

Übersicht:

- I. Wirkungen des Lichts auf Pflanzen
Photomorphogenese, Photoperiodismus, Assimilationslicht
- II. Bewertung des Lichts, PAR
Augenempfindlichkeit, Bewertungsfunktion
- III. Ergebnisse
- IV. Fragen
- V. Fazit und Ausblick
- VI. Quellennachweis

Autor:

Robert Miehle

Elsternweg 1

86399 Bobingen

Tel. (0 82 34) 9 01 00

Fax (0 89) 14 88-20 71 36

Email: rmiehle@gmx.net, WWW: <http://www.hereinspaziert.de>

I. Wirkungen des Lichts auf Pflanzen

(1) Photomorphogenese:

Gestaltbildung (Morphose), hervorgerufen durch Lichteinwirkung (z.B. „End of Day Far Red Response“). Auslöser sind Steuerpigmente, bei Pflanzen hauptsächlich das Phytochrom-Hellrot-Dunkelrotsystem. Ist abhängig vom Spektrum des angebotenen Lichts.

(2) Photoperiodismus:

Gestaltbildung durch die Dauer der täglichen Lichteinwirkung (z.B. Blühinduktion). Bereits schwaches Licht (Vollmondlicht) genügt zur Einflußnahme. Nach Strasburger ist allerdings die Dauer der täglichen Dunkelphase entscheidend. Unterbrechung der Lichtphase durch mehrere Stunden Dunkelheit hat keine Auswirkungen, wohl aber Unterbrechung der Dunkelphase schon durch wenige Minuten Licht. Ist abhängig vom Rhythmus der Lichteinwirkung.

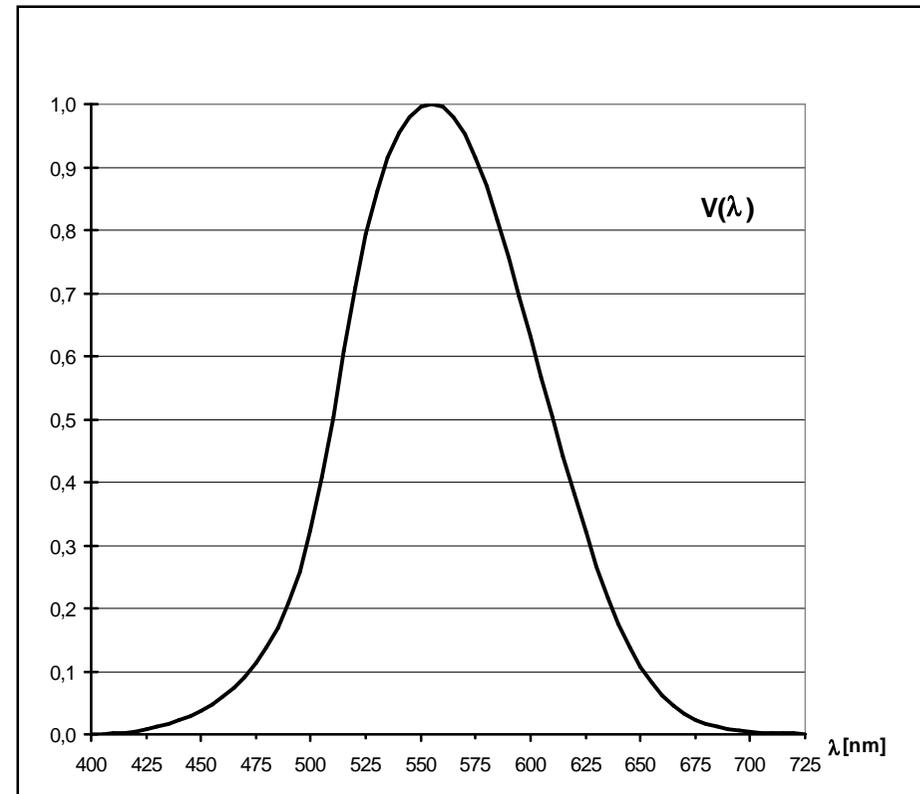
(3) Assimilationslicht:

Liefert Energie für die Stoffwechselfvorgänge, bestimmt die Photosyntheserate. Ist abhängig von der Stärke der Lichteinwirkung.

