

Die Grundlagen der modernen Pflanzenbeleuchtung!

1 Pflanzenbeleuchtung auf einen Blick

1. **Effektivität schlägt Effizienz** – Sicher ist die Einsparung von Energie ein wichtiges Kriterium bei der Auswahl der richtigen Pflanzenbeleuchtung. Aber im Vordergrund sollte immer stehen, wie hoch die Erträge sind, d.h. wie effektiv die Beleuchtung die Biomasse- und Inhaltsstoffproduktion ermöglicht.
2. **Licht ist dynamisch** - *In der Natur ändert sich die Intensität des Lichts im Tages- als auch Jahresverlauf. Ausgeklügelte **Dimmstrategien tragen dazu bei, die Erträge zu optimieren**, die Wachstumszyklen zu verkürzen und die Qualität der Ernte insgesamt zu verbessern, indem sie Stress reduzieren.*
3. **Dimmstrategien sollten immer mit der Optimierung anderer Umgebungsparameter wie CO₂, Temperatur usw. abgestimmt werden.**
4. **Pflanzen nutzen das gesamte sichtbare Lichtspektrum für die Photosynthese.** *Rotes Licht ist am effizientesten, aber auch grünes und gelbes Licht sind wichtig, vor allem in tieferen Schichten des Blattes und des Pflanzenbestandes.*
5. **Verschiedene Arten (Genotypen) und Phänotypen reagieren unterschiedlich aufs Spektrum.** *Um optimale Ergebnisse zu erzielen, sollte das Spektrum der Pflanzenbeleuchtung auf die jeweilige Art abgestimmt oder vollständig einstellbar sein.*
6. *Ihr solltet euch der Existenz des **Einflusses des Lichtspektrums auf eine Vielzahl von weiteren Prozessen in der Pflanze** bewusst sein und, wenn möglich, Pflanzenleuchten mit einem einstellbaren Spektrum wählen.*
7. *Eine **homogene horizontale Lichtverteilung führt zu höheren Erträgen**, da die Pflanzen weniger konkurrieren und eine ausgewogenere Leistung erbringen.*
8. **Diffuses (nicht gerichtetes) Licht lässt das Licht viel tiefer in den Pflanzenbestand eindringen**, und steigert so die gesamte Biomasseproduktion. Ein Mindestabstand von 40cm zwischen Pflanzen und Leuchten sollte immer gegeben sein.

2 Was ist der Unterschied zwischen Effektivität und Effizienz?

Die Effizienz bestimmt hauptsächlich die Betriebskosten eines Beleuchtungssystems. Sie gibt an, wie viel Energie benötigt wird, um eine bestimmte Menge an Photonen zu erzeugen! Das Problem mit der Effizienz ist, dass sie nicht viel darüber aussagt, welche Art von Photonen emittiert werden und wohin diese Photonen verteilt werden! Aber insb. diese Aspekte sind für die Entwicklung der Pflanzen entscheidend!

Die Effektivität beschreibt die Auswirkung des Lichts auf die Pflanzenentwicklung. Beim Cannabisanbau geht es vor allem um den Ertrag und die Qualität der Ernte in einem bestimmten Zeitraum. **Am Ende zählt wieviel g erntet man je m² je Jahr und wie hoch ist das Qualitätsniveau des Endproduktes!**

1. **Effektivität schlägt Effizienz – Sicher ist die Einsparung von Energie ein wichtiges Kriterium bei der Auswahl der richtigen Pflanzenbeleuchtung. Aber im Vordergrund sollte immer stehen, wie hoch die Erträge sind, d.h. wie effektiv die Beleuchtung die Biomasseproduktion ermöglicht.**

Effizienz und Effektivität sind zwei Seiten der gleichen Medaille! Die Optimierung der Effizienz ist keine große Sache, aber die Optimierung der Effektivität der Beleuchtung ist nicht so einfach, vor allem, weil verschiedene Genetiken (aka Sorten) unterschiedlich auf verschiedene Beleuchtungsansätze reagieren!

