

# Künstliche Belichtung im Gartenbau



**PHILIPS**

**AEG**

# Inhalt

## Einleitung

### Lichttechnische Grundlagen

1. Was ist Licht? .....	4
2. Optische Strahlungen .....	4
3. Hellempfindlichkeit des Auges .....	5
4. Spektrum .....	5
5. Lichtfarbe .....	6
6. Farbwiedergabe .....	6

### Licht und Pflanzenwachstum

1. Licht und Leben .....	7
2. Pflanzenwachstum .....	7
3. Tageslicht und Kunstlicht .....	11
4. Begriffe und Einheiten aus Pflanzenbestrahlung und Beleuchtungstechnik .....	13

### Anwendungen

1. Belichtung zur Förderung der Photosynthese .....	15
2. Belichtung zur Förderung des Photoperiodismus .....	16
3. Kunstlicht als Ersatz des Tageslichts .....	17
4. Phytotrons .....	18
5. Beleuchtung im Versandbereich .....	18
6. Beleuchtung im Verkaufsbereich .....	19
7. Dekorative Pflanzenbeleuchtung .....	21
8. Empfehlungen zur Pflanzenbestrahlung .....	22

### Anlagen aus der Praxis

1. Wirtschaftliche Aspekte .....	29
2. Kalkulation und Planung .....	31
3. Wartung .....	32

Leuchten .....	34
----------------	----

# Einleitung

Lichtmangel in den Wintermonaten wurde bis vor kurzer Zeit von den Pflanzenzüchtern als gegeben hingenommen. Andere, das Wachstum bestimmende Faktoren wie z. B. Temperatur, Feuchtigkeit und Dünger wurden dagegen schon seit langer Zeit zielgerichtet eingesetzt.

Auf diese Weise konnte man zwar eine Ernte heranziehen, allerdings waren die Wachstumszeiten unverhältnismäßig lang, und die Qualität der Ernte war wesentlich niedriger als unter ausreichenden Lichtverhältnissen.

In den letzten Jahren haben die Kenntnisse über den Einfluß des Lichtes auf Pflanzenwachstum und Ernteertrag erheblich zugenommen; gleichzeitig wurde durch die Entwicklung neuer Lampentypen und neuer Methoden der Pflanzenzucht die künstliche Belichtung von Pflanzen wirtschaftlich interessant. Dadurch wurden die Pflanzenzuchtbetriebe in die Lage versetzt, mehr und bessere Pflanzen in kürzeren Kulturzeiten zu erzeugen und damit ihre Produktivität zu erhöhen; gleichzeitig wurde es möglich, Pflanzen so zu produzieren, daß sie zu den günstigsten Zeiten für den Markt zur Verfügung stehen.

Der Züchter wird praktisch unabhängig vom Tageslicht und kann auch in Ländern, in denen dies sonst nicht möglich wäre, ganzjährig Kulturen heranziehen. Zu den wichtigen Anwendungen der Pflanzenbelichtung gehören die gesteuerte Produktion von Sämlingen und Stecklingen sowie das Frühreiben oder Verzögern von Blütenpflanzen und Sträuchern.

Der Gewächshaus-Gartenbau befindet sich gegenwärtig in einer revolutionären Entwicklungsphase.

Diese ist gekennzeichnet durch eine Steigerung von Produktivität und Effizienz, durch Anwendung der neuesten wissenschaftlichen Methoden des Gartenbaus und durch intensive Nutzung modernster technischer Anlagen.

Zu den neuen Produktionsverfahren gehören:

- ┆ computergesteuerte Umgebung
- ┆ geschlossene Bewässerungssysteme
- ┆ Einsatz von CO<sub>2</sub>
- ┆ Mehrlagen- und Schichtkulturen
- ┆ Intensivkulturen auf künstlichen Substraten
- ┆ Gewebekulturen

Der Energieverbrauch wird durch moderne Isolierungstechnik und umfassende Energiesysteme niedrig gehalten.

Eine voll kontrollierte Umgebung ist bei Beschränkung auf das verfügbare natürliche Tageslicht nicht zu erreichen, daher wird die künstliche Belichtung in Zukunft eine immer wichtigere Rolle spielen.

Diese Broschüre soll einen allgemeinen Überblick geben über:

- ┆ die wichtigsten lichttechnischen Grundlagen
- ┆ die photobiologischen Prozesse, die in Pflanzen stattfinden
- ┆ Belichtungstechniken für Pflanzenanzucht und Beleuchtung für Pflanzenvermarktung
- ┆ Pflanzenbelichtungsanlagen in der Praxis
- ┆ Lampen und Leuchten im Erwerbsgartenbau

Angesichts der zahlreichen variablen Größen, z. B. Pflanzenarten, Zielsetzungen, Lampentypen, benötigte Bestrahlungsart und Bestrahlungsstärke, Dauer der täglich erforderlichen Bestrahlung und optimaler Bestrahlungszeitraum, wird deutlich, daß sehr viele Informationen berücksichtigt werden müssen, wenn mit den eingesetzten finanziellen Mitteln die bestmöglichen Ergebnisse erzielt werden sollen. Dabei kommt es entscheidend auch auf das Wissen und die Erfahrung anderer an.

Im Laufe der Jahre hat Philips durch breit angelegte Forschung in eigenen Labors und Versuchsstationen viel zu diesem Wissen beigetragen.

Als der führende Lichthersteller der Welt kann Philips speziell für die Pflanzenbestrahlung entwickelte Anlagen liefern, die sich durch hohe Effizienz und hervorragende Zuverlässigkeit auszeichnen.

# Einleitung



Abb. 1



# Lichttechnische Grundlagen

## 1. Was ist Licht?

Licht ist Strahlung, die im Auge einen Helligkeitseindruck auslöst. Strahlung bedeutet die Aussendung und Übertragung von Energie in Form elektromagnetischer Wellen mit bestimmter Frequenz und Wellenlänge. Elektromagnetische Wellen sind transversale Schwingungen, d. h. sie schwingen senkrecht zur Ausbreitungsrichtung. Die Geschwindigkeit ( $c$ ), mit der sich die Wellen ausbreiten, beträgt für den luftleeren Raum  $c = 299.792.458$  m/sec. Dieser Wert ist die Lichtgeschwindigkeit im leeren Raum. In Gasen, Flüssigkeiten und festen Körpern, die für Strahlung durchlässig sind, ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit kleiner; in Luft um 0,03 % geringer als im Vakuum, ein in der Praxis meist zu vernachlässigender Wert. Die Frequenz, mit der die Strahlung schwingt, wird in Hertz (Hz) gemessen. Ein Hertz ist eine vollständige Schwingung – Wellenberg und Wellental – pro Sekunde. Die Wellenlänge ( $\lambda$ ) ist die Entfernung, die die elektromagnetischen Wellen während einer vollständigen Schwingung zurücklegen. Der Zusammenhang dieser drei beschriebenen Größen läßt sich darstellen in der Formel:

$$\text{Wellenlänge} = \frac{\text{Ausbreitungsgeschwindigkeit}}{\text{Frequenz}}$$

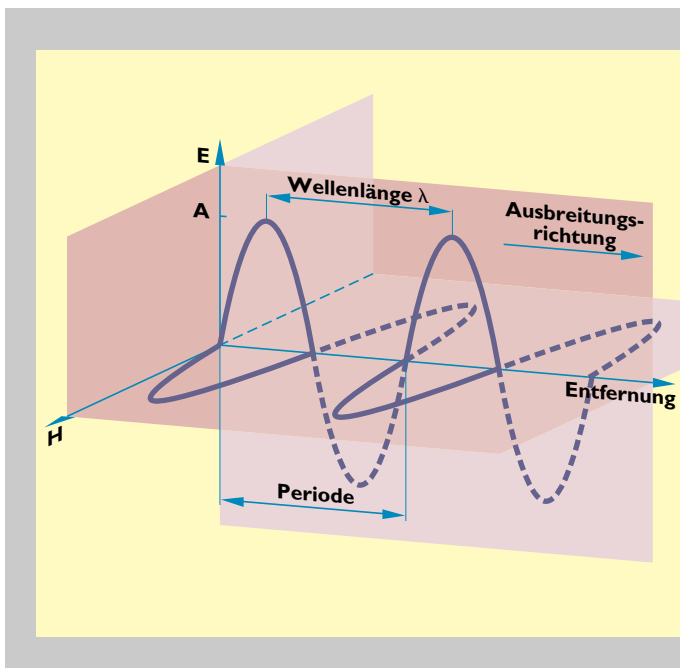


Abb. 2

Die meisten physikalischen Erscheinungen, die mit der Ausbreitung der Strahlung zusammenhängen, kann man mit der Theorie der elektromagnetischen Wellen erklären.

Wechselwirkungen zwischen Materie und Strahlung werden jedoch mit der Quantentheorie beschrieben. Hiernach wird Energie nur in Elementarmengen von den sogenannten Quanten oder Photonen ausgesendet und absorbiert. Beispiele der Quantentheorie sind photoelektrische, -chemische und -biologische Wirkungen. Die Photonen werden immer als Ganzes ausgesendet. Sie sind um so energiereicher je höher die Frequenz und somit je kürzer die Wellenlänge ist.

Die Energie errechnet sich aus  $E = h \times r$ , wobei  $h$  das Plancksche Wirkungsquantum ist.

$$h = 6,6260755 \times 10^{-34} \text{ Js}$$

Die Energie eines Photons ist somit sehr klein; z. B. beträgt sie für  
rotes Licht bei 700 nm  $2,84 \times 10^{-19}$  J, für  
grünes Licht bei 500 nm  $3,98 \times 10^{-19}$  J und für  
violett Licht bei 400 nm  $4,97 \times 10^{-19}$  J.

Daß blaues Licht somit besser zu sehen bzw. wirkungsvoller für Pflanzen ist, wäre hiernach ein logischer Schluß. Jedoch trifft dieses in beiden Fällen nicht zu, da je nach Wellenlänge unterschiedliche Empfindlichkeiten vorliegen.

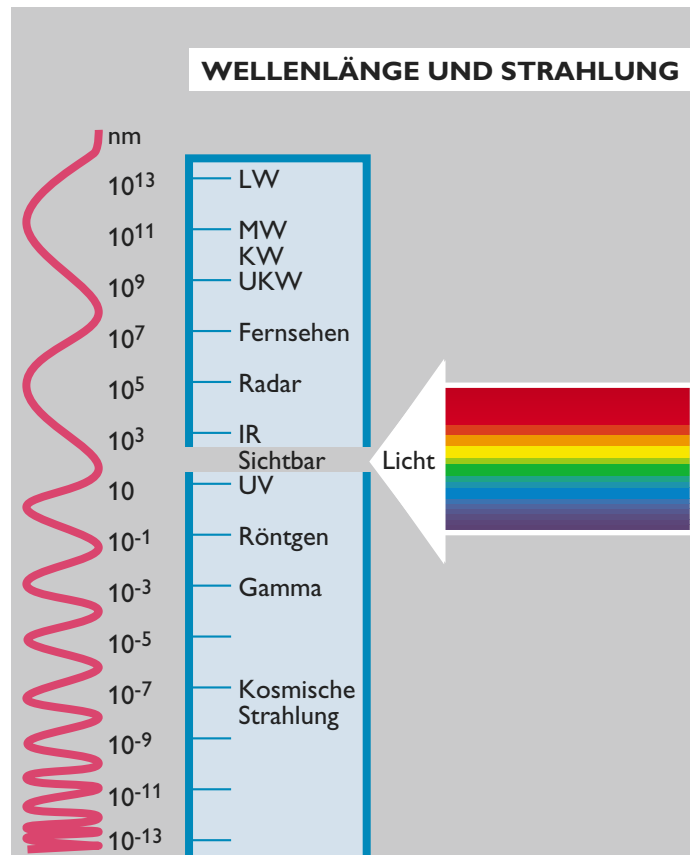


Abb. 3

## 2. Optische Strahlungen

Optische Strahlungen gehören zu einem kleinen Teil des Spektrums der elektromagnetischen Wellen von etwa 1 nm bis 1 mm Wellenlänge. Sie umfassen die sichtbare Strahlung, die im Auge eine Hellempfindung hervorruft und als Licht bezeichnet wird sowie die nach beiden Seiten des Spektrums anschließenden Strahlungsbereiche.

Nach den kürzeren Wellenlängen ist es die Ultraviolettstrahlung (UV), und in Richtung der längeren Wellenlängen gehört hierzu die Infrarotstrahlung (IR). Die Verhaltensweisen der optischen Strahlung sind weitgehend ähnlich; sie können mit künstlichen Strahlungsquellen erzeugt und mit optischen Bauelementen gelenkt werden.

Die optischen Strahlungen werden wie folgt unterteilt, wobei die Grenzen nicht scharf definiert sind und beim Licht auch vom individuellen Sehvermögen des Menschen abhängen:

# Lichttechnische Grundlagen

## Ultraviolettstrahlung

UV-C	100 nm – 280 nm
UV-B	280 nm – 315 nm
UV-A	315 nm – 380 nm

## Infrarotstrahlung

IR-A	780 nm – 1,4 µm
IR-B	1,4 µm – 3,0 µm
IR-C	3,0 µm – 1,0 mm

## Sichtbare Strahlung

Licht 380 nm – 780 nm

Die UV-C Strahlung hat bakterientötende Wirkung und verursacht Erythem (Rötung der Haut) und Konjunktivitis (Bindehautentzündung). Strahlung mit kürzeren Wellenlängen als 200 nm bildet Ozon aus Sauerstoff. UV-B Strahlung erzeugt Erythem sowie Vitamin D im Körper. Die UV-A Strahlung bräunt die menschliche Haut, ohne einen Sonnenbrand zu erzeugen. Sie regt bestimmte Stoffe zur Fluoreszenz an und wird für Scheck- oder Banknotenanalysen sowie für dekorative Effekte in der Werbung verwendet. Die Infrarotstrahlung (IR) wird vom Material absorbiert und in Wärme umgewandelt, insbesondere im kurzwelligen Bereich.

Das Spektrum der sichtbaren Strahlung (Licht) lässt sich in verschiedene Wellenlängenbereiche einteilen, die beim Menschen bestimmte Farbbeimpfindungen hervorrufen:

violett	380 nm – 436 nm	gelb	566 nm – 589 nm
blau	436 nm – 495 nm	orange	589 nm – 627 nm
grün	495 nm – 566 nm	rot	627 nm – 780 nm

## 3. Hellempfindlichkeit des Auges

Das menschliche Auge ist für die sichtbare Strahlung, je nach Wellenlänge, unterschiedlich empfindlich. So wird z. B. bei gleicher Leistung ein Lichtreiz von 555 nm viel heller empfunden als Lichtreize von 400 nm (violett) oder 700 nm (rot).