II. Bewertung des Lichts, PAR

Augenempfindlichkeit: ausgeprägtes Maximum bei 555 nm Wellenlänge im gelb-grünen Spektralbereich. Bei Blau mit 430 nm und Dunkelrot mit 690 nm Wellenlänge ist das Auge hundertmal unempfindlicher!

Deshalb: spektrale Bewertung aller lichttechnischen Größen mit dem spektralen Hellempfindlichkeitsgrad des auf Tagesehen adaptierten Auges ($V(\lambda)$).



Bewertung: wie funktioniert das?

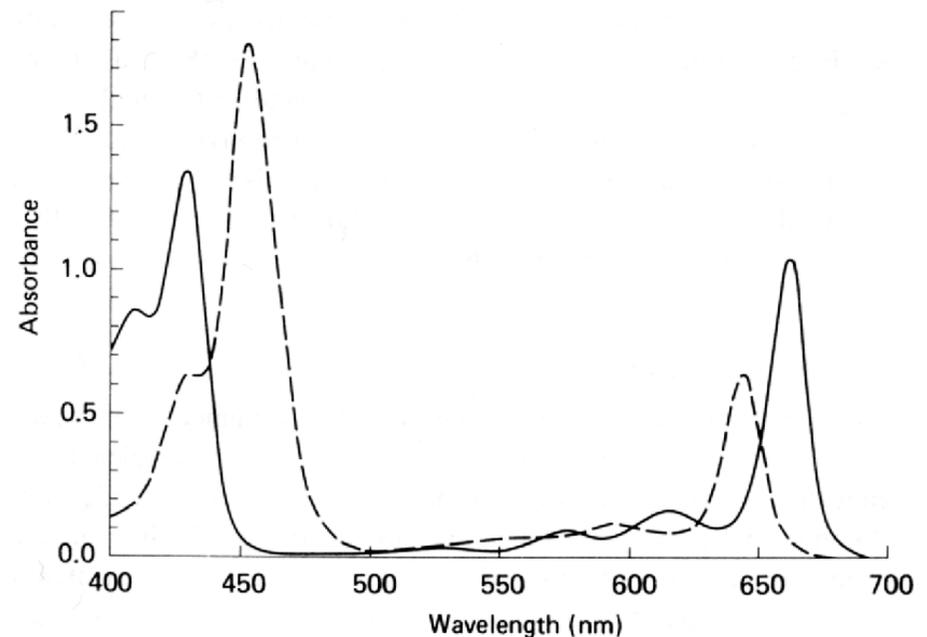
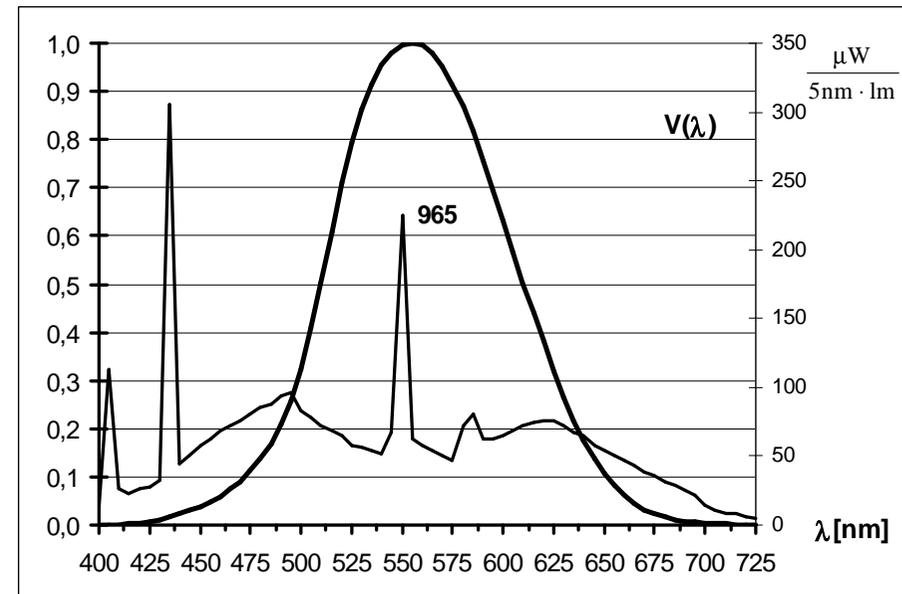
Der Wert der spektralen strahlungsphysikalischen Größe $X_{e,\lambda}$ wird mit dem Wert der Bewertungsfunktion $V(\lambda)$ an der Stelle λ multipliziert, über die gewünschte Spektrumsbreite aufaddiert, und der dann erhaltene Wert mit dem Proportionalitätsfaktor K_m (physikalisch aus der Definition der SI-Basiseinheit für die Lichtstärke, 683 lm/W) multipliziert.