3 Was bestimmt die Effektivität der Pflanzen-Beleuchtung?

Im Allgemeinen gibt es vier wichtige Aspekte, die berücksichtigt werden müssen:

- (1) **Erstens gibt es die Lichtintensität (Anzahl der Photonen, die pro Sekunde und m² zur Verfügung stehen - $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$). Die Intensität definiert die verfügbare Energie!**
- (2) **Zweitens ist das Timing (aka die Dimmstrategie) essentiell. Zu wenig als auch zu viel zu Beleuchten stresst die Pflanzen und führt zu einer verminderten Produktion von Biomasse.**
- (3) **Drittens gibt es die Lichtverteilung (auch Abstrahlungscharakteristik genannt). Die Lichtverteilung bestimmt, wie und wo das Licht die Pflanze erreicht.**
- (4) **Viertens gibt es das Spektrum (auch Spektralverteilung genannt). Das Spektrum bestimmt, wie Pflanzen auf das gegebene Licht reagieren und welche Prozesse ausgelöst werden. Vor allem die Morphologie spielt dabei eine wichtige Rolle!**

3.1 Lichtintensität und Timing!

Praktisch ist es aktuell möglich, vollspektrale und wirtschaftliche LED-Pflanzenleuchten¹ mit einer **Systemeffizienz von bis zu 2,6 $\mu\text{mol}/\text{J}$** zu bauen! Alle Hersteller die euch mehr versprechen sind an dieser Stelle nicht ehrlich, da hier meist nicht die Systemeffizienz, sondern bspw. die Effizienz der LEDs ohne Berücksichtigung des optischen Systems als auch der Verluste durch die Stromversorgung kommuniziert werden.

Zwischen **550 und 1.100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$** ist die Lichtmenge, die min. zur Verfügung stehen sollte, um einen optimalen Ertrag zu erzielen. Ab 850 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ist eine zusätzliche CO₂-Zugabe absolut notwendig, aber es lohnt sich.

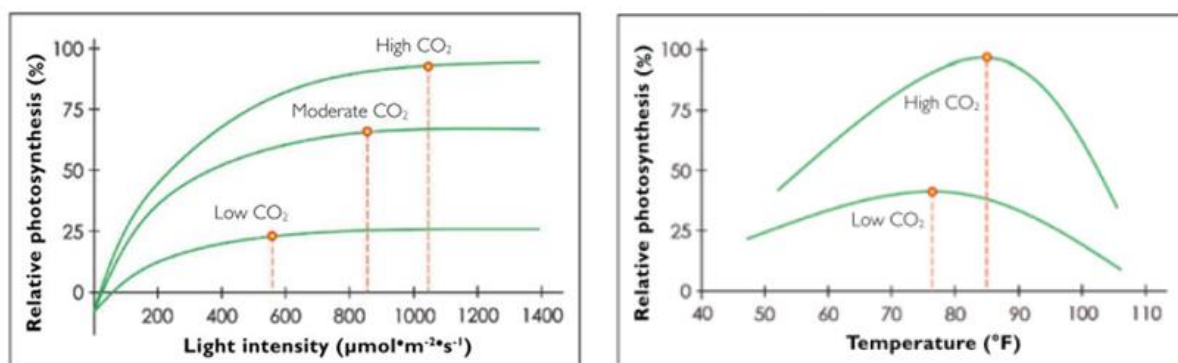


Abbildung 1: Zusammenhang zwischen Photosynthese, Intensität, Temperatur und CO₂-Level

In der Natur ist die Lichtintensität (und Spektrum) nicht statisch. Denkt nur an die täglichen und jahreszeitlichen Veränderungen. Die Pflanzen haben sich an diese natürlichen Gegebenheiten angepasst. Eine zu hohe oder zu niedrige Intensität führt zu Stress und/oder mangelnder Produktivität. Die folgenden Aspekte sollten berücksichtigt werden:

2. *In der Natur ändert sich die Intensität des Lichts im Tages- als auch Jahresverlauf.*
3. *Ausgeklügelte Dimmstrategien tragen dazu bei, die Erträge zu optimieren, die Wachstumszyklen zu verkürzen und die Qualität der Ernte insgesamt zu verbessern, indem sie Stress reduzieren.*
4. *Dimmstrategien sollten immer mit der Optimierung anderer Umgebungsparameter wie CO₂, Temperatur usw. abgestimmt werden.*

Die einfachste Möglichkeit, die Erträge usw. zu steigern, ist die Einführung einer Dimmstrategie. Dazu ist es wichtig, die Intensität fein abstimmen zu können und mindestens 6 Schaltpunkte pro Tag zu setzen. Automatisierung ist der Schlüssel!