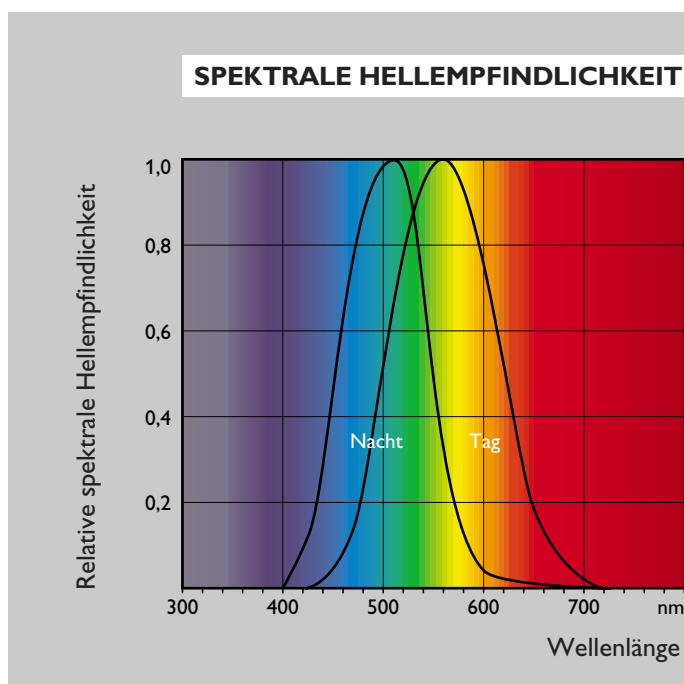


Abb. 4

Die CIE hat für das normalsichtige menschliche Auge die spektralen Hellempfindlichkeitsgrade  $V(\lambda)$  für das Tagessehen und  $V'(\lambda)$  für das Nachtsehen in Abhängigkeit von der Wellenlänge festgelegt.

## 4. Spektrum

Das weiße Sonnenlicht setzt sich aus elektromagnetischen Wellen verschiedener Längen zusammen. Führt man ein enges Lichtbündel der Sonnenstrahlen durch ein Glasprisma, so wird ein farbiges Spektrum sichtbar, das man auch vom Regenbogen her kennt. Bei der Entstehung des Regenbogens bilden die vielen Regentröpfchen in der Luft die Prismen, durch die die Sonne scheint. Jeder Farbe entspricht eine ganz bestimmte Wellenlänge. Das Zusammenwirken aller Lichtwellen ruft den Eindruck weißen Lichts hervor.

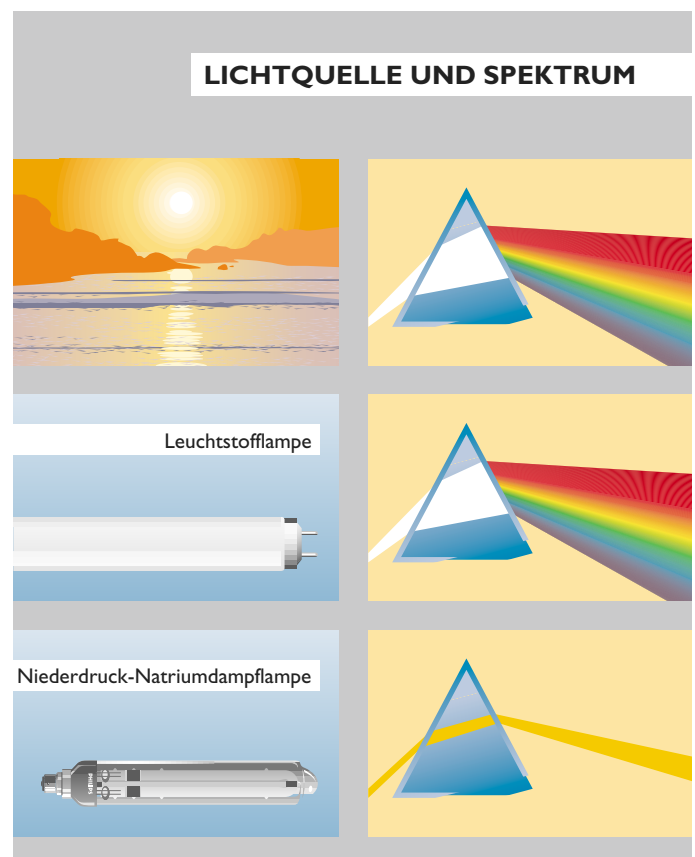


Abb. 5

Farbige Gegenstände werden nur dann farbgetreu erkannt, wenn im Spektrum der Lichtquelle auch die entsprechenden Farben vorhanden sind. Dies ist z. B. bei der Sonne, den Glühlampen und den Leuchtstofflampen mit guten Farbwiedergabeeigenschaften der Fall. Schickt man jedoch z. B. das Licht einer Niederdruck-Natriumdampflampe durch ein Glasprisma, so tritt nur eine Strahlung mit gelber Farbe aus, da im Spektrum dieser Lichtquelle alle Farben außer gelb fehlen. Sind breite Spektralbereiche mit fließenden Übergängen zwischen den einzelnen Spektralfarben vorhanden, so spricht man von einem kontinuierlichen Spektrum, sind die einzelnen Spektrallinien scharf voneinander getrennt, so handelt es sich um ein Linienspektrum. Auch Kombinationen beider Spektren kommen in der Praxis häufig vor.

# Lichttechnische Grundlagen

## 5. Lichtfarbe

Die Lichtfarbe ist die Eigenfarbe einer Lampe. Zur Kennzeichnung wird die ähnlichste Farbtemperatur (Kelvin) verwendet. Alle Lampen mit einer ähnlichsten Farbtemperatur über 5.000 K gehören zur Gruppe der tageslichtweißen (tw) Lichtquellen, wie z. B. die tageslichtweißen Leuchtstofflampen. Hochdruck-Quecksilberdampflampen und Leuchtstofflampen "Weiß" gehören in die Gruppe der Lampen mit neutralweißer (nw) Lichtfarbe mit einer ähnlichsten Farbtemperatur im Bereich von 3.300 K bis 5.000 K. Zu den Lampen mit warmweißen (ww) Lichtfarben, deren ähnlichste Farbtemperatur unter 3.300 K liegt, zählen z. B. die Glühlampen und Leuchtstofflampen "Warmton".

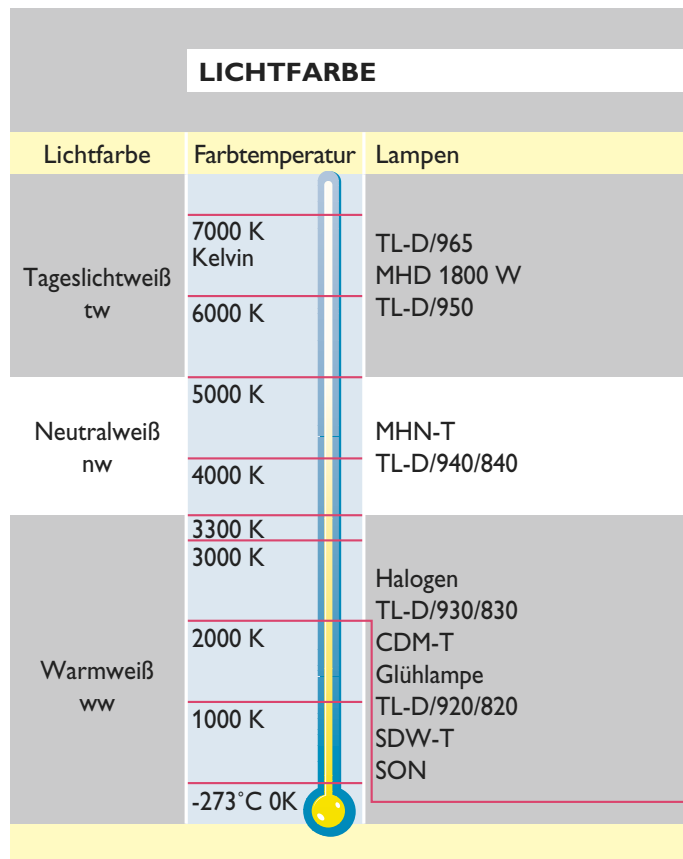


Abb. 6

## 6. Farbwiedergabe

Zur Bewertung der Farbwiedergabeeigenschaft von Lampen dient der allgemeine Farbwiedergabeindex  $R_a$ , der von einem Satz von acht Testfarben aus unserer täglichen Umwelt abgeleitet ist. Der theoretische Maximalwert des allgemeinen Farbwiedergabeindex beträgt 100. Je niedriger der Farbwiedergabeindex, desto schlechter ist die Farbwiedergabeeigenschaft der Lampe.

Für die praktische Anwendung sind die Farbwiedergabeindizes in Stufen eingeteilt. In der DIN 5035 sind sechs Stufen angegeben. Lampen der Stufe 1A werden dort eingesetzt, wo es auf eine möglichst naturgetreue Farbwiedergabe ankommt. Zu den Lampen der Stufe 1B gehören die Dreiband-Leuchtstofflampen, die vorwiegend in

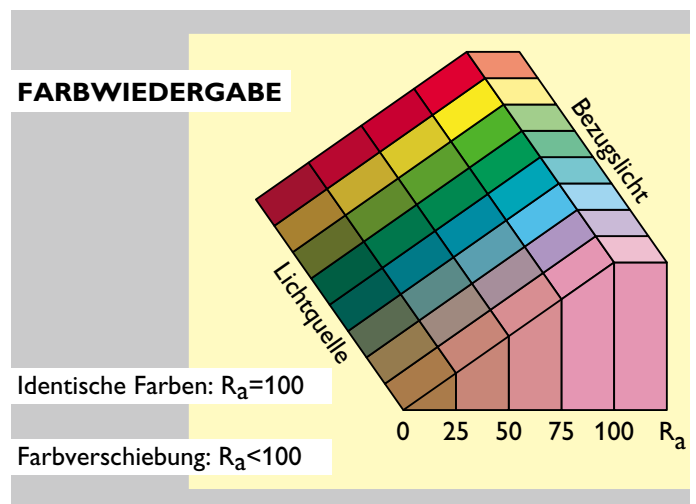


Abb. 7

Verwaltungsgebäuden und Schulen installiert werden. Lampen der Stufe 2A haben noch gute Farbwiedergabeeigenschaften. Lampen der Stufe 3 sind bei größeren Industriearbeiten, bei denen es nicht auf die Farbwiedergabe ankommt, einzusetzen. Lampen der Farbwiedergabestufe 4 sind in Innenräumen nicht zulässig mit Ausnahme der Hochdruck-Natriumdampflampen ( $R_a \approx 20$ ) in bestimmten Anwendungsfällen. Die für die verschiedenen Raumarten und Tätigkeiten erforderlichen Farbwiedergabeeigenschaften der Lampen sind entsprechend der Stufeneinteilung in der DIN 5035 angegeben.

**FARBWIEDERGABE**

Stufe	Index	Lampen
1A	100	TL-D/90 Glühlampe
1B	90	TL-D/80 SDW-T, CDM-T, MHN-T
2A	80	TL-D/25
2B	70	TL-D/33 SON-Comfort
3	60	TL-D/29 HPL-N
4	40	SON
	20	

Abb. 8

# Licht und Pflanzenwachstum

## 1. Licht und Leben

Eine der Haupteigenschaften jedes lebenden Organismus ist das Wachstum, d. h. eine Zunahme an Größe und Gewicht oder an Zahl. Wachstum setzt die Synthese neuer Bauelemente in Form komplizierter organischer Substanzen voraus, diese Synthese ist zum größten Teil ein energieverzehrender Vorgang.

Für fast alle lebenden Organismen, die Pflanzen ausgenommen, wird Energie durch die Spaltung organischer Verbindungen, hauptsächlich Zucker und Fette, gewonnen, die zusammen mit Sauerstoff Kohlendioxid und Wasser bilden. Bei diesem Prozeß wird eine gewisse Menge Energie freigesetzt.

Der Stoffwechsel beruht also auf einer ausreichenden Versorgung mit organischen Verbindungen und Sauerstoff.

Diese werden von Pflanzen geliefert, da in den grünen Pflanzenteilen der entgegengesetzte Prozeß stattfindet, d. h. organische Verbindungen und Sauerstoff werden aus Kohlendioxid und Wasser aufgebaut. Dieser Prozeß, die sog. Photosynthese, benötigt das Licht als Energiequelle (Abb. 9). Alles Leben auf der Erde ist letztendlich von der Photosynthese abhängig, die Pflanzen in direktem Sinne, da sie in Bezug auf ihren Energiebedarf Selbstversorger sind, und indirekt auch der Mensch und die Tiere, da diese sich von durch die Pflanzen gebildeten Substanzen ernähren.

Da Pflanzenwachstum und Nahrungsmittelprodukte für die Erhaltung des Lebens von größter Bedeutung sind, beschäftigen sich viele For-

schungsarbeiten mit Verbesserungen auf dem Gebiet von Landwirtschaft und Gartenbau.

Wachstumsfaktoren wie Temperatur, Feuchtigkeit, zusätzliche Nährstoffe wurden seit längerer Zeit erforscht. Durch Öffnung der Grenzen und das Vordringen südlicher Länder mit ihren Standortvorteilen auf unsere heimischen Märkte entstand der Zwang, Standortnachteilen durch neue Techniken zu begegnen.

Die Erforschung der Auswirkung und der Dosierung von Zusatzbeleuchtung und  $\text{CO}_2$  Konzentration zeigten Wege zum effektiven, ganzjährigen Erwerbsgartenbau. Die Wachstumsraten konnten vergrößert, die Kulturzeiten verkürzt und die Pflanzenqualität verbessert werden.

## 2. Pflanzenwachstum

Das Pflanzenwachstum wird durch drei lichtbedürftige Prozesse gesteuert:

- ☐ die Photosynthese (Stoffaufbau)
- ☐ die Photomorphogenese (Formaufbau)
- ☐ den Photoperiodismus (Tageslängenreaktion)

Der wichtigste dieser Prozesse ist die Photosynthese, die die Grundvoraussetzung für das Pflanzenwachstum bildet. Bei der Photosynthese wird Strahlungsenergie in chemische Energie umgewandelt. Diese ist für die Synthese der organischen Komponenten, aus denen eine Pflanze sich zusammensetzt, erforderlich.