Mathematisch betrachtet ist das eine Faltung der Strahlungsverteilungsfunktion mit der Bewertungsfunktion:

$$X = K_m \int_{360nm}^{830nm} X_{e,\lambda} \cdot V(\lambda) d\lambda$$

Aber:

Pflanzen „sehen“ das Licht ganz anders als das menschliche Auge, siehe Absorptionsspektren von Chlorophyll a (durchgezogen) und Chlorophyll b (gestrichelt).



PAR (Photosynthetic active Radiation), drei Maßeinheiten:

- (1) Eingestrahlte Lichtenergie im Spektralbereich 400 bis 700 nm pro Zeit und Fläche, Einheit PAR W/m²

Seit Einstein weiß man, daß ein Photon ein Elektron auslösen kann (Stark-Einstein-Gesetz). McCree zeigte 1972, daß die Anzahl der Photonen ein besseres Maß für die Photosyntheseeffizienz ist als die photometrischen Größen Lux oder Lumen. Die folgenden Definitionen zählen deshalb die Photonen. Ein Mol Photonen ($6,022 \cdot 10^{23}$, Avogadro-Zahl) wird Einstein zu Ehren auch als ein Einstein bezeichnet.

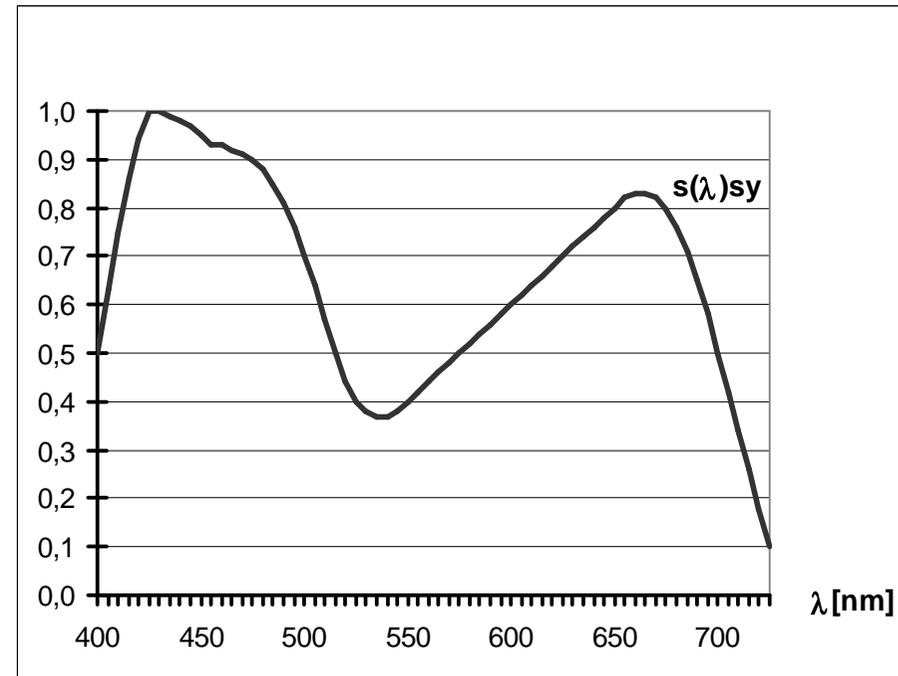
- (2) Anzahl der von einer Lichtquelle ausgesandten Photonen im Spektralbereich 400 bis 700 nm, in $\mu\text{mol/s}$ oder $\mu\text{E/s}$ (Mikroeinstein). PAR PPF (Photosynthetic Photon Flux),
- (3) Anzahl der pro Flächeneinheit auftreffenden Photonen im Spektralbereich 400 bis 700 nm, Photonenflußdichte in $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\text{s})$ oder $\mu\text{E}/(\text{m}^2\text{s})$. PAR PPFD (Photosynthetic Photon Flux Density).

