungsfaktor ermittelt.

Als Beispiel sei hier der Umrechnungsfaktor einer Hochdruck Natriumdampfampe mit 82 genannt. Das bedeutet 82 Lux entsprechen einer Fotonenstromflussdichte von einem  $\mu\text{mol}/\text{sec}\cdot\text{m}^2$  bzw. 82 Lumen entsprechen einem Fotonenstrom von einem  $\mu\text{mol}/\text{sec}$ .

Zeigt das Datenblatt der genannten Leuchte einen Lichtstrom von 20.000 lm so errechnet sich

$$PPF = \frac{20.000 \text{ lm}}{82 \frac{\text{lm}}{\mu\text{mol s}^{-1}}} = 244 \mu\text{mol s}^{-1}$$

Analog errechnet sich die Fotonenstromflussdichte bei einer gemessenen Beleuchtungsstärke mit dem Luxmeter von 10.000 Lux zu

$$PPFD = \frac{10.000 \text{ lx}}{82 \frac{\text{lx}}{\mu\text{mol s}^{-1} \text{ m}^2}} = 122 \mu\text{mol s}^{-1} \text{ m}^{-2}$$

Das Ganze steht und fällt mit der Verfügbarkeit und Genauigkeit des Um-

rechnungsfaktors. Einflüsse wie Alterung oder auch üblicherweise Mischlicht aus Tageslicht und künstlichem Licht führen bei einer Berechnung nach dieser Vorgehensweise zu völlig falschen Ergebnissen. Hier wäre maximal eine getrennte Messung (ohne Sonnenlicht bzw. abgeschaltetem künstlichen Licht) und anschließender Addition der Werte möglich.

Doch inzwischen sind auch erschwingliche tragbare Spektrometer am Markt, die es erlauben, auf einfachste Art z.B. in Verbindung mit dem Smartphone oder einem anderen Smart-Device vielfältige Messungen zu ermöglichen. So kann das gemessene Spektrum nachträglich mit verschiedenen Bewertungskurven verglichen oder gewichtet werden. Auswertungen nach Teilbereichen wie z.B. Infrarot, RGB oder UV sind möglich. Des Weiteren werden Parameter wie das Verhältnis Rot zu Blau (R/B) oder Rot zu Tiefrot (R/FR) errechnet. Einzelne Spektrallinien können ausgelesen werden oder bei Interesse ist es möglich, sich ebenfalls Farbtemperatur und Farbwiedergabeindex (CRI) anzeigen zu lassen.

Auf Wunsch kann das integrierte Tagebuch ergänzend zu den Messwerten mit Daten der Luftfeuchtigkeit, Raumtemperatur und natürlich auch Pflanzenhöhe befüllt werden. Eine entsprechende Analyseroutine ist ebenfalls enthalten.

Beispielhaft sei hier das Messgerät „LightingPassport“ des Herstellers Asensetek erwähnt.

Dieses Gerät, inzwischen von vielen renommierten Firmen auch in Labors verglichen und bestätigt, besteht aus einem etwa zigaretenschachtelgroßen Messkopf und einem Smart-Device, häufig das eigene Smartphone mit iOS oder Android. Die Verbindung geschieht über Bluetooth. Die App ist z.Zt. noch kostenfrei im Appstore verfügbar. Ohne jegliche Einarbeitungszeit und mit dem gewohnten Wischen und Tippen auf dem Device, jedoch mit dem Wissen über

Spektrometer „LightingPassport“ von Asensetek



vorgenannte physikalische Größen, kann damit die jeweilige Belichtungsqualität überall gemessen werden.

Die Messwerte lassen sich dann anschließend per E-Mail oder einer anderen Internet-Kommunikation weiterleiten und am PC auswerten.

### Zusammenfassung

Der Belichtung von Pflanzen wurde in der Vergangenheit noch wenig Beachtung geschenkt. Es existieren viele Produkte am Markt, welche als Pflanzenlampen verkauft werden. Der Anwender selbst hat selten eine Möglichkeit, die Wirkung zu prüfen. Darüber hinaus gibt es keine ultimative Pflanzenwachstumslampe, denn diese muss der jeweiligen Gegebenheit und nach Verwendungszweck gezielt ausgesucht werden.

Moderne, tragbare und erschwingliche Messgeräte sind inzwischen am Markt verfügbar. Dadurch ist nun neues Verbesserungspotenzial zur Optimierung des Pflanzenwachstums bei Ertragssteigerung und Reduzierung der Energiekosten möglich. ■■■■■

Tom Reichelt, LEDclusive.de

Quellennachweis:  
Bild1: 784px-V-lambda-phot-scot.svg mit  
Quellenangabe (<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:V-lambda-phot-scot.svg>)  
Restliche Bilder:  
[www.lightingpassport.de](http://www.lightingpassport.de)  
[www.ledclusive.de](http://www.ledclusive.de)  
[www.asensetek.com](http://www.asensetek.com)