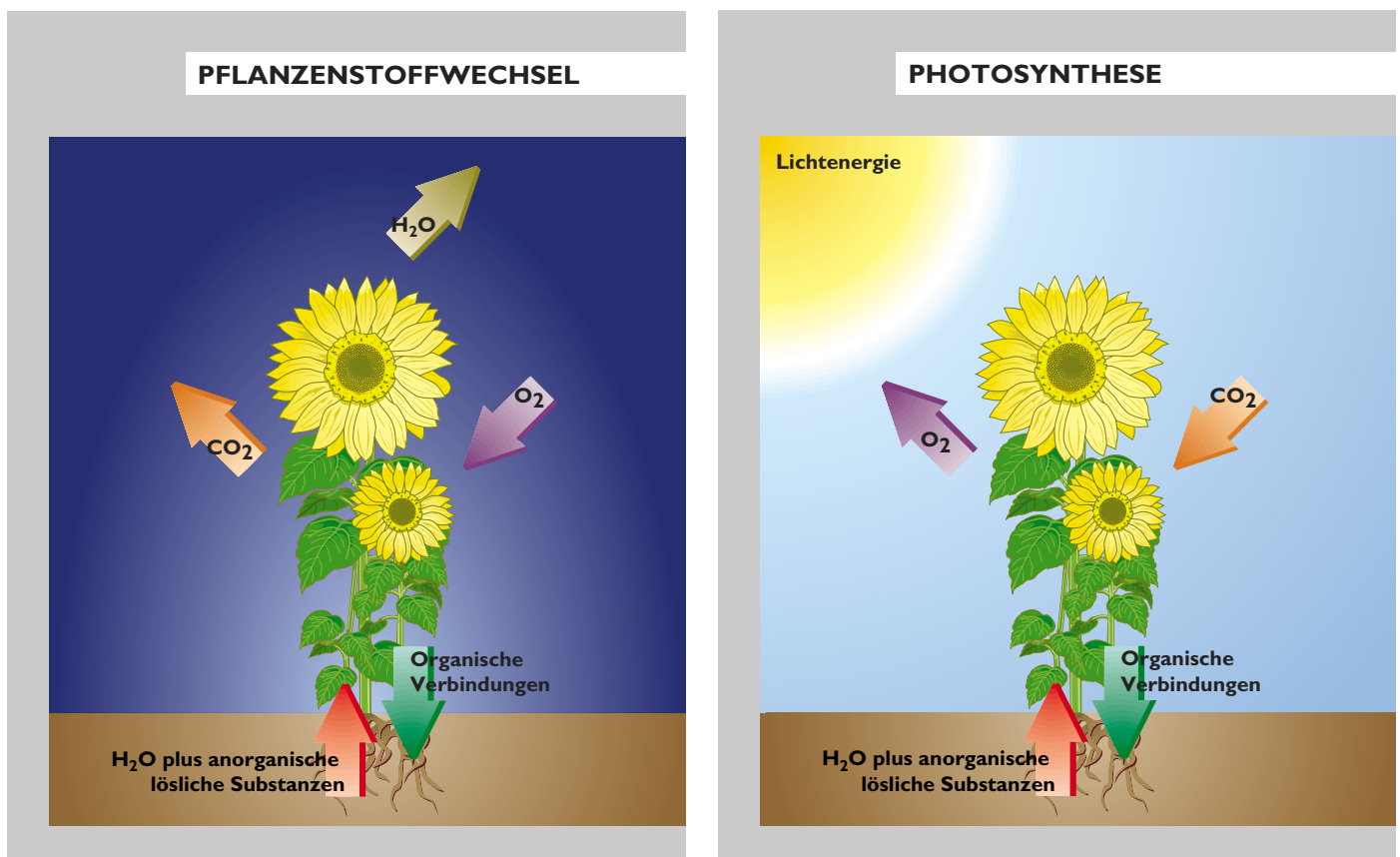


Abb. 9 Pflanzenstoffwechsel und Photosynthese. Der für die Pflanze lebensnotwendige Stoffwechsel vollzieht sich ununterbrochen, größtenteils jedoch nachts. Die Photosynthese, die nur stattfinden kann, wenn genügend Licht vorhanden ist, ermöglicht das Pflanzenwachstum



# Licht und Pflanzenwachstum

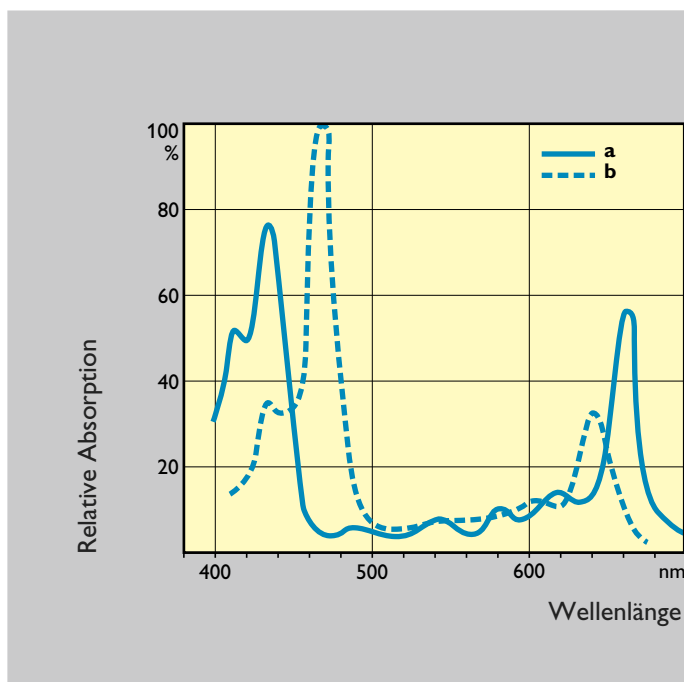


Abb. 10

Das Licht wird mit Hilfe des Pigments Chlorophyll absorbiert. In höheren Pflanzen sind zwei Arten von Chlorophyll vorhanden, Chlorophyll a und Chlorophyll b (siehe Abb. 10), wobei das Chlorophyll a ca. in dreifacher Menge von Chlorophyll b vorhanden ist. Neben diesen beiden Pigmenten gibt es noch weitere, wie z. B. das Karotin und das Xanthophyll. Für die Umsetzung von  $\text{CO}_2$  in Kohlenhydrate ist Chlorophyll a das wichtigste Pigment. Die anderen Pigmente geben die absorbierte Energie an das Chlorophyll a weiter, sie verbreitern nur das Assimilationsspektrum – die Pflanzenempfindlichkeitskurve für die Photosynthese.

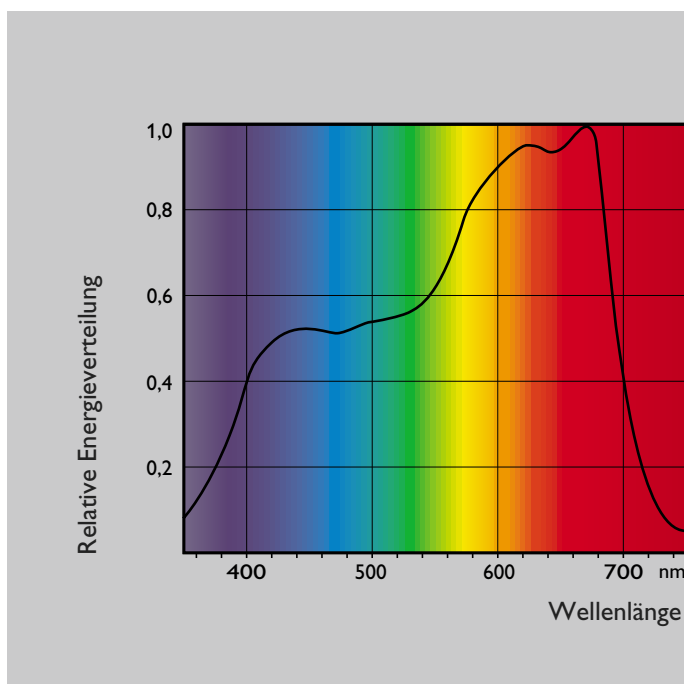


Abb. 11

Wie das menschliche Auge eine spezielle Empfindlichkeitskurve für die Hellempfindung hat, so haben auch die Pflanzen ihre spezielle Empfindlichkeitskurve für die Photosynthese. Im Photosynthese-Wirkungsspektrum wird die Menge des durch die Pflanze gebundenen Kohlendioxids als Funktion der Wellenlänge bestimmt.

Das 1973 veröffentlichte Wirkungsspektrum (Abb. 11) basiert auf Untersuchungen, die K. J. McCree 1972 publiziert hat. K. J. McCree hatte 22 unterschiedliche Pflanzenarten wie z. B. Gerste, Tomaten, Soja untersucht. Dieses gemittelte Wirkungsspektrum zeigt einen deutlichen Abfall im blauen Bereich.

Neuere Untersuchungen in den Niederlanden am Institut für Gartenbau der Universität in Wageningen zeigen, daß blaues Licht nach "McCree" unterbewertet wurde (Abb. 12). Hiernach ist Licht im Wellenlängenbereich von 530 bis 670 nm am effektivsten. Licht der Wellenlängen kürzer als 400 nm und länger als 700 nm ist praktisch bedeutungslos für die Photosynthese.

Unter Photomorphogenese wird der Formgebungseffekt des Lichts auf Pflanzen verstanden.

Der blaue Spektralbereich führt zu gedrungenen Pflanzen, der langwellige Rotbereich zu gestreckten Pflanzen mit wenig Seitentrieben.

Um dieses abnorme Wachstum zu verhindern, ist jedoch nur eine so geringe Menge blauen Lichts erforderlich, daß selbst schwaches Tageslicht, das von außen in das Gewächshaus dringt, in der Regel ausreicht.

Die neue SON-T AGRO (siehe Kapitel Lampen) mit ihren größeren Blauanteilen im Spektrum steuert dem unerwünschten Längenwachstum auch bei hoher Intensität der Assimilations-Belichtung entgegen.

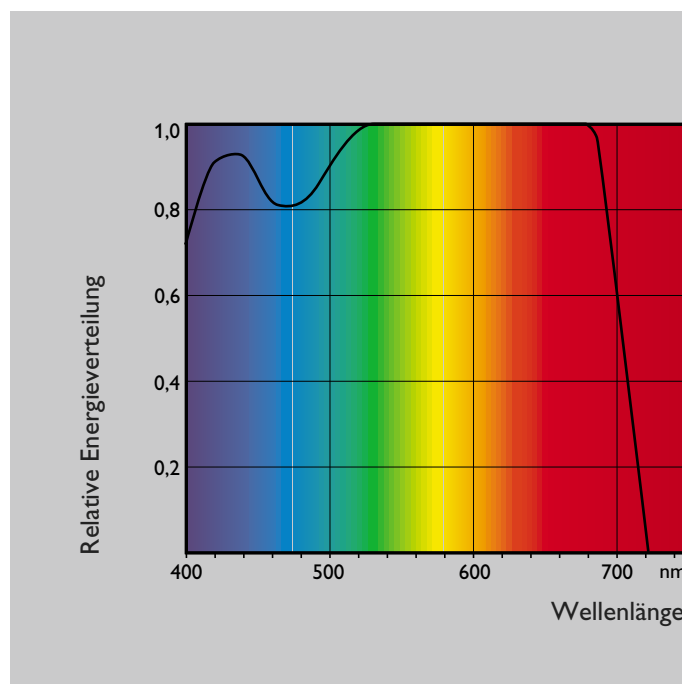


Abb. 12

# Licht und Pflanzenwachstum

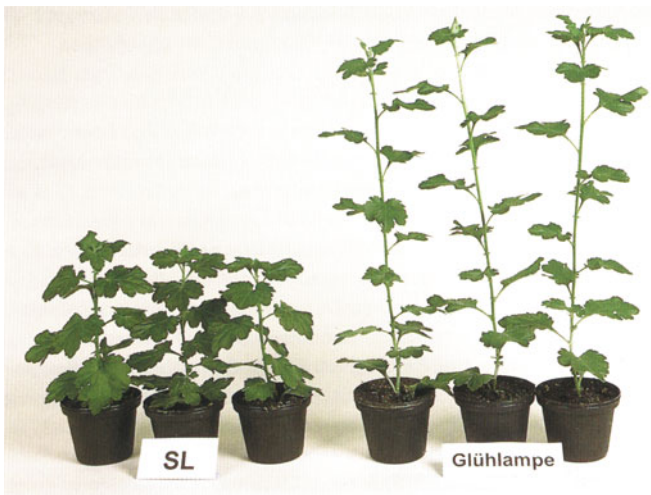


Abb. 13a *Dendranthema grandiflorum* (Topfchrysanthemen)  
Langtag-Belichtung links mit SL-R AGRO, rechts mit Glühlampen

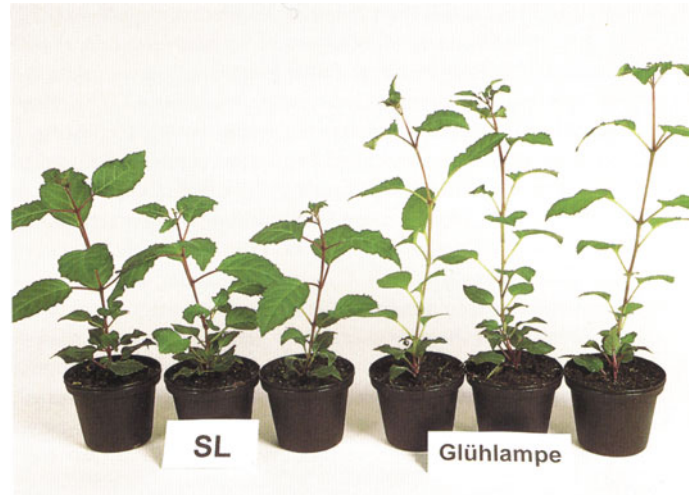


Abb. 13b Fuchsia-Hybriden  
Langtag-Belichtung links mit SL-R AGRO, rechts mit Glühlampen

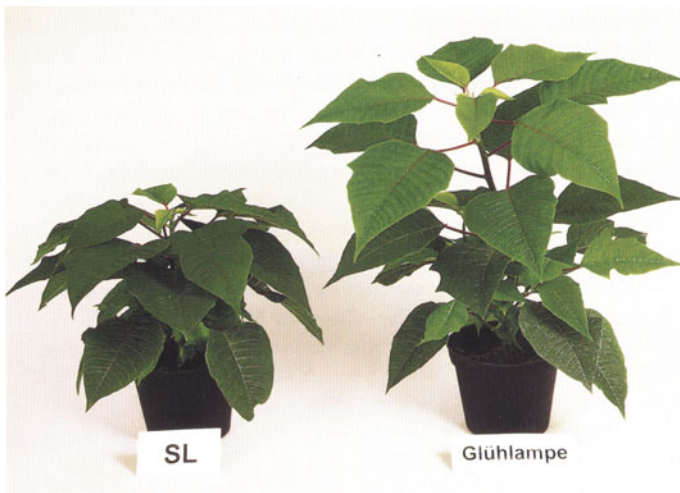


Abb. 13c *Euphorbia pulcherrima* (Poinsettien), Eintrieber (ungestutzt)  
Langtag-Belichtung links mit SL-R AGRO, rechts mit Glühlampen

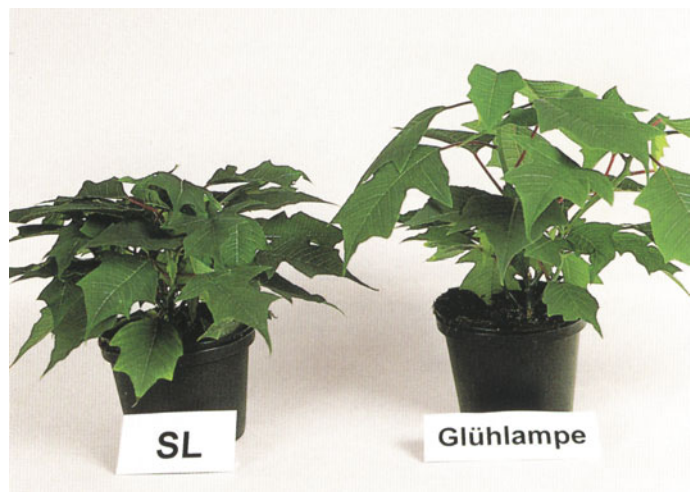


Abb. 13d: *Euphorbia pulcherrima* (Poinsettien), Mehrtrieber (gestutzt)  
Langtag-Belichtung links mit SL-R AGRO, rechts mit Glühlampen

Die Abbildungen 13a, 13b, 13c, 13d zeigen den Vergleich einer Langtagbelichtung mit Kompaktentladungslampen SL-R AGRO (relativ hoher Blauanteil und geringer IR-Anteil) und mit Glühlampen (geringer Blau-, Rot- und Infrarotanteil) bei einer

Belichtung von: 8 Stunden pro Tag Assimilationslicht (Leuchtstofflampen) von ca. 3 klx, zusätzlich 10 Stunden pro Tag photoperiodisches Licht mit SL-R AGRO und Glühlampe von 150 - 200 Lux.