PAR führt keine Bewertung der Strahlung durch, jedes Photon zählt, Pflanzen sammeln aber Photonen unterschiedlicher Wellenlängen nicht gleichmäßig auf.

Warum nicht bewerten, wie bei photometrischen Größen?

Welche Bewertungsfunktion?

è DIN 5031 Teil 10 (März 2000) „Photobiologisch wirksame Strahlung“, Wirkspektrum der Photosynthese $s(\lambda)_{sy}$



III. Ergebnis

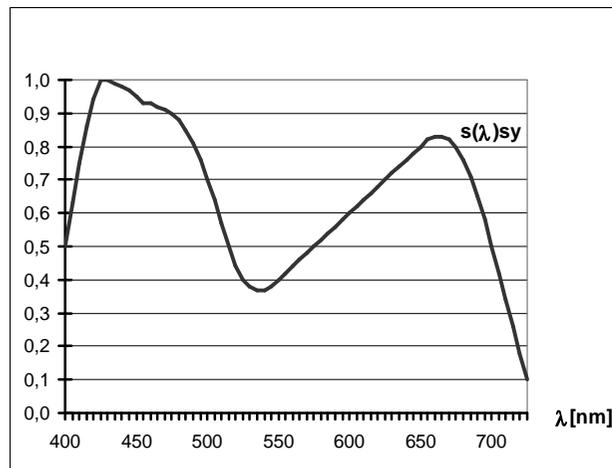
Verfahren auf verschiedene Lichtquellen angewendet:

- Lichtausbeute in Lumen pro Watt ist nicht geeignet zur Beurteilung der Photosyntheseleistung. Ähnliche Lichtausbeute – trotzdem unterschiedliche syn-Leistung.
- Hohe syn korreliert mit hoher PAR.
- Leuchtstofflampen (LL) i.A. schlechter als Hochdruckentladungslampen.
- Vollspektrum-Leuchtstofflampen sind trotz besserer Übereinstimmung ihres Spektrums mit der Photosynthesekurve schlechter als Dreibandlampen gleicher Lichtfarbe.
- Anhand der Photosynthesekurve entwickelte Lampen wie Gro-Lux besitzen wegen der geringen tatsächlichen Strahlungsleistung (geringer physikalischer Wirkungsgrad) nur eine schlechte syn-Ausbeute.
- Quecksilberdampf-Hochdrucklampen und Halogenlampen bilden das Schlußlicht und sind nicht empfehlenswert.

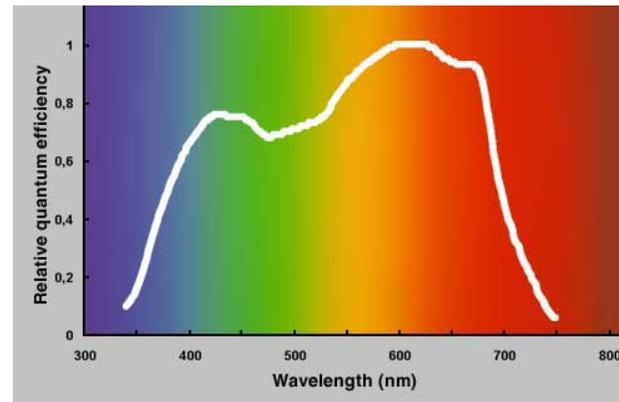
Lampe	Lampenleistung [Watt]	Lichtstrom [Lumen]	Strahlungsleistung im Bereich 400 - 725 nm [Watt] (PAR)	PAR Watt pro Watt Lampenleistung	photosynthetisch wirksame Strahlung [syn]	Lichtausbeute [Lumen/W]	Photosynthese-Ausbeute [syn/Watt]
CDM942/150	149	14.200	51,9	0,35	33.970	95	228
MHN-TD	150	12.900	46,6	0,31	30.760	86	205
SON-T Agro	400	55.000	133,6	0,33	81.980	138	205
LL 865	36	3.250	11,1	0,31	7.380	90	205
CDM 942/75	71	6.000	21,9	0,31	14.350	85	202
Aquarelle	36	2.450	9,6	0,27	6.860	68	191
MHW-TD	150	13.800	42,4	0,28	26.890	92	179
CDM 830/75	71	6.500	19,9	0,28	12.490	92	176
CDM830/150	145	13.250	40,6	0,28	25.470	91	176
LL 830	36	3.350	10,1	0,28	6.240	93	173
LL 965	36	2.100	8,4	0,23	5.790	58	161
LL 940	36	2.400	8,3	0,23	5.460	67	152
LL 950	36	2.300	8,0	0,22	5.350	64	149
LL 930	36	2.250	7,9	0,22	5.170	63	144
Gro-Lux	40	1.200	7,5	0,19	5.750	30	144
LL 25	36	2.600	8,0	0,22	5.160	72	143
HPL Comfort	80	4.000	11,4	0,14	6.960	50	87
HPL-N	80	3.700	10,6	0,13	6.560	46	82
Halogen	20	320	1,5	0,08	900	16	45