¹ Mit Wasserkühlung ist auch eine höhere Effizienz möglich

3.2 Licht-Spektrum

Was das Spektrum betrifft, gibt es große Unterschiede zwischen den verschiedenen Technologien und Herstellern:

Available grow light spectra - HPS vs. LED

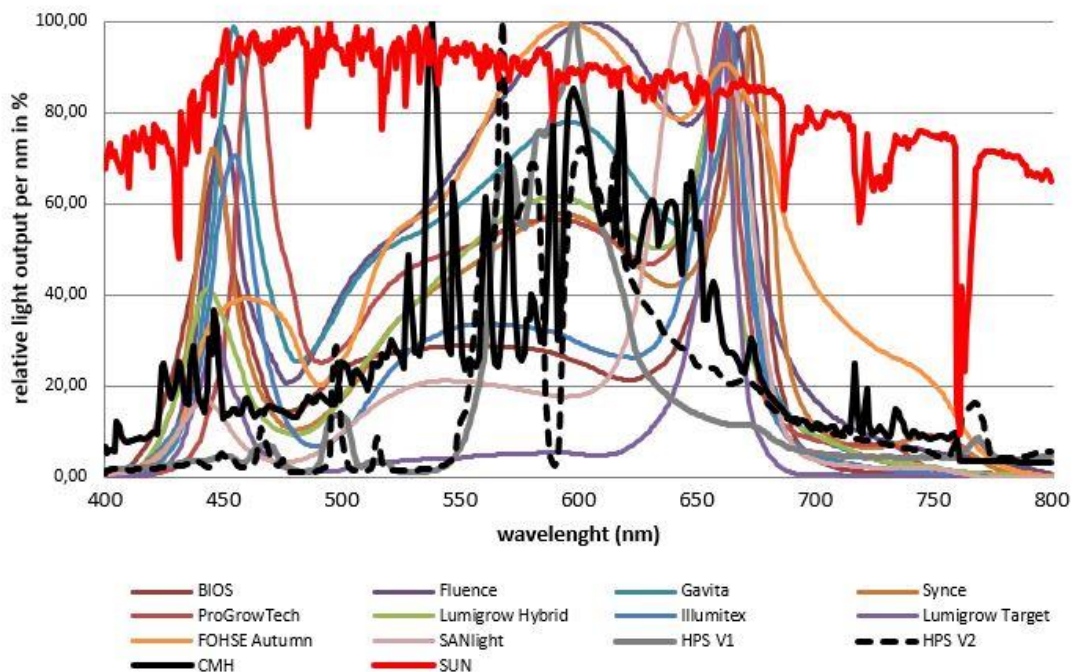


Abbildung 2: Unterschiedliche spektrale Verteilungen der verschiedenen Beleuchtungsarten für das Wachstum

Das Komische daran ist, dass die meisten Hersteller von Pflanzen-Leuchten behaupten, das perfekte Spektrum zu haben. Aber eines ist sicher: Das einzige perfekte Spektrum, die Sonne, ist nicht statisch. Es verändert sich dynamisch im Laufe des Tages, des Jahres und auch je nach Standort der Pflanze.

Das führt uns zu der wichtigsten Frage:

Wirkt sich das Spektrum auf die Effizienz und Effektivität des Lichts aus?

Die Antwort ist ganz klar JA!