Abbildung 14: Vergleich einer Langtag-Belichtung mit SL-R AGRO und einer UV-A Lampe:

*Euphorbia pulcherrima* (Poinsettien)

- ☐ links Langtaglicht mit UV-A-Lampe = Kurztagswirkung, Pflanzen gehen in generative Phase über, d. h. sie blühen
- ☐ rechts Langtaglicht mit SL-Lampe = Langtagwirkung, Pflanzen blühen nicht



Abb. 14 Vergleich einer Langtag-Belichtung mit SL-R AGRO und einer UV-A-Lampe

# Licht und Pflanzenwachstum

Als Photoperiodismus bezeichnet man das Phänomen, daß Pflanzen auf unterschiedliche Weise auf die Länge der Tageslichtperiode, der sie ausgesetzt sind, reagieren. Einige Pflanzen blühen nur, wenn die Dauer der täglichen Lichtperiode unter einem bestimmten kritischen Wert liegt; andere dagegen blühen nur, wenn das tägliche Lichtquantum über diesem kritischen Wert liegt. Die ersten werden als Kurztag-Pflanzen, die letzteren als Langtag-Pflanzen bezeichnet. Beispiele für Kurztag-Pflanzen sind Kalanchoe und Chrysanthemen. Eine typische Langtag-Pflanze ist die Campanula isophylla. Pflanzen, deren Blüte von der Tageslänge unabhängig ist, z. B. Cyclamen persicum, werden als tageslichtneutrale Pflanzen bezeichnet.

Der Prozeß des Photoperiodismus wird auch durch die Wellenlänge des Lichts beeinflusst. Der ferne rote Teil des Spektrums löst die phytochrome Reaktion aus, von der es abhängt, ob die Pflanze im vegeta-

tiven Stadium verbleibt oder, ob sie sich zum generativen Stadium weiter entwickelt. Hierfür werden im Gartenbau im allgemeinen Glühlampen verwendet.

Belichtet man Pflanzen mit dem blauen oder UV-A-Teil des Spektrums, so ist die Reaktion sehr schwach oder findet überhaupt nicht statt.

Manche Pflanzen besitzen noch wesentlich kompliziertere Reaktionsmuster auf die Tageslichtperiode. Langtag-Kurztag-Pflanzen, wie z. B. Callistephus sinensis, blühen nur, wenn auf eine Reihe von langen Tagen eine Reihe kurzer Tage folgt. Das gegenteilige Reaktionsmuster, ein Kurztag-Langtag-Zyklus kommt ebenfalls vor, z. B. Pelargonium grandiflorum hybriden und bei Erdbeeren. Zu den photoperiodischen Phänomenen gehören auch Knospen- und Samenruhe, vegetative Reproduktion und Abfallen von Blättern und Knospen.

Untersuchung der optimalen Zeit für Nachtunterbrechung von Matricaria (White Star). Basislichtzeit von 8.00 bis 17.00 Uhr. Untersucht wurden Nachtunterbrechungen von:

- 20.00 - 23.00 Uhr
- 23.00 - 02.00 Uhr
- 02.00 - 05.00 Uhr
- 05.00 - 08.00 Uhr

Die Unterbrechung von 23.00 bis 2.00 Uhr hat den besten Erfolg.



Abb. 15a Untersuchung der optimalen Zeit für Nachtunterbrechung von Matricaria

Untersuchung zur kritischen Tageslänge für Matricaria (LD). Das Foto zeigt den Effekt einer anschließenden Tagverlängerung von 0, 2, 4, 6 und 8 Stunden. Kritische Tageslänge von  $8 + 6 = 14$  Stunden. Rechts auf dem Foto zeigt sich der Effekt bei einer Unterbrechung von 2 Stunden mitten in der Nacht ( $N=2$ ).



Abb. 15b Untersuchung zur kritischen Tageslänge für Matricaria (LD)

Untersuchung nach der günstigsten Zeit für eine Nachtunterbrechung von Matricaria (nach einer Basisbelichtung von 8 Stunden, von 8.00 bis 16.00 Uhr).

- 1 16.00 - 20.00 Uhr keine Reaktion (vegetativ)
- 2 20.00 - 24.00 Uhr generativ
- 3 24.00 - 04.00 Uhr starke Reaktion; Pflanze blüht
- 4 04.00 - 08.00 Uhr generativ

Die Blütenbildung wird durch die Nachtunterbrechung von 24.00 bis 04.00 Uhr am meisten beschleunigt.



Abb. 15c Untersuchung nach der günstigsten Zeit für eine Nachtunterbrechung von Matricaria



# Licht und Pflanzenwachstum

## 3. Tageslicht und Kunstlicht

Zusatzbelichtung durch elektrische Energie kostet Geld. Es ist daher selbstverständlich, daß nur soviel zusätzliches Licht gegeben werden sollte, wie zur Kompensation der fehlenden Tageslichtmenge für die entsprechenden Pflanzenkulturen gebraucht wird. Hierfür ist es nötig, die örtlichen und jahreszeitlichen Tageslichtmengen zu kennen.

In den Wintermonaten gibt es, insbesondere in den Ländern zwischen dem 40. und 80. Breitengrad, einen Mangel an Licht. Die Gründe für die geringere Lichtmenge (bis zu 1/10 der Lichtmenge im Sommer) sind die erheblich kürzeren Tage und die durch den niedrigen Sonnenstand und die häufige Wolkendecke verursachte geringe Lichtintensität. Unter diesen Bedingungen wirkt das Licht in der Tat als einschränkender Faktor, so daß, wenn ungehindertes Wachstum ermöglicht werden soll, zusätzliche Mengen von Lichtenergie zugeführt werden müssen. Die wichtigste Frage ist dabei natürlich: wieviel zusätzliches Licht muß täglich eingesetzt werden, damit die optimale Menge von Lichtenergie für die Pflanze erreicht wird? Um diese Menge berechnen zu können, müssen einerseits die Bedürfnisse der Pflanze und andererseits die verfügbare Menge an Tageslicht bekannt sein. Die tägliche Gesamtmenge der Strahlung, die die Erde von der Sonne erhält, läßt sich als Intensität (Energie pro Fläche) multipliziert mit der Zeit, ausdrücken. Diese Menge wird als Strahlungsmenge, Lichtmenge oder Tagesmenge bezeichnet und gewöhnlich in Joule pro cm<sup>2</sup> (J/cm<sup>2</sup>) ausgedrückt. In vielen Ländern werden diese Tagesmengen von meteorologischen Zentren täglich ermittelt und veröffentlicht.

Tabelle 1 gibt als Beispiel die durchschnittlichen Stunden- und Tagesmengen der Gesamtstrahlung (direkte und diffuse Strahlung) in J/cm<sup>2</sup> wieder, gemessen in den Niederlanden zwischen 1961 und

1970. Die Tageswerte werden addiert, und in der letzten Zeile der Tabelle sind die Summen der durchschnittlichen Tagesmengen für jeden Monat des Jahres aufgeführt.

Vergleicht man die von den meteorologischen Zentren veröffentlichten Tagesmengen mit diesen Durchschnittsmengen, so kann man leicht feststellen, ob ein Mangel an Licht vorliegt. Ausgehend von dieser Information kann ein Tagesschema für die Kunstlichtbelichtung erstellt werden.

Wenn jedoch das Gewächshausklima die sich ändernden Wetterverhältnisse äußerst genau kompensieren muß, sollte das Gewächshaus über eine eigene Wetterstation verfügen, die die örtliche Gesamtstrahlung messen kann (gewöhnlich mit Hilfe eines Solarimeters, das im Freien installiert wird). Zunächst muß die Außenablesung in J/cm<sup>2</sup> in eine mW/m<sup>2</sup>-Größe (Nettostrahlung zwischen 400 und 700 nm) umgewandelt werden, die für die Pflanzen im Gewächshaus gilt. Als Beispiel sollen die Werte für den Monat Januar berechnet werden. In Tabelle 1 wird für Januar ein Wert von 236 J/cm<sup>2</sup> (gesamte Strahlungsenergie außerhalb des Gewächshauses) angegeben. Ausgehend von der Annahme, daß die für die Messung der Tageslichtmenge verwendeten Solarimeter die gesamte Strahlung mit Wellenlängen zwischen 300 und 3.000 nm messen, für den Prozeß der Photosynthese jedoch nur die Strahlung zwischen 400 und 700 nm von Bedeutung ist, muß, um die sinnvolle Lichtmenge zu berechnen (d. h. die Lichtmenge mit der richtigen Wellenlänge), die Gesamtstrahlung mit dem Faktor 0,45 multipliziert werden.

$$0,45 \times 236 = 106 \text{ J/cm}^2$$

(sichtbare Strahlung außerhalb des Gewächshauses).

Stunden	JAN	FEB	MÄR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ
3 - 4	—	—	—	—	0	1	0	—	—	—	—	—
4 - 5	—	—	—	0	5	12	7	1	—	—	—	—
5 - 6	—	—	0	8	26	38	27	12	2	—	—	—
6 - 7	—	0	6	32	58	69	57	40	19	3	0	—
7 - 8	0	5	26	65	94	105	88	74	49	20	3	0
8 - 9	6	23	55	96	127	138	117	106	84	46	17	6
9 - 10	21	47	80	120	155	163	144	132	110	70	34	21
10 - 11	37	67	101	137	172	184	159	149	129	86	47	33
11 - 12	46	78	110	150	180	195	172	162	138	91	51	40
12 - 13	48	80	110	147	177	197	169	164	135	90	49	39
13 - 14	41	71	101	140	165	185	163	155	122	80	38	30
14 - 15	26	56	84	121	147	165	147	139	104	60	23	16
15 - 16	10	32	62	95	122	142	125	115	75	34	8	4
16 - 17	1	11	35	63	91	107	99	83	43	10	1	0
17 - 18	—	1	10	33	57	74	66	47	15	1	—	—
18 - 19	—	—	0	8	25	49	34	16	1	—	—	—
19 - 20	—	—	—	0	4	13	9	2	—	—	—	—
20 - 21	—	—	—	—	0	1	0	0	—	—	—	—
Tag	236	471	780	1215	1605	1828	1584	1396	1025	590	270	189

Tabelle 1 Durchschnittliche Stunden- und Tagesmengen der Gesamtstrahlung (J/cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>) in den Niederlanden, 1961-1970

# Licht und Pflanzenwachstum

Dieser Wert ist jedoch noch weiter zu verkleinern, da die Strahlungsmenge im Freien gemessen wurde, während sich die Pflanzen im Innern des Gewächshauses befinden. Um die Lichtmenge im Gewächshaus zu berechnen, sind die folgenden Faktoren zu berücksichtigen: Konstruktion des Gewächshauses (einschl. der Gesamtoberfläche und des Glastyps), Lage des Gewächshauses, Tageszeit und Jahreszeit sowie Alter und Verschmutzungsgrad des Dachmaterials. Für ein modernes Gewächshaus gilt eine mittlere Lichtdurchlässigkeit von 0,70.

Die sichtbare Strahlung innerhalb des Gewächshauses läßt sich dann ausdrücken als:

$$0,70 \times 106 = 74 \text{ J/cm}^2.$$

Abschließend sind noch einige weitere Rechengänge durchzuführen, damit die Berechnung einen Wert ergibt, mit dem die Züchter in der Praxis arbeiten können. Zunächst ist es zweckmäßiger, mit m<sup>2</sup> Gewächshausfläche zu arbeiten.

Da

$$1 \text{ m}^2 = 10.000 \text{ cm}^2 \text{ ist}$$

ergibt sich

$$10.000 \text{ cm}^2/\text{m}^2 \times 74 \text{ J/cm}^2 = 740.000 \text{ J/m}^2$$

Aus Tabelle 1 ist zu ersehen, daß diese Energiemenge in einem Zeitraum von ca. 8 Stunden erhalten wird.

Daraus errechnet sich die Stundenmenge:

$$\frac{740.000}{8} = 92.500 \text{ J/h m}^2.$$

Dieser Wert wird als Intensität bezeichnet.

Da 1 Watt = 1 Joule pro Sekunde ist, ergibt sich

$$1 \text{ W} = 3.600 \text{ J/h oder}$$

$$1 \text{ J/h} = \frac{1 \text{ W}}{3.600}$$

Setzt man diesen Wert in die Formel ein, so ergibt sich:

$$92.500 \text{ J/h m}^2 = \frac{92.500}{3.600} = 25,70 \text{ W/m}^2$$

(sichtbare Strahlung zwischen 400 und 700 nm).

Ausgedrückt in mW/m<sup>2</sup> ergibt sich für den Januarwert von 236 J/m<sup>2</sup> für die Gesamtstrahlung ca. 25.700 mW/m<sup>2</sup> Nutzstrahlung für die Pflanzen im Gewächshaus. Mit diesem Wert kann man nun arbeiten, da er mit der Strahlungseinheit vergleichbar ist, die normalerweise für die künstliche Belichtung verwendet wird. Dabei ergibt sich, daß der ermittelte Wert, wenn er mit den übrigen Wachstumsfaktoren im Gewächshaus in Verbindung gebracht wird, nicht hoch genug ist, um ein zufriedenstellendes Pflanzenwachstum im Gewächshaus zu ermöglichen. Mit anderen Worten, das Licht ist in diesem Fall der Faktor, der das Wachstum einschränkt. Die Tabellen auf Seite 23-28 (Empfehlungen für die Pflanzenbestrahlung) gibt die zusätzliche Lichtmenge an, die notwendig ist, um ein stärkeres Wachstum und eine bessere Qualität der Pflanzen zu erzielen.

Die vorstehenden Berechnungen auf den Wert für den Monat Juni angewendet zeigt folgendes Ergebnis. Die durchschnittliche Tagesmenge für Juni von 1.828 J/cm<sup>2</sup> (siehe Tabelle 1) liefert eine Lichtintensität im Gewächshaus von ca. 100.000 mW/m<sup>2</sup>. Die direkte Formel zur Umwandlung der außerhalb des Gewächshauses gemessenen Menge in J/cm<sup>2</sup> in eine Menge in mW/m<sup>2</sup>, die für Pflanzen innerhalb des Gewächshauses gilt, lautet:

$$1 \text{ J/cm}^2 = \frac{875}{n} \text{ mW/m}^2$$

wobei n = Anzahl der Stunden ist, in der die Tagesstrahlungsmenge verbreitet wird.

Für stark verschmutzte Gewächshäuser (Transmission = 0,30) lautet diese Gleichung dann:

$$1 \text{ J/cm}^2 = \frac{580}{n} \text{ mW/m}^2$$

Abschließend soll noch darauf hingewiesen werden, daß Lampenhersteller ihre Produkte im allgemeinen für Beleuchtungszwecke fertigen. Aus praktischen Gründen, wie z. B. der Tatsache, daß Luxmeter allgemein verwendet werden, ist es daher nicht erstaunlich, daß die Einheit zur Messung der Lichtintensität Lux (= Lumen/m<sup>2</sup>) auch für die Pflanzenbelichtung Anwendung findet. Zur Umrechnung von Lumen in mW/m<sup>2</sup> (für jeden Lampentyp unterschiedlich) siehe Tabelle 4 Seite 34.



Abb. 16 Saatzeit Belichtung mit SGR-200



# Licht und Pflanzenwachstum

## 4. Begriffe und Einheiten aus Pflanzenbestrahlung und Beleuchtungstechnik

Für die Zwecke der Pflanzenbestrahlung müssen die Unterschiede zwischen Strahlungsenergie und Lichtenergie sowie die verschiedenen Begriffe und Einheiten, die in der Pflanzenbestrahlung und der Beleuchtungstechnik verwendet werden, bekannt sein. Die wichtigsten Begriffe aus beiden Gebieten werden einander gegenübergestellt und erläutert; siehe auch Tabelle 2.

### Strahlungsmenge\*:

Ausgesandte, übertragene oder aufgefangene Strahlungsenergie.  
Einheiten: Joule (J), Wattsekunde (Ws).

### Lichtmenge:

Gemäß ihrer Wirkung auf das menschliche Auge bewertete Lichtmenge, die in einem bestimmten Zeitraum ausgestrahlt oder empfangen wird.  
Einheit: Lumensekunde (lms).