IV. Fragen

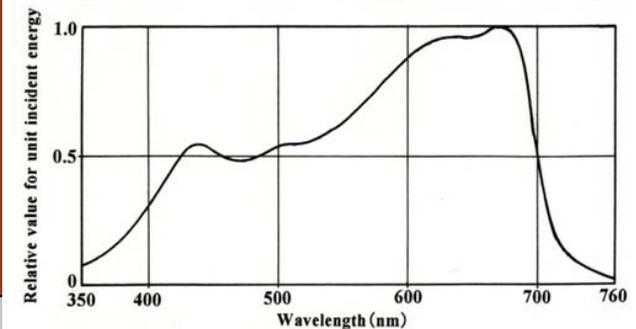
- Güte des Verfahrens hängt von der Qualität der Spektren ab.
- Gibt es einen Synergie-Effekt zwischen Photonen unterschiedlicher Wellenlängen (wie den Emerson-Effekt, der das Vorhandensein zweier Photosysteme zeigt) auch innerhalb der Antennenpigmente in den Lichtsammlersystemen, also, ist ein vollständiges Spektrum besser als ein lückenhaftes?
- Welche Bewertungsfunktion ist denn nun richtig?



(1) DIN 5031/10, 2000



(2) McCree/Elgersma Philips, 1972



(3) India/McCree, 1998

- Fallstrick: sind die Bewertungsfunktionen bezogen auf den Energieinhalt eines Spektrumabschnitts, oder auf die Zahl der Lichtquanten?
- Da Pflanzen auf Änderungen des Spektrums und der Modulation reagieren, hängt das Aussehen des Aktionsspektrums davon ab, wie die Pflanze vor und während des Versuchs beleuchtet wird.

V. Fazit und Ausblick

Trotz aller Vorbehalte eindeutige Tendenzen:

- Halogen-Metall dampflampen liefern die höchste Photosyntheseausbeute,
- Leuchtstofflampen bleiben trotz ähnlich hoher Lichtstromausbeuten merklich dahinter zurück.
- Spezielle Aquaristiklampen wie Gro-Lux und Aquarelle halten nicht, was sie versprechen, und besitzen zusätzliche Nachteile wie geringe Lebensdauer und schlechte Farbwiedergabe.
- Verifizierung der PAR- und Lumen-Verhältnisse durch eigene Messungen geplant.

VI. Quellennachweis

Philips Lighting - Horticultural lighting - Light and life (2003)

(http://www.eur.lighting.philips.com/int_en/prof/aa/horti/light/index.html)

Tazawa, Shinji (1998), „Effects of Various Radiant Sources on Plant Growth“

(<http://ss.jircas.affrc.go.jp/engpage/jarq/33-3/tazawa/tazawa1.htm>)

Kirk, John T. O. (1994), „Light & Photosynthesis in Aquatic Ecosystems“

Datenblätter von Philips-Lampen

(http://www.eur.lighting.philips.com/int_en/oem/ca/general/products/catalogue/index.html)

DIN 5031-10 (2000) und DIN 5032-1