In erster Linie ist Licht die Hauptenergiequelle für Pflanzen. Das natürliche Sonnenlicht besteht aus verschiedenen Farben, man denke nur an den Regenbogen. Diese Farben spiegeln unterschiedliche Wellenlängenbereiche wider, die in Diagrammen dargestellt werden (siehe Abbildung 3). Pflanzen können Licht von 280 nm (UVB) bis 800 nm (NIR) nutzen, allerdings nicht mit der gleichen Effizienz. Die ersten Wissenschaftler, die untersuchten, wie effizient Pflanzen die verschiedenen Wellenlängen nutzen können, waren McCree im Jahr 1972 und Inada im Jahr 1976. Im Jahr 1999 [aktualisierte Tazawa diese Forschung](#), indem er ein durchschnittliches Photosynthese-Wirkungsspektrum (siehe Abbildung 3) mit Daten von 61 verschiedenen Arten erstellte:

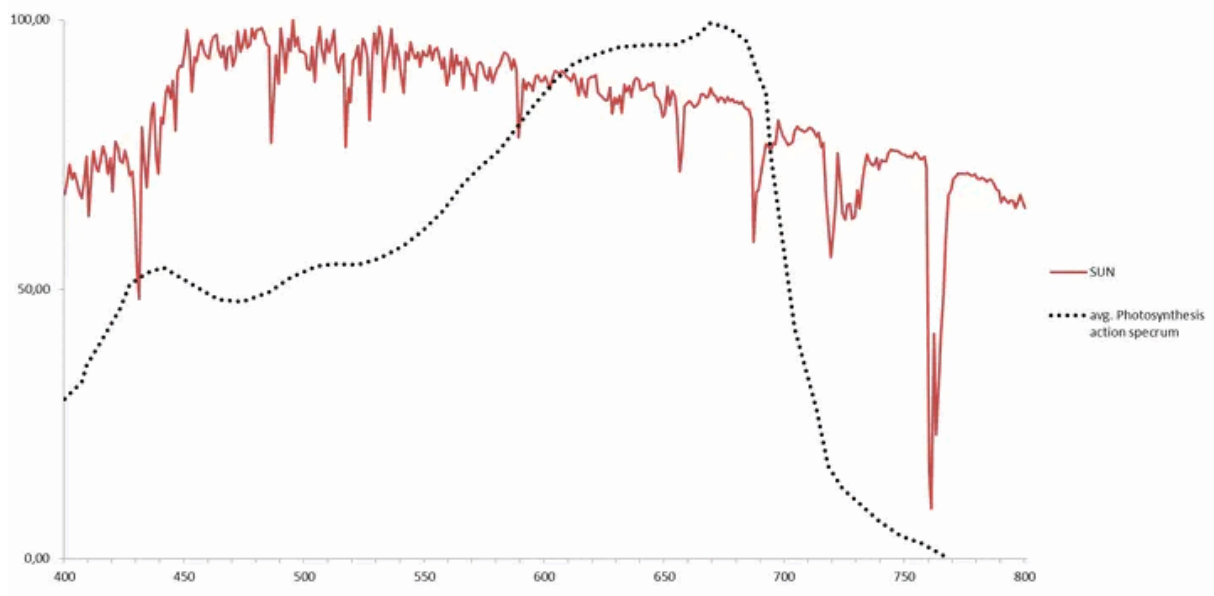


Abbildung 3: Vergleich Spektrum Sonnenlicht vs. Photosynthese-Wirkungsspektrum

Was sollte auf dieser Grundlage berücksichtigt werden?

5. ***Pflanzen nutzen das gesamte sichtbare Lichtspektrum für die Photosynthese. Rotes Licht ist am effizientesten, aber auch grünes und gelbes Licht sind wichtig, vor allem in tieferen Schichten des Blattes und des Pflanzenbestandes.***
6. ***Verschiedene Arten (Genotypen) und deren Phänotypen haben unterschiedliche Wirkungsspektren. Um optimale Ergebnisse zu erzielen, sollte das Spektrum der Pflanzenbeleuchtung auf die jeweilige Art abgestimmt oder vollständig einstellbar sein.***

Das Spektrum kann aber noch mehr!