### Strahlungsfluß\*:

Gesamte Energiemenge aus einer Strahlungsquelle.  
Einheiten: Joule pro Sekunde (J/s), Watt (W).

### Lichtstrom:

Die ausgestrahlte Lichtleistung, die der gemäß der relativen spektralen Empfindlichkeitskurve des Auges bewerteten Strahlungsleistung entspricht.  
Einheit: Lumen (lm).

### Strahlungsdichte\*:

Die auf eine Fläche auftreffende Strahlungsdichte, d. h. die von einer Fläche aufgefangene Strahlungsenergie.  
Einheiten: Watt pro Quadratmeter ( $\text{W}/\text{m}^2$ ), Milliwatt pro Quadratmeter ( $\text{mW}/\text{m}^2$ ).

### Beleuchtungsstärke:

Die Dichte des auf eine Fläche auftreffenden Lichtstroms.  
Einheiten: Lumen pro Quadratmeter ( $\text{lm}/\text{m}^2$ ), Lux (lx)

### Strahlungsausbeute:

Das Verhältnis des abgegebenen Strahlungsflusses\* einer Strahlungsquelle zur aufgewendeten Leistung, d. h. die in der Lampe stattfindende Umwandlung der elektrischen Energie in Strahlungsenergie.  
Einheiten: Prozent (%), Milliwatt pro Watt ( $\text{mW}/\text{W}$ ).

### Lichtausbeute:

Quotient aus dem abgegebenen Lichtstrom einer Lampe und der aufgewendeten Leistung.  
Einheit: Lumen pro Watt ( $\text{lm}/\text{W}$ ).

\* Für die Pflanzenbestrahlung ist nur der Teil des Spektrums zwischen 400 nm und 700 nm von Bedeutung.

Radiometrische Menge (Strahlungsmenge)		Photometrische Menge (Lichtmenge)	
Begriff	Einheit(en)	Begriff	Einheit(en)
Strahlungsmenge	Joule (J) Wattsekunde (Ws)	Lichtmenge	Lumensekunde (lms)
Strahlungsfluß	Joule pro Sekunde (J/s) Watt (W)	Lichtstrom	Lumen (lm)
Strahlungsdichte	Watt pro Quadratmeter ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) Milliwatt pro Quadratmeter ( $\text{mW}/\text{m}^2$ )	Beleuchtungsstärke	Lumen pro Quadratmeter ( $\text{lm}/\text{m}^2$ ) Lux (lx)
Strahlungsausbeute	Milliwatt pro Watt ( $\text{mW}/\text{W}$ ) in Prozent	Lichtausbeute	Lumen pro Watt ( $\text{lm}/\text{W}$ )

Tabelle 2 Gegenüberstellung von radiometrischen und photometrischen Begriffen und Einheiten

# Anwendungen

Kunstlicht kann im Gartenbau für verschiedene Zwecke eingesetzt werden:

- ☐ Zur Ergänzung des Tageslichts in Gewächshäusern, um so die Intensität der für die Photosynthese notwendigen Strahlung zu erhöhen
- ☐ Zur Verlängerung des Tages (Photoperiodismus)
- ☐ Als Ersatz des Tageslichts in Treibhäusern, in denen Pflanzen unter streng kontrollierten Umweltfaktoren für wirtschaftliche Zwecke gezüchtet werden
- ☐ Als Ersatz des Tageslichts in Labors (Phytotrons), in denen Pflanzen für wissenschaftliche Zwecke gezüchtet werden
- ☐ Zur Beleuchtung im Versandbereich
- ☐ Zur Beleuchtung im Verkaufsraum
- ☐ Zur dekorativen und erhaltenden Beleuchtung



Abb. 17 Belichtung mit Hochdruck-Natriumdampflampen zur Förderung der Photosynthese und des Photoperiodismus



# Anwendungen

## 1. Belichtung zur Förderung der Photosynthese

In Ländern nördlich des 45. Breitengrads auf der Nordhalbkugel und südlich des 45. Breitengrads auf der Südhalbkugel ist die durchschnittliche natürliche Intensität des Tageslichts gering, und während vieler Monate des Jahre sind die Tage kurz. In diesen Gebieten ist das Pflanzenwachstum für mindestens vier Monate, evtl. auch für sechs Monate durch den Lichtmangel eingeschränkt. Daher kann man in diesen Gebieten durch die Verwendung von Kunstlicht zur Ergänzung des Tageslichts das Pflanzenwachstum verbessern.

Neben dem Licht beeinflussen auch noch andere Faktoren, wie z. B. Typ und Menge des verwendeten Düngers, Umgebungs- und Bodentemperatur, Feuchtigkeit,  $\text{CO}_2$ -Gehalt usw. Wachstum und Blüte von Pflanzen. Unter der Voraussetzung, daß diese Faktoren günstig und konstant sind, hängt die Wachstumsrate in einer bestimmten Zeit von der Gesamtmenge der Strahlungsenergie ab, die von der Pflanze in dieser Zeit aufgenommen wird, wobei die Bestrahlungsdosis über lange Zeiträume verteilt werden muß.

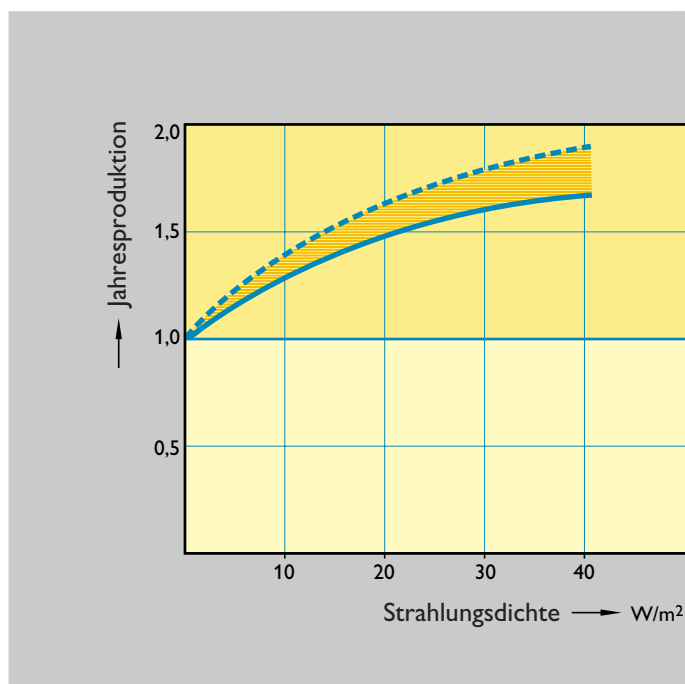


Abb. 18 Jahresproduktion im Verhältnis zur zusätzlichen Bestrahlung mit Kunstlicht für eine durchschnittliche Dauer von 8 Stunden pro Nacht, gezeigt für eine Pflanze mit geringem Lichtbedürfnis (—) und für eine Pflanze mit großem Lichtbedürfnis (-----)

Die Wirksamkeit des Kunstlichts ist jedoch nicht nur abhängig von der Stärke und der Zeitdauer, in der es angewendet wird, sondern ebenso auch von dem Grad, in dem es das Tageslicht ergänzt: mit anderen Worten, vom relativen Anteil des Kunstlichts an der Gesamtmenge an Strahlung, die die Pflanze aufnimmt; siehe Abb. 18.

Eine bestimmte Menge Kunstlicht kann entweder in der Form einer hohen Bestrahlungsstärke für kurze Zeit oder in niedriger Bestrahlungsstärke über längere Zeit angewendet werden. Versuche haben gezeigt, daß die zweite Methode im allgemeinen zu den besseren



Abb. 19 Belichtung mit Hochdruck-Natriumdampflampen zur Förderung der Photosynthese

Ergebnissen führt. Die Empfehlungen, die am Ende dieses Kapitels für die verschiedenen Kulturen gegeben werden, sind allgemeine Richtwerte.

Zu den Kulturen, bei denen Kunstlicht zur Förderung der Photosynthese im gewerblichen Maßstab eingesetzt wird, gehören Gemüse (z. B. Gurken, Tomaten und Kopfsalat), Schnittblumen und verschiedene Topfpflanzen, Sträucher und Bäume. Stärke und Dauer der Bestrahlung sind abhängig von Pflanzenart, Tageslänge, geographischer Breite und Anbaumethode.

Richtig angewendet stimuliert die zusätzliche Belichtung die Assimilation und damit das Wachstum und führt so zu einem kürzeren Produktionszyklus, stärkeren und gesünderen Pflanzen und zu einer früheren Blüte. Außerdem wird der bei starkem natürlichem Licht auftretenden Bildung von Varianten entgegengewirkt. Dadurch werden Kulturzeit und Qualität der Ernteerträge zu besser kalkulierbaren Größen.

Typische Bestrahlungsstärken zur Photosynthese liegen zwischen 500 und 20000  $\text{mW/m}^2$ , was im allgemeinen für die Verwendung von Entladungslampen spricht. Die wirksamste Entladungslampe ist die SON-T AGRO bzw. die SON-T PLUS. Die wichtigste vom Kunstlicht zu erfüllende Forderung ist die, daß ein großer Teil seiner Energie in den Wellenlängenbereichen zwischen 400 und 700 nm liegen soll.

Diese Bedingung ist für die Praxis wichtiger als eine spezifische spektrale Verteilung innerhalb dieser Grenzen; da jede Veränderung im Grad der Photosynthese mehr durch andere Umweltfaktoren als durch die spektrale Verteilung des Kunstlichts ausgelöst wird. Um ein optimales Wachstum zu erreichen, sollten daher Umweltfaktoren wie Temperatur, Feuchtigkeit, Kunstdünger,  $\text{CO}_2$ -Gehalt usw. auf die Stärke und die Dauer der Bestrahlung abgestimmt werden.

# Anwendungen

## 2. Belichtung zur Förderung des Photoperiodismus

Mit künstlicher Belichtung kann die Länge eines Tages auf relativ einfache und billige Weise ausgedehnt werden, da die dazu benötigte Strahlungsdichte lediglich 150 - 400 mW/m<sup>2</sup> beträgt. Besonders für den gewerblichen Züchter ist es interessant, die Blütezeit von Pflanzen durch den Einsatz von Kunstlicht zu manipulieren.

Dazu bieten sich zwei Methoden an: Man kann den Tag verlängern, indem man bei Einbruch der Dämmerung das Kunstlicht für eine bestimmte Zeit einschaltet, die Nacht "unterbrechen", indem man nachts die Belichtung für kurze Perioden einschaltet. Die zweite Methode wird in der Regel bevorzugt, da sie im Hinblick auf den Energieverbrauch wirtschaftlicher ist. Wird das Kunstlicht auch zur Förderung der Photosynthese eingesetzt, so ist jedoch die Verlängerung des Tages die wirksamere Methode.

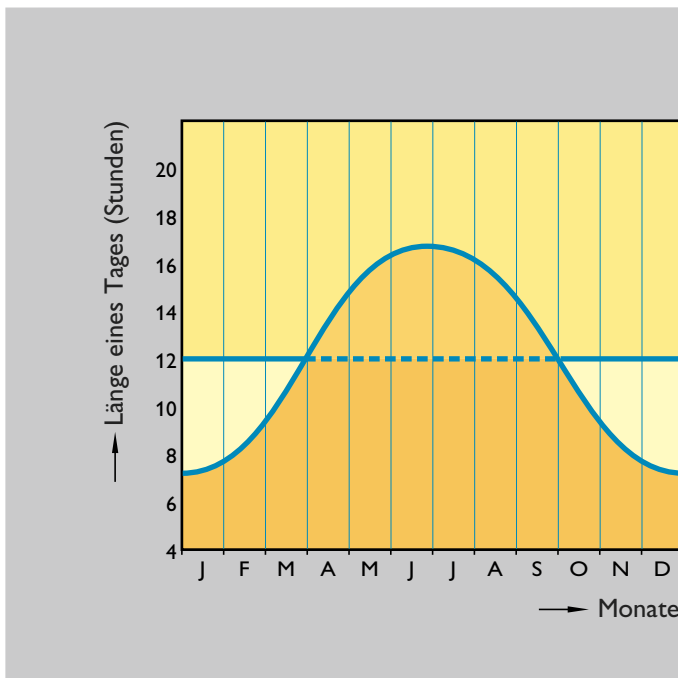


Abb. 20 Der Bedarf an zusätzlichem Licht für den Photoperiodismus im Lauf des Jahres bei einer benötigten Tageslänge von mindestens 12 Stunden. Beispiel für 50° Breite auf der Nord- und Südhalbkugel

Wird Kunstlicht jedoch ausschließlich für Zwecke des Photoperiodismus eingesetzt und wird daher eine niedrige Bestrahlungsstärke für kurze Zeit benötigt, so können auch Glühlampen, SL-Lampen oder PLE-C mit Reflektor verwendet werden.

Eine Verfeinerung der Methode der photoperiodischen Belichtung durch Unterbrechungen der Nacht ist die sog. "zyklische Belichtung". Dabei wird die Nacht in Perioden von Licht und Dunkelheit unterteilt, wobei Licht während 20 bis 30 % der Zeit zur Verfügung steht.

Wenn diese kurzen Zyklen mindestens alle 30 Minuten wiederholt werden, reagiert die Pflanze so, als würde das Licht ständig brennen (dieses Phänomen beruht auf dem sog. Nachwirkungseffekt). Eine Methode, die häufig angewendet wird, besteht darin, das Gewächs-



Abb. 21 Mit Glühlampen bestückte Anlage für photoperiodische Belichtung

haus in drei bis fünf Bereiche zu unterteilen, die während der Unterbrechungen der Nacht nacheinander beleuchtet werden, um so die elektrische Belastung gleichmäßiger zu verteilen; siehe Abb. 15. Die zyklische Belichtung führt z. B. bei Erdbeeren und Chrysanthemen zu ausgezeichneten Ergebnissen.

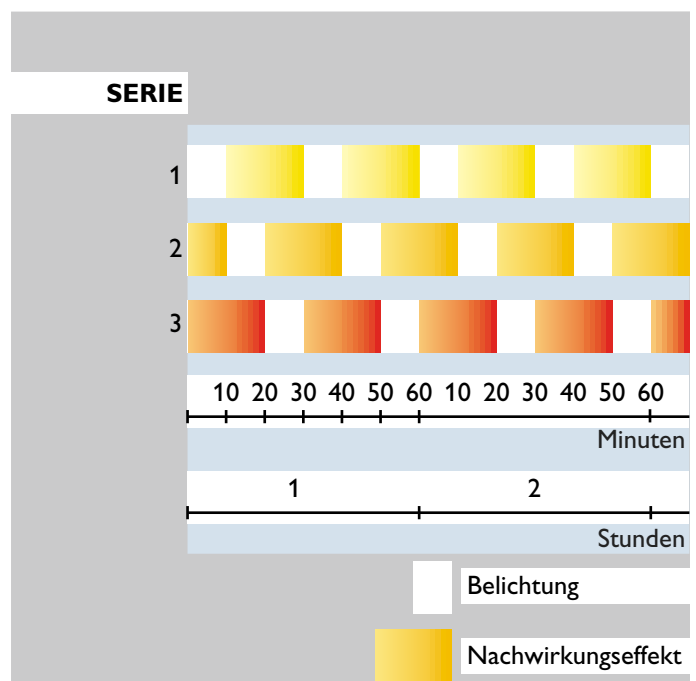


Abb. 22 Beispiel einer zyklischen Belichtung. Drei Kulturserien werden abwechselnd für 10 Minuten bestrahlt, Gesamtzyklusdauer 30 Minuten



# Anwendungen



Abb. 23 Mit SL-AGRO bestückte Anlage für photoperiodische Belichtung

## 3. Kunstlicht als Ersatz des Tageslichts

Zum Ersatz des Tageslichts wird Kunstlicht in sog. Treibräumen eingesetzt, die völlig vom natürlichen Tageslicht abgeschlossen sind.

Die Anzucht in Treibräumen lohnt sich dann, wenn für die Pflanzen eine oder mehrere der folgenden Bedingungen zutreffen:

- ☐ Geringe benötigte Strahlungsdichte bei natürlichen Bedingungen, wie z. B. für Sämlinge und Stecklinge
- ☐ Relativ hohe benötigte Temperaturen, die in einem Gewächshaus aufgrund der unzureichenden Isolierung schlecht erzielt werden können
- ☐ Schnelles Wachstum und deshalb kurze Inanspruchnahme des vorhandenen Raumes
- ☐ Kleine Pflanzen
- ☐ Hohe Preise entweder wegen des Werts der Pflanzen oder weil sie außerhalb der Saison angezogen werden
- ☐ Notwendigkeit der Anzucht in einem gut isolierten Raum aufgrund extremer klimatischer Verhältnisse

Zu den Pflanzen und Anzuchtstechniken, die die obengenannten Bedingungen erfüllen, gehören:

- ☐ Treiben von Tulpen-, Narzissen- und Hyazinthenzwiebeln
- ☐ Treiben von im Frühjahr blühenden Sträuchern, wie Azalee, Hydrangea und Flieder
- ☐ Anzucht von Sämlingen für Topfpflanzen und Schnittblumen, wie z. B. Gloxinie, Calceolaria, Matthiola, Bromelie, Chrysantheme
- ☐ Aufzucht von Gemüsesämlingen, wie Kopfsalat, Tomate, Paprika, Gurke
- ☐ Wurzelbildung bei Stecklingen von Nelke, Chrysantheme, Pelargonium und anderen blühenden Pflanzen
- ☐ Anzucht von jungen Topfpflanzen wie Begonie, Chrysantheme, Saintpaulia, Bromelia
- ☐ Gewebekulturen



Abb. 24 Gewebekultur-Betrieb in Bremen, Bundesrepublik Deutschland. Die Anlage besteht aus 210 TL-D HF-Lampen 50 W, Farbe 830. Das HF-Lichtregelsystem wurde gewählt, da die hier gezogenen Pflanzenarten verschiedene Bestrahlungsstärken und Bestrahlungszeiten benötigen



# Anwendungen

## 4. Phytotrons

Phytotrons, die für landwirtschaftliche und biologische Forschungszwecke verwendet werden, bieten den Pflanzen 100%ig kontrollierte Umweltbedingungen. In diesen Räumen stehen das Licht und andere das Pflanzenwachstum beeinflussende Faktoren in Bezug auf Menge und Qualität jederzeit voll unter Kontrolle.

In einem Phytotron können Beleuchtungsstärken benötigt werden, die dem Sonnenlicht im Sommer entsprechen (ca. 100.000 Lux, was einer Strahlungsdichte von 300.000 mW/m<sup>2</sup> entspricht), die spektrale Verteilung muß an die unterschiedlichsten Bedingungen angepaßt werden können.

Abb. 25

Phytotron für Pflanzenforschungszwecke an der Fakultät für Gartenbau der Landwirtschaftlichen Universität Wageningen, Niederlande. Kunstlichtbelichtung in einer abgehängten Decke (3,5 x 5,5 m) mit 25 Reflektorleuchten, die mit 250 W-/400 W-Hochdruck-Natriumdampflampen und Metall-Halogenidlampen bestückt sind. Das Belichtungssystem kann auf verschiedene Strahlungsdichten geschaltet werden. Maximale Strahlungsdichte: 45.000 mW/m<sup>2</sup>



## 5. Beleuchtung im Versandbereich

Für den Versandbereich gelten andere Gesichtspunkte für die Beleuchtung als im Gewächshaus. Hier geht es nicht mehr um Pflanzenwachstum, sondern um Zusammenstellung der Waren – Schnittblumen, Topfpflanzen usw. – unter den Gesichtspunkten Farbe, Qualität, Markt und Preissegment.

Die Beleuchtung muß daher auf die Tätigkeiten der Beschäftigten ausgerichtet werden, d.h. die Farbwiedergabe muß sehr gut sein, das Beleuchtungsniveau muß 500 - 750 lx betragen, die Beleuchtung sollte möglichst gleichmäßig sein, es darf keine Blendung durch die Leuchten entstehen und Reflexblendung von den Sortiertischen muß vermieden werden.



Abb. 26 Qualitätskontrolle unter TL-D de Luxe Leuchtstofflampe



Abb. 27 Sortieren der zum Versand bestimmten Schnittblumen

# Anwendungen

Für die Anlage ergibt sich daraus:

- ☐ Leuchtstofflampen TL-D de Luxe Lichtfarbe 930 oder mindestens TL-D Super 80 Lichtfarbe 830
- ☐ Leuchtenanordnung quer zu den Tischen, längs zur Blickrichtung in einem Abstand, der hohe Gleichmäßigkeit garantiert und ein Beleuchtungsniveau von 500 - 750 lx einhält
- ☐ Bezüglich der Blendung eignen sich einlampige Reflektorleuchten oder zweilampige Reflektorleuchten mit zusätzlichem Raster

## 6. Beleuchtung im Verkaufsbereich

Der Verkaufsbereich für Produkte des Erwerbsgartenbaus kann sehr unterschiedlich sein. Er reicht vom Verkaufsgewächshaus bis zum Ladengeschäft mit Boutiquen-Charakter. Entsprechend den unterschiedlichen Raumarten und Anforderungen müssen auch die Kriterien für eine gute Beleuchtung unterschiedlich gewichtet werden.

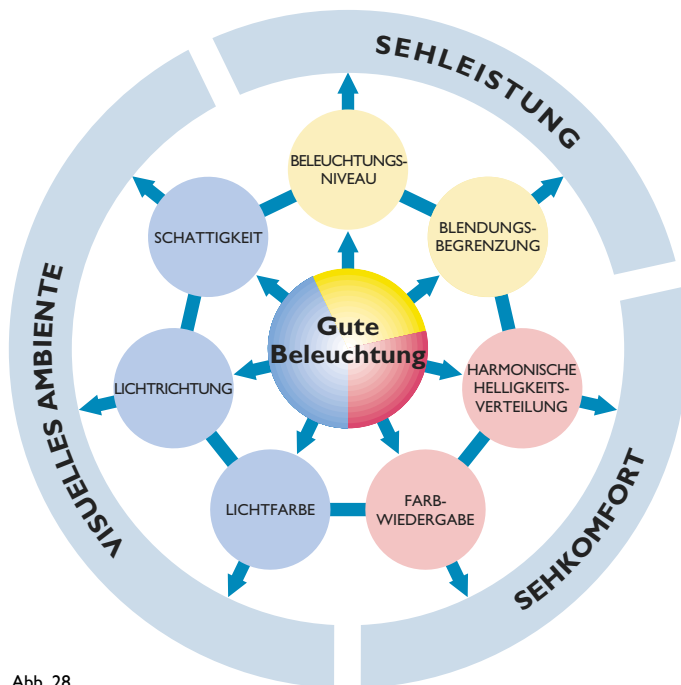


Abb. 28

Mit der Sehleistung wird die Tätigkeit des Auges, Helligkeits- und Formstrukturen der Umwelt mehr oder weniger schnell erfassen und wahrnehmen können, beschrieben. Sehkomfort bedeutet Sehen unter angenehmen Bedingungen. Das visuelle Ambiente ist das Erleben der gesamten Raumwirkung. Jedes dieser drei Kriterien wird durch die sieben Gütegesichtspunkte guter Beleuchtung, Beleuchtungsniveau, Blendungsbegrenzung, harmonische Helligkeitsverteilung, Farbwiedergabe, Lichtfarbe, Lichtrichtung und Schattigkeit, beeinflusst.

Die Sehleistung wird vorwiegend bestimmt durch das Beleuchtungsniveau und die Güteklasse der Blendungsbegrenzung, der Sehkomfort vorwiegend durch die Helligkeitsverteilung sowie die Farbwiedergabe und das visuelle Ambiente vorwiegend durch die Lichtfarbe der Lampen sowie die Verteilung von Licht und Schatten.

Bei der Planung einer Beleuchtungsanlage müssen Prioritäten gesetzt werden. Unterschiedliche Nutzung eines Raumes stellt auch unterschiedlich gewichtige Ansprüche an die drei visuellen Parameter der

Beleuchtung, die Sehleistung, den Sehkomfort und das visuelle Ambiente und deren wechselseitiges Zusammenwirken bzw. deren Verkettung lassen sich an einem sogenannten Prioritätendreieck darstellen.

Die Sehleistung ist bevorzugt beeinflusst durch Beleuchtungsniveau und Blendungsbegrenzung, der Sehkomfort durch harmonische Helligkeitsverteilung und Farbwiedergabe, das visuelle Ambiente durch Lichtfarbe, Lichtrichtung und Schattigkeit.



Abb. 29



Abb. 30

# Anwendungen

## Empfehlungen zur Pflanzenbestrahlung

Pflanzenart		Erforderliche Strahlungsdichte mW/m <sup>2</sup>	Lampen- typ*	Jährl. Bestrahlungs- periode	Bestrahlungs- zeit pro Tag (einschl. Tageslicht)	Zweck und Methode
<b>Schnittblumen und Topfpflanzen</b>						
Adiantum	Topfpflanzen	6.000	SON-T	Winter	16 - 18 Std.	Verbesserung des vegetativen Wachstums
Alstroemeria	Schnittblumen	250	Glüh- od. SL-Lampe	Mitte Jan.-Febr.	10 min. - 1/2 Std.	Vorverlegung der Blütezeit
		3.000 - 5.000	SON-T	Jan.-März	14 Std.	Vorverlegung der Blütezeit, bessere Qualität, Produktionssteigerung
Anthirrhium	Sämlinge	12.000	SON-T	Winter	14 - 16 Std.	Verbesserung des vegetativen Wachstums und Vorverlegung der Blütezeit, ca. 4 Wochen
Aphelandra	Sämlinge	23.000	TL	Winter	18 - 20 Std.	Anzucht von Sämlingen in Treibhäusern
	junge Pflanzen	1.100	TL	Winter	14 - 16 Std.	Verbesserung des vegetativen Wachstums und Vorverlegung der Blütezeit
Aster (chinesische Aster)	junge Pflanzen	3.000 - 5.000	SON-T	Jan. - März	16 Std., gefolgt von kurzen Tagen	Verbesserung des vegetativen Wachstums und Vorverlegung der Blütezeit. Kurze Tage nach Beginn der Knospenbildung
Aster	Schnittblumen	4.000 - 6.000	SON-T	Winter	16 Std.	Verbesserung des vegetativen Wachstums und Vorverlegung der Blütezeit
Aspleniumnidus	Topfpflanzen	6.000	SON-T	Winter	16 - 18 Std.	Verbesserung des vegetativen Wachstums, kürzere Kulturzeit
Begonia: elator Lorraine rex rieger	Rhizompflanzen	7.000 - 9.000	SON-T	Winter	16 Std.	Verbesserung des vegetativen Wachstums, Verlangsamung der Blütezeit
	Ableger und Topfpflanzen	300	TL	Winter	16 Std.	
Blattpflanzen	Stecklinge und junge Pflanzen	6.000 - 9.000	SON-T	Winter	16 - 18 Std.	Wurzelbildung von Stecklingen, Verbesserung des vegetativen Wachstums
Bromelia: Achmea Guzmania Neoregelia Vriesia	Sämlinge und junge Pflanzen	6.000 - 7.000	SON-T	Sept. - April	16 - 18 Std.	Anzucht von Sämlingen, Verbesserung des vegetativen Wachstums, kürzere Kulturzeit
Calceolaria Hybriden	Topfpflanzen	1.000	TL	Mitte Nov. - Mitte März	16 - 24 Std.	Vorverlegung der Blütezeit
Camelia japonica	junge Pflanzen	4.500	SON-T	Sept. - April	12 - 14 Std.	Qualitätsverbesserung, Vorverlegung der Blütezeit

\* TL = Leuchtstofflampe, SON-T = Hochdruck-Natriumdampflampe

Tabelle 3 Empfehlungen zur Pflanzenbestrahlung

# Anwendungen

## Empfehlungen zur Pflanzenbestrahlung

Pflanzenart		Erforderliche Strahlungsdichte mW/m <sup>2</sup>	Lampen- typ*	Jährl. Bestrahlungs- periode	Bestrahlungs- zeit pro Tag (einschl. Tageslicht)	Zweck und Methode
Campanula isophylla	Topfpflanzen	1.000 - 2.000	TL/SON-T	Jan. - März	16 - 24 Std.	Vorverlegung der Blütezeit, mehr Stecklinge
Chrysantheme	Rhizompflanzen	6.000	SON-T	Sept. - April	18 - 20 Std. (einschl. photo- periodischer Belichtung)	Verbesserung des vegetativen Wachstums zur Anzucht hochwertiger Stecklinge
	Stecklinge	6.000 - 7.000	SON-T	Sept. - April	18 - 20 Std. (einschl. photo- periodischer Belichtung)	Verbesserung des vegetativen Wachstums zur Anzucht hochwertiger Stecklinge
	Schnittblumen	4.000	SON-T	ganzjährig	18 - 20 Std., später 12 - 14 Std. photo- periodischer Belichtung	Verbesserung des vegetativen Wachstums zur Anzucht, Vorverlegung der Blütezeit, verbesserte Qualität
	Topfpflanzen	6.000 - 7.000	SON-T	Sept. - April	18 - 20 Std. (einschl. photo- periodischer Belichtung)	Verbesserung des vegetativen Wachstums, kürzere Kulturzeit
Cineraria	Topfpflanzen	1.100	TL	ab Mitte Jan.	18 Std.	Nach der Knospenbildung wird eine Vorverlegung der Blütezeit um 2-4 Wochen erreicht
Coleus- Hybriden	Topfpflanzen	6.000	SON-T	Winter	16 Std.	Verbesserung des vegetativen Wachstums
Columneo	Topfpflanzen	4.000 - 6.000	SON-T	Winter	16 - 18 Std.	Verbesserung des vegetativen Wachstums, frühere und reichlichere Blüte
Cordylone	Topfpflanzen	6.000	SON-T	Winter	18 Std.	Verbesserung des vegetativen Wachstums, gute Farbqualität
Croton	Topfpflanzen	6.000	SON-T	Winter	16 - 18 Std.	Verbesserung des vegetativen Wachstums, gute Farbqualität
Cyclamen persicum	Sämlinge und Topfpflanzen	6.000	SON-T	Nov. - Febr.	18 Std.	Anzucht von Sämlingen und Verbesserung des vegetativen Wachstums
Dahlie	Schnittblumen	400	TL	Winter	2 Std. nachts	Vorverlegung der Blütezeit
Dianthus (Gartennelke)	Rhizompflanzen	6.000	SON-T	Sept. - April	16 - 18 Std.	Verbesserung des vegetativen Wachstums für hochwertige Stecklinge
	Stecklinge	6.000	SON-T	Sept. - April	16 - 18 Std.	Verbesserung des vegetativen Wachstums und kürzere Kulturzeit, Wurzelbildung von Stecklingen
	Schnittblumen	250 - 400	Glüh- od. SL-Lampe	Sept. - April	16 - 24 Std.	Vorverlegung der Blütezeit