Licht ist für Pflanzen mehr als nur eine Energiequelle. Über 100 Gene und 26 biochemische Wege werden durch Licht reguliert. Bisher kennen die Forscher 5 Familien von Photorezeptoren mit mindestens 12 Rezeptoren. Da Pflanzen ortsfest sind, haben sie die Fähigkeit entwickelt, die spektrale Zusammensetzung des Lichts zu interpretieren, um Informationen über ihre Umgebung zu gewinnen. So können Pflanzen beispielsweise in den unteren Schichten des Blätterdachs ihre relative Position zu anderen Pflanzen anhand des Verhältnisses von Rot zu Tief-Rot (Far-Red) erkennen und beginnen, ihre Stängel zu verlängern. Dies wird als Schattenvermeidungsreaktion bezeichnet. Neben den Auswirkungen des Lichts und des Spektrums auf die Pflanzen- und Blattarchitektur kann sich die spektrale Zusammensetzung auch auf die Blüte, die pflanzliche Immunität und Verteidigung, die Stresstoleranz oder die Produktion von Pflanzenschutzmitteln und anderen sekundären Metaboliten auswirken.

BLUE LIGHT	GREEN LIGHT	RED LIGHT	FAR RED LIGHT
Decreases stretching	Facilitates healthy development of leaves	Most efficient waveband for photosynthesis	Promotes extension growth - stem elongation and leaf expansion
Facilitates branching and compact vegetative growth	Increases light penetration into canopy	Stimulates biomass accumulation	Decreases side branching
Increases production of antioxidants and vitamins	Drives photosynthesis of lower canopy layers	Stimulates stem and shoot development	Increases light penetration into canopy
Enhances coloration of dark or colored varieties	Facilitates visual inspection of plants	Facilitates germination, rooting and healthy plant development with a well-balanced proportion with blue light	Facilitates uniform plant development in dense canopy
			Regulates flower development

Abbildung 4: Überblick des Einflusses verschiedener Spektralbereiche auf unterschiedliche Prozesse in den Pflanzen

Eine gute Lektüre, um dieses Thema zu vertiefen, ist [Mawphlang und Kharshiing 2017](#). Doch was bedeutet das für Euch praktisch?

7. ***Ihr solltet euch der Existenz des Einflusses des Lichtspektrums auf eine Vielzahl von Prozessen in der Pflanze bewusst sein und, wenn möglich, Pflanzen-Leuchten mit einem einstellbaren Spektrum wählen.***
8. ***Im besten Fall befasst ihr euch eingehender mit dem Thema, und nutzt das Potenzial für die Optimierung eurer Kultivierungsprozesse. Hierfür ist jedoch die Integration von Versuchsreihen in euren Anbauprozess notwendig! Es lohnt sich!***

3.3 Lichtverteilung!

Bislang haben wir uns mit den Eigenschaften des Lichts befasst. Aber selbst die beste Lichtzusammensetzung und Dimmstrategie nützt nichts, wenn das Licht die Pflanze nicht erreicht. Die Lichtverteilung wird immer noch weitgehend unterschätzt. Und selbst wenn sie berücksichtigt wird, hat in den meisten Fällen nur eine horizontale Optimierung stattgefunden. Pflanzen sind aber 3D-Wesen! Die folgenden Aspekte sollten berücksichtigt werden:

9. ***Eine homogene horizontale Lichtverteilung führt zu höheren Erträgen, da die Pflanzen weniger konkurrieren und eine ausgewogenere Leistung erbringen.***

Um dies zu gewährleisten sind möglichst viele, möglichst kleine Lichtquellen einzusetzen, deren Position im Bestfall mittels softwaregestützter Simulation optimiert wurde.