\* TL = Leuchtstofflampe, SON-T = Hochdruck-Natriumdampflampe



# Anwendungen

## Empfehlungen zur Pflanzenbestrahlung

Pflanzenart		Erforderliche Strahlungsdichte mW/m <sup>2</sup>	Lampen- typ*	Jährl. Bestrahlungs- periode	Bestrahlungs- zeit pro Tag (einschl. Tageslicht)	Zweck und Methode
Dianthus barbatus	Schnittblumen	4.000 - 6.000	SON-T	Winter	16 Std.	Verbesserung des vegetativen Wachstums, Vorverlegung der Blütezeit
Euphorbia: fulgens	Schnittblumen	200	Glüh- od. SL-Lampe	Aug. - Jan.	3 Std. nachts	Vorverlegung der Blütezeit
pulcherima (Poinsettia)	Topfpflanzen	300	Glüh- od. SL-Lampe	Okt. für 2-3 Wochen	2 - 3 Std. nachts	Verlegung der Knospenbildung in die Weihnachtszeit
milli (=splendens)	Topfpflanzen	1.100	TL	Okt. - April	16 Std.	Verbesserung des vegetativen Wachstums, ganzjährige Kultur
Ficus	Topfpflanzen	6.000	SON-T	Winter	16 - 18 Std.	Verbesserung des vegetativen Wachstums
Freesia	Schnittblumen	3.500 - 5.500	SON-T	Winter	14 Std.	Verbesserung des vegetativen Wachstums, Vorverlegung der Blütezeit, mehr Blumen von höherer Qualität
Freiland- zierpflanzen	Sämlinge und junge Pflanzen	6.000 - 10.000	TL/SON-T	Jan. - März	16 Std.	Anzucht von Sämlingen, Verbesserung des vegetativen Wachstums und Vorlegung der Blütezeit in Gewächshäusern und Treibhäusern
Fuchsia hybrida	Topfpflanzen	1.200	TL	Sept. - Okt.	4 Std. nachts	Vorverlegung der Blütezeit
Gehölze	Sämlinge und Stecklinge	9.000	SON-T	Aug- März	18 - 24 Std.	Anzucht von Sämlingen und Wurzel- bildung von Stecklingen, Beschleunigung des Wachstums
(Bäume und Sträucher)	junge Bäume	10.000 - 15.000	SON-T	Aug.. - März	18 - 24 Std.	Ausschaltung der Ruheperiode, Wachstumsbeschleunigung
Gerbera	junge Pflanzen	9.000	SON-T	Winter	16 Std.	Wurzelbildung der jungen Pflanzen, Verbesserung des vegetativen Wachstums, kürzere Kulturzeit
Gesneria	Sämlinge	6.000	SON-T	Nov. - Febr.	18 - 20 Std.	Anzucht von Sämlingen, Verbesse- rung des vegetativen Wachstums
Gladiolus	Schnittblumen	8.000 - 10.000	SON-T	Jan. - März	16 Std.	Vorverlegung der Blütezeit, Verbesse- rung des vegetativen Wachstums
Gypsophyllia	Schnittblumen	9.000	SON-T	Winter	16 - 24 Std.	Vorverlegung der Blütezeit, Verbesse- rung des vegetativen Wachstums
Hedera	Topfpflanzen Rhyzompflanzen Stecklinge	4.000 - 6.000	SON-T	Winter	16 - 18 Std.	Verbesserung des vegetativen Wachstums

\* TL = Leuchtstofflampe, SON-T = Hochdruck-Natriumdampflampe



# Anwendungen

## Empfehlungen zur Pflanzenbestrahlung

Pflanzenart		Erforderliche Strahlungsdichte mW/m <sup>2</sup>	Lampen- typ*	Jährl. Bestrahlungs- periode	Bestrahlungs- zeit pro Tag (einschl. Tageslicht)	Zweck und Methode
Hydrangea macrophylla (Hortensie)	Topfpflanzen	1.500 - 2.500	TL	ab Dez.	12 - 16 Std.	Verbesserung des vegetativen Wachstums
Hypoestes- teniata	Topfpflanzen	5.000 - 7.000	SON-T	Winter	16 - 18 Std.	Verbesserung des vegetativen Wachstums, gute Farbqualität
Ixia	Schnittblumen	5.000 - 7.000	SON-T	Winter	16 Std.	Verbesserung des vegetativen Wachstums, Vorverlegung der Blütezeit
Kakteen	Sämlinge und junge Pflanzen	14.000-18.000	SON-T	Sept. - April	16 - 18 Std.	Anzucht von Sämlingen, Verbesserung des vegetativen Wachstums, kürzere Kulturzeit
Kalanchoe blossfeldiana	Rhizompflanzen und Stecklinge Topfpflanzen	4.000	TL/SON-T	Jan. - März	18 - 20 Std.	Verlangsamung der Knospenbildung, Verbesserung des vegetativen Wachstums, kürzere Kulturzeit
Liatris	Schnittblumen	5.000 - 7.000	SON-T	Winter	16 Std.	Verbesserung des vegetativen Wachstums, Vorverlegung der Blütezeit
Lilium longiflorum	Schnittblumen	3.000 - 5.000	SON-T	Winter	16 - 24 Std.	Verhütung des Abfallens von Knospen, Verbesserung des vegetativen Wachstums
Lilium M.C. Hybriden "Enchantment"	Schnittblumen	8.000 - 10.000	SON-T	nach 6 Wochen ununterbrochene Belichtung für 4 Wochen	24 Std. über 4 Wochen	Nach der Knospenbildung werden ständige Blüte und vegetatives Wachstum verbessert. Kürzere Kulturzeit
Lilium speciosum Uchida Brabander	Schnittblumen	300 - 500	Glüh-oder SL-Lampe	Winter	16 Std.	Vorverlegung der Blütezeit
Matthiola incana (Rhizompflanzen)	Schnittblumen	5.000 - 6.000	SON-T	Winter	16 - 24 Std.	Verbesserung des vegetativen Wachstums, Vorverlegung der Blütezeit, kürzere Kulturzeit
Matricaria	Schnittblumen	4.000 - 6.000	SON-T	Winter	16 Std.	Verbesserung des vegetativen Wachstums, Vorverlegung der Blütezeit
Nephrolepis	Topfpflanzen Rhizompflanzen	5.000 - 7.000	SON-T	Winter	16 - 18 Std.	Verbesserung des vegetativen Wachstums
Orchis: Cattleya Cymbidium Cyperidium Odontoglossum Paphiopedilum Phalaenopsis	Sämlinge junge Pflanzen	7.000 - 9.000	SON -T	Sept. - April	16 Std.	Verbesserung des vegetativen Wachstums, Vorverlegung der Blütezeit, hochwertige Blüten

\* TL = Leuchtstofflampe, SON-T = Hochdruck-Natriumdampflampe

# Anwendungen

## Empfehlungen zur Pflanzenbestrahlung

Pflanzenart		Erforderliche Strahlungsdichte mW/m <sup>2</sup>	Lampen- typ*	Jährl. Bestrahlungs- periode	Bestrahlungs- zeit pro Tag (einschl. Tageslicht)	Zweck und Methode
Pelargonium	Rhizompflanzen	7.000 - 9.000	SON-T	Winter	16 - 18 Std.	Verbesserung des vegetativen Wachstums
	Stecklinge	9.000	SON-T	Winter	16 - 18 Std.	Wurzelbildung von Stecklingen, bessere Qualität der jungen Pflanzen, kürzere Kulturzeit
Rosa hybrida	Schnittblumen	9.000 - 14.000	SON-T	Winter	24 Std.	Größere Erträge an hochwertigen Blumen
Saintpaulia ionantha	Rhizompflanzen Stecklinge und Topfpflanzen	5.000 - 6.000	SON-T	Winter	16 - 18 Std.	Verbesserung des vegetativen Wachstums zur Produktion hochwertiger Stecklinge, Vorverlegung der Blütezeit, kürzere Kulturzeit
Saxifraga Cotyledon pyramidalis	Topfpflanzen	400	Glüh-oder SL-Lampe	3 Wochen ab Mitte Febr.	3 - 4 Std. (Nachtunterbrechung)	Vorverlegung der Blütezeit, 3 - 4 Wochen
Sinningia (Gloxinie)	Sämlinge und junge Pflanzen	7.000 - 9.000	SON-T	Nov. - Febr.	16 Std.	Anzucht von Sämlingen, Verbesserung des vegetativen Wachstums, Vorverlegung der Blütezeit
Spathiphyllum	Topfpflanzen	6.000	SON-T	Winter	16 Std.	Verbesserung des vegetativen Wachstums, frühere Blütezeit
Sukkulenten	Sämlinge und junge Pflanzen	9.000 - 14.000	SON-T	Winter	16 - 18 Std.	Anzucht von Sämlingen, Verbesserung des vegetativen Wachstums
Zwiebeln Tulpe Hyazinthe Narzisse Krokus	Zwiebeln	3.000 - 5.000	TL/SON-T	Dez. - Febr.	12 Std. ohne Tageslicht	Schnellere Blütezeit

\* TL = Leuchtstofflampe, SON-T = Hochdruck-Natriumdampflampe

# Anwendungen

## Empfehlungen zur Pflanzenbestrahlung

Pflanzenart		Erforderliche Strahlungsdichte mW/m <sup>2</sup>	Lampen- typ*	Jährl. Bestrahlungs- periode	Bestrahlungs- zeit pro Tag (einschl. Tageslicht)	Zweck und Methode
<b>Früchte und Gemüse</b>						
Auberginen	Sämlinge	20.000 - 40.000	TL	ganzjährig	16 - 18 Std. (ohne Tageslicht)	Produktion von Sämlingen in Treibhäusern
	junge Pflanzen	6.000	SON-T	Winter	14 - 16 Std.	Verbesserung des vegetativen Wachstums, frühere Ernte
Erdbeeren	Frucht- produktion	200 - 350	Glüh-oder SL-Lampe	Jan. - Febr.	15 min pro Std. (350 mW/m <sup>2</sup> ) 8 Std. pro Nacht ununterbrochen (200 mW/m <sup>2</sup> )	Vorverlegung der Blütezeit, größere Ernteerträge von besserer Qualität
Getreide	Sämlinge und junge Pflanzen	50.000 - 60.000	SON-T	Winter	16 Std. (ohne Tageslicht)	Produktion von Sämlingen in Treib- räumen
Grüne Bohnen	junge Pflanzen	9.000	SON-T	Okt. - Febr.	16 Std.	Verbesserung des vegetativen Wachstums, frühere Ernte, größere Erträge
Gurken	Sämlinge und junge Pflanzen	3.500 - 6.000	SON-T	Okt. - März	16 Std.	Verbesserung des vegetativen Wachstums, kürzere Kulturzeit
Kopfsalat	Samen- produktion	45.000 - 60.000	SON-T	Winter	16 Std.	Beschleunigung der Kulturzeit um das 4-5 fache
	Sämlinge und junge Pflanzen	25.000	SON-T/TL	Winter	24 Std. (Treibräume)	Verbesserung des vegetativen Wachstums, kürzere Kulturzeit
	Produktion von Salatköpfen	7.000 - 9.000	SON-T	Winter	16 Std. (Gewächshäuser)	Verbesserung des vegetativen Wachstums, kürzere Kulturzeit
Rote Beete	Sämlinge und junge Pflanzen	10.000 - 15.000	SON-T	Sept. - April	16 Std.	Verbesserung des vegetativen Wachstums, kürzere Kulturzeit
Tomaten	junge Pflanzen	6.000 20.000	SON-T TL	Okt. - Febr. Winter	14 Std. 14 Std. (ohne Tageslicht)	Verbesserung des vegetativen Wachstums, kürzere Kulturzeit (2 Wochen), höhere Erträge von besserer Qualität

\* TL = Leuchtstofflampe, SON-T = Hochdruck-Natriumdampflampe

# Anlagen aus der Praxis

## 1. Wirtschaftliche Aspekte

Für den gewerblichen Pflanzenzüchter wird die Entscheidung, ob eine Pflanzenbelichtungsanlage installiert werden soll, weitgehend vom Ergebnis der Kosten-Nutzen-Analyse abhängen. Die zusätzlichen Gewinne, die mit einer solchen Anlage erzielt werden, sind das Ergebnis

- ☐ einer höheren Qualität der Kulturen,
- ☐ eines höheren Ertrags pro Fläche,
- ☐ kürzerer Anzuchtzeiten,
- ☐ einer Vermarktung der Kulturen zu dem Zeitpunkt, an dem die höchsten Preise erzielt werden können.

Zu diesen Hauptargumenten kommen noch weitere Vorteile, wie z. B. Vereinfachung der Produktionsplanung, was eine bessere Verteilung der Arbeit über das Jahr ermöglicht, bessere Kontrolle des Wachstumsprozesses und Beschleunigung des Ernte- und Sortiervorgangs; dadurch können die Betriebsanlagen effizienter genutzt und bessere Ergebnisse erzielt werden.

Im Frühstadium der Planung einer Pflanzenbelichtungsanlage ist eine Aufgliederung der Anlagekosten und der Betriebskosten vorzunehmen. Auf diese Weise erhält man einen Überblick über die relative Wirtschaftlichkeit verschiedener Lösungsmodelle.

Die Gesamtkosten lassen sich unterteilen in:

- ☐ Anlaufkosten: dazu gehören die Kosten für Lampen, Leuchten, Abhängung/Unterkonstruktion, Verkabelung und Installation
- ☐ Betriebskosten: dazu gehören die jährliche Abschreibung der Anlage (ohne Lampenkosten), Energiekosten (unter Berücksichtigung der Differenz zwischen dem normalen Tarif und dem Schwachlasttarif, den viele Elektrizitätsversorgungsunternehmen anbieten), Lampenersatzkosten, Reinigungs- und Wartungskosten.



Abb. 37 Gesamtenergieanlage für Stromerzeugung und Beheizung

Einige Kostenwerte sind beim Hersteller der Anlage zu erfahren, andere dagegen sind stark von den örtlichen Bedingungen abhängig und können daher nur vor Ort ermittelt werden.

Zu den letztgenannten gehören als größter Einzelposten die Betriebskosten, insbesondere die Stromkosten. Der Energieverbrauch der Belichtungsanlage sollte aber nicht isoliert betrachtet werden. Die Gesamtenergie wird schließlich in Wärme umgewandelt, so daß die

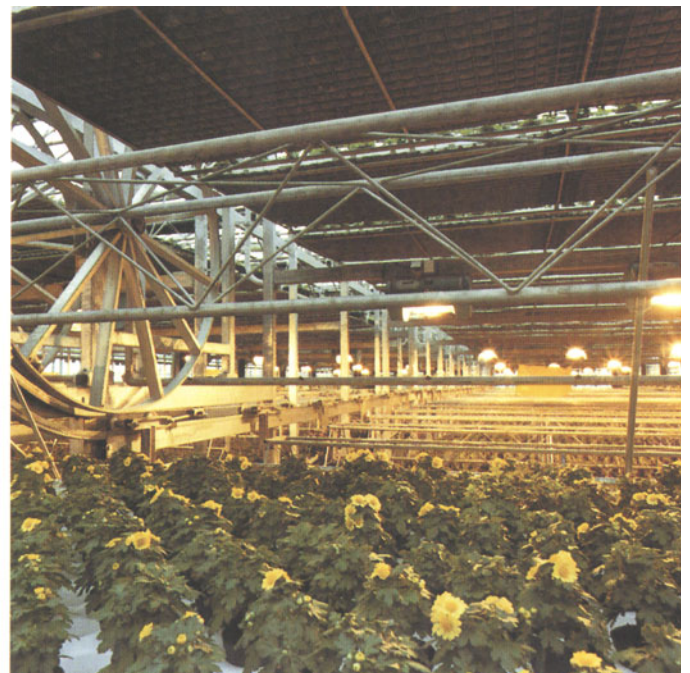


Abb. 38/39 Rotierende Mehrlagensysteme mit SGR-200-Leuchten mit Hochdruck-Natriumdampflampen



# Anlagen aus der Praxis



Abb. 40/41 Zweischantanlagen mit SGR-200 Leuchten mit Hochdruck-Natriumdampflampen



für die Belichtungsanlage notwendige Energie auch zur Beheizung des Gewächshauses beiträgt. Außerdem kann, da das Gewächshaus weniger auf Tageslicht angewiesen ist, eine bessere Wärmeisolierung vorgesehen werden – u. a. Isolierverglasung, Energieschirm, was zu erheblichen Einsparungen des Gesamtenergiebedarfs führt. Daher kann ein gut isolierter Treibraum, der völlig vom Tageslicht abgeschlossen ist, u. U. eine wirtschaftliche Alternative zu einem traditionellen, mit zusätzlicher Belichtung ausgestatteten Gewächshaus darstellen.

Die totale Integration von Belichtung und Beheizung ist die sog. "Gesamtenergieanlage" (Blockheizkraftwerk), bei der der gesamte Bedarf an Wärme und Elektrizität für einen Gewächshauskomplex in einer einzigen elektrischen Zentrale erzeugt wird (Abb. 36).

Ein weiterer wichtiger Anteil der Betriebskosten entfällt auf den Ersatz schadhafter Lampen. Neben dem Beschaffungspreis der Lampen ist auch die wirtschaftliche Lampenlebensdauer zu berücksichtigen, die für die einzelnen Lampentypen beträchtlich schwankt.

Die wirtschaftliche Lebensdauer einer Lampe berechnet sich nach der Brenndauer bis zu dem Zeitpunkt, an dem ein bestimmter Prozentsatz von Lampen ausfällt (Ausfallquote) und der Brenndauer bis zu dem Zeitpunkt, an dem die durchschnittliche Lichtausbeute auf ein unwirtschaftlich niedriges Niveau abfällt (Lampenalterung).

Um die Energie noch besser zu nutzen, wurden rotierende Mehrschichtensysteme entwickelt. Jedoch bedarf es hier einer sehr genauen Kostenanalyse über einen längeren Zeitraum, da die Einsparung an Energiekosten und Raumnutzung leicht von den Anschaffungs- bzw. Kapitalkosten und den Betriebskosten aufgezehrt werden.

Alternativ hierzu gibt es auch stationäre Zweischantanlagen, bei denen die obere Schicht mit SON-T-Lampen, die untere Schicht mit Leuchtstofflampen oder mit SON-T-Lampen in der Philips SGR 200 Leuchte belichtet werden.



Abb. 42/43 Beispiele für den Einsatz von Energievorhängen in Kombination mit Pflanzenbelichtungssystemen





# Anlagen aus der Praxis

## 2. Kalkulation und Planung

In der Pflanzenbelichtung werden im allgemeinen die gleichen Planungs- und Berechnungsmethoden angewandt wie auf anderen Gebieten der Lichttechnik. Es muß jedoch anstelle der Berechnung der Beleuchtungsstärke in Lux die Menge der Strahlungsenergie im sichtbaren Teil des Spektrums (400 - 700 nm), die von der Pflanze aufgenommen wird, berechnet werden. Bei diesem Wert handelt es sich um die "Strahlungsdichte", die in mW/m<sup>2</sup> ausgedrückt wird.

Für jeden Lampentyp besteht ein festgelegter Faktor für die Umrechnung von Beleuchtungsstärke in Strahlungsdichte. Diese Faktoren sind in Tabelle 3, Spalte 4 für die im Gartenbau am häufigsten verwendeten Lampentypen angegeben. So beträgt z.B. der Umrechnungsfaktor für eine Hochdruck-Natriumdampflampe 2,3.

Das bedeutet, daß für diesen Lampentyp zur Erzielung einer Strahlungsdichte von z.B. 9.000 mW/m<sup>2</sup> eine horizontale Beleuchtungsstärke von

$$9.000 : 2,3 = 3.900 \text{ Lux benötigt wird.}$$

Während für die Planung neuer Anlagen zur Pflanzenbestrahlung die Strahlungsdichte in mW/m<sup>2</sup> die geeignetste Berechnungsgrundlage darstellt, ist zur Messung der erzielten Strahlungsstärke in vorhandenen Anlagen die Beleuchtungsstärke in Lux in der Regel die zweckmäßigere Maßeinheit. Das liegt darin, daß zwar Instrumente zur direkten Messung der Strahlungsdichte vorhanden sind, daß diese aber im Vergleich zu den weitverbreiteten Luxmetern relativ teuer und daher nicht überall vorhanden sind.

Für jeden Lampentyp gibt es einen Umrechnungsfaktor, ausgedrückt in mW/lm, mit dem man aus dem Lichtstrom den Strahlungsfluß errechnen kann; siehe Tabelle 3, Spalte 4.

Bei der allgemeinen Beleuchtungstechnik kommt es nicht in erster Linie auf eine hohe Gleichmäßigkeit an, in der Pflanzenbelichtung muß die Gleichmäßigkeit innerhalb enger Grenzen liegen. Empfohlen wird ein Gleichmäßigkeitsverhältnis  $E_{\min}/E_{\max}$  (Strahlungsdichte) von 0,7 oder mehr. Je höher die Gleichmäßigkeit der Strahlungsdichte, umso homogener wird das Wachstum der Pflanzen und umso einfacher die Ernte.

Dieses erfordert spezielle Leuchten, die mit einer besonderen Spiegeloptik ausgestattet sind, die einen hohen Grad von Gleichmäßigkeit über eine weite Fläche garantieren. Die Belichtungsanlage sollte dieses Element soweit wie möglich ausnutzen, sowohl im Hinblick auf die Beleuchtungstechnik als auch auf die Wirtschaftlichkeit.

In unserem Lighting Design and Engineering Centre (LIDEC) werden Belichtungsanlagen mit einem speziellen Computerprogramm entworfen. In den meisten Fällen ist es jedoch möglich, von einem der Standardpläne aus der Reihe unserer mit Computerhilfe erstellten Standardbelichtungsentwürfen auszugehen.

In diesen Plänen werden Typ und Anordnung von Leuchten, die zur Erzielung eines bestimmten Strahlungsniveaus und einer bestimmten Gleichmäßigkeit auf einer vorgegebenen Kulturfläche benötigt werden, aufgeführt (Abb. 44).

In einem Gewächshaus werden die Leuchten in der Regel so montiert, daß von vorgegebenen Befestigungspunkten wie Dachträgern, Röhren usw. Gebrauch gemacht werden kann. In vielen europäischen Ländern ist der Abstand zwischen den längslaufenden Dachträgern genormt und beträgt 3,05 m oder ein Vielfaches dieses Wertes. Die meisten in den Standardbelichtungsplänen für die Pflanzenbelichtung genannten Beispiele basieren auf diesen Standard-Modulgrößen.

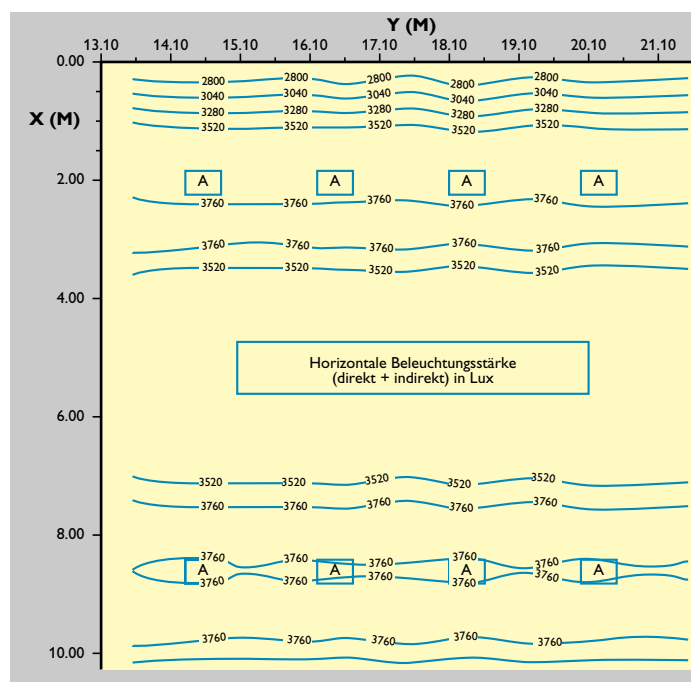


Abb. 44

Raumabmessungen		Leuchten	
Länge	: 34,80 m	SGR 140/400	
Breite	: 16,80 m	SON-T 400 AGRO	
Höhe	: 3,00 m	Montagehöhe	: 2,00 m
Höhe der Messebene	: 0,00 m		

Beleuchtungsstärken				
Bezugsfläche		E(mitt) Lux	E(max) Lux	E(min) Lux
X/M	Y/M			
0,00	13,10	3343	3959	2816
10,40	21,90			

Abminderungsfaktor: 1,0

Y →		E (Lux)									
X ↓	2911	2838	2863	2868	2832	2924	2816	2890	2847	2858	2881
	3673	3643	3571	3625	3620	3647	3599	3647	3638	3587	3610
	3662	3618	3667	3629	3659	3650	3635	3665	3615	3661	3637
	3925	3879	3819	3873	3857	3899	3834	3900	3873	3831	3860
	3455	3390	3411	3413	3387	3467	3367	3434	3399	3407	3424
	3436	3417	3415	3448	3398	3455	3378	3433	3436	3408	3457
	3334	3398	3377	3387	3389	3336	3413	3325	3394	3383	3333
	3444	3425	3423	3455	3406	3462	3386	3441	3444	3416	3464
	3472	3407	3429	3431	3404	3484	3385	3452	3415	3424	3441
	3959	3914	3853	3907	3892	3934	3868	3933	3908	3865	3893
	3744	3701	3752	3714	3743	3733	3718	3751	3699	3745	3723
	3959	3914	3853	3907	3892	3934	3868	3933	3908	3865	3893
	3472	3407	3429	3431	3404	3484	3385	3452	3415	3424	3441

# Lampen

Im Erwerbsgartenbau werden, außer der Glühlampe für photo-periodische Belichtung, nur die wirtschaftlichen Hochdruck- bzw. Niederdruckentladungslampen eingesetzt.

Die Energiebilanzen für Glühlampen, SON-T Hochdruck-Natrium-dampf-Lampen, HPI-T Hochdruck-Metallhalogenid-Lampen und TL-D Leuchtstofflampen zeigt die Abb. 47.

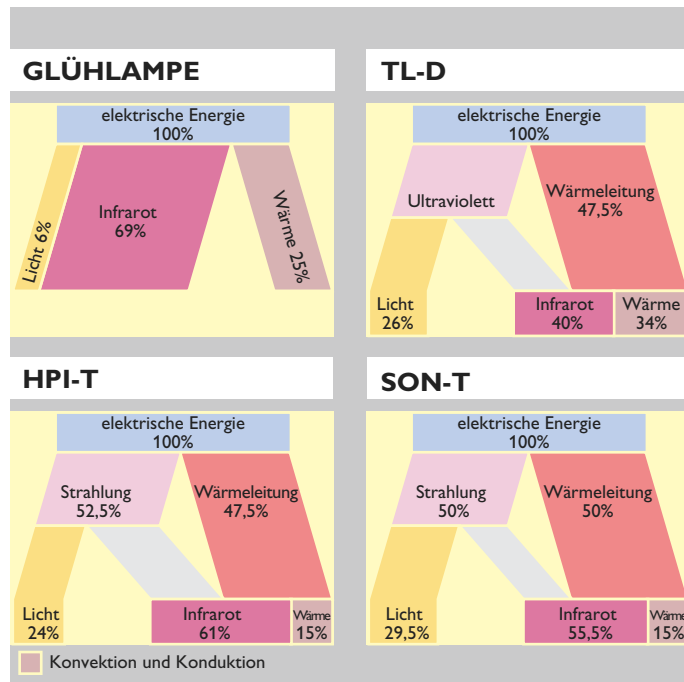


Abb. 47

Die Wirtschaftlichkeit dieser Entladungslampen liegt nicht nur im hohen Wirkungsgrad der Umwandlung von elektrischer Energie in Licht, sondern auch in ihrer hohen mittleren Lebensdauer. Über-spannungen, Frequenzabweichungen oder Erschütterungen verkürzen die Lebensdauer. Es sollte daher darauf geachtet werden, daß die Lampen unter den vom Hersteller festgelegten Bedingungen betrieben werden.

Der angegebene Lichtstrom bezieht sich auf eine Einschaltzeit nach 100 Stunden. Im Laufe des Gebrauchs geht der Lampenlichtstrom zurück. Der Rückgang ist je nach Lampenart unterschiedlich.

Wie am Anfang dieser Broschüre erläutert, haben das menschliche Auge und die Pflanzen unterschiedliche Empfindlichkeiten in Bezug auf das Licht. Abb. 48 zeigt noch einmal vereinfacht den Unterschied. Die Umrechnungsfaktoren zwischen Lichtstrom und dem für die Photosynthese wirksamen Strahlungsfluß für die wichtigsten Lampen sind in Tabelle 4, Spalte 4 angegeben.

Der so errechnete Strahlungsfluß ist der "PAR-Wert". Dieser Wert ist auf den Lampendatenblättern für Lampen, die hauptsächlich für den Photosynthesebetrieb eingesetzt werden, gleich 100 % gesetzt. Spektralanteile kürzer als 400 nm bzw. länger als 700 nm sind additiv. Für Lampen, die hauptsächlich photoperiodischen Zwecken dienen, ist der gesamte Strahlungsfluß gleich 100 % gesetzt.

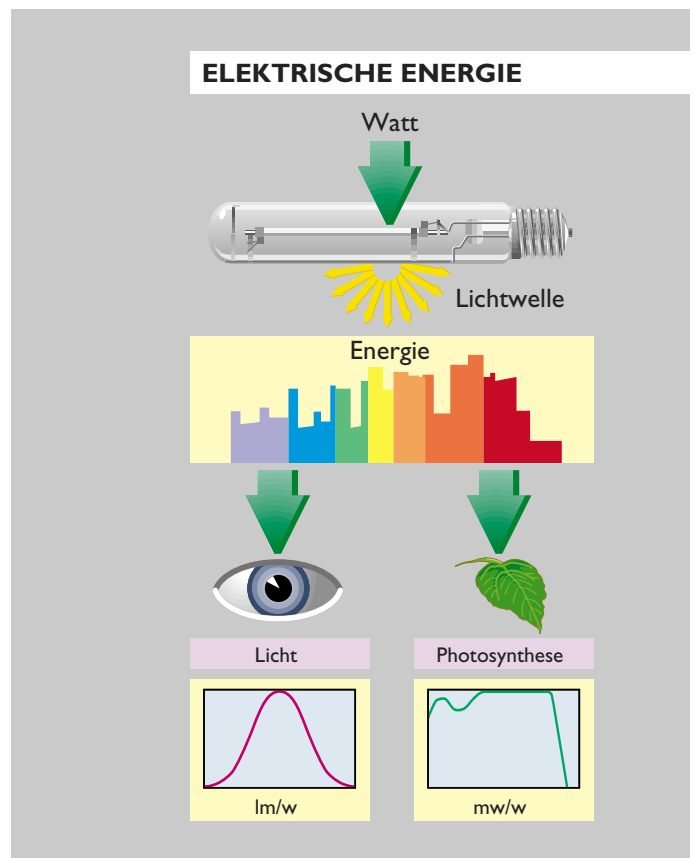


Abb. 48