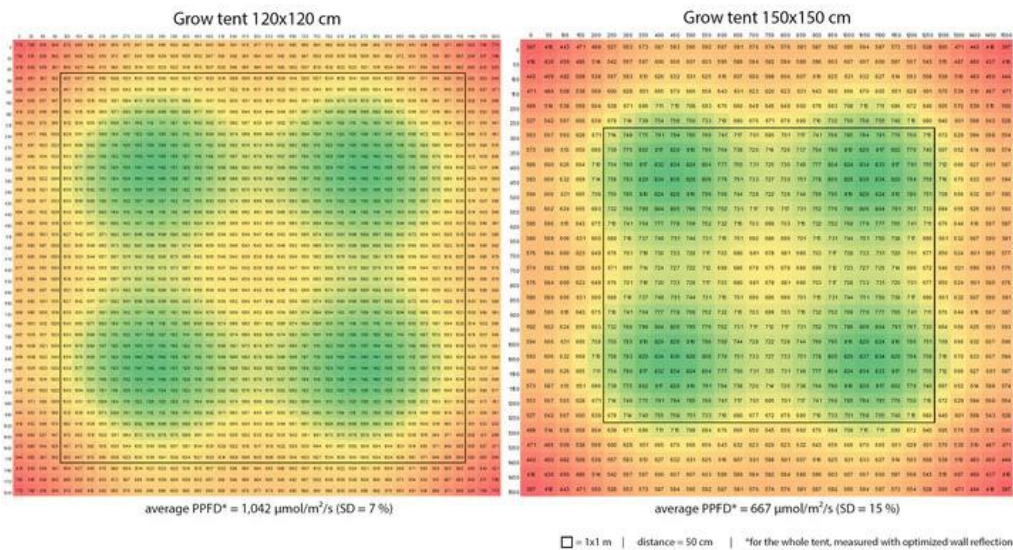


Abbildung 5: horizontale Lichtverteilung CROPTER

Zudem muss die Reflektion der Wände einberechnet werden. Hier ist es essentiell, dass die Reflektionseigenschaften der Wände bekannt sind. Wir stellen dies sicher, indem wir spezielles Reflektionsmaterial einsetzen.

10. Diffuses (nicht gerichtetes) Licht erhöht die Chance, dass das Licht viel tiefer in den Pflanzenbestand eindringt, und steigert so die gesamte Biomasseproduktion.

Es ist somit nicht ratsam Leuchten einzusetzen, die über eine Sekundäroptik (bspw. Linsen) verfügen um das Licht möglichst gerichtet auf eine Zielfläche zu bekommen. Dieser Ansatz hilft zwar den Herstellern der Leuchten den Lichtoutput auf der Zielfläche besser abbilden zu können für die Effektivität der Leuchten ist dies jedoch keinesfalls hilfreich.

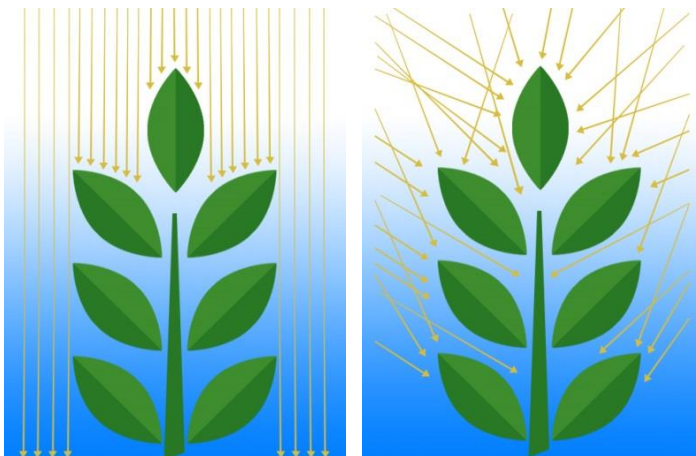


Abbildung 6: diffuses vs. Gerichtetes Licht im Pflanzenbau

Zudem ist es wichtig, dass die Leuchten immer genug Abstand zu der oberen Ebene der Pflanzen haben. Wir empfehlen einen Mindestabstand von 400mm zwischen Leuchtenunterkante und Oberer Pflanzenebene einzuhalten.

4 ABOUT US

4.1 Kunden bzw. Forschungspartner



4.2 Referenzen



4.3 Kontaktdaten

11grower UG (haftb.)

Grundstr. 92 | 01326 Dresden

Christoph Schubert

cs@11growers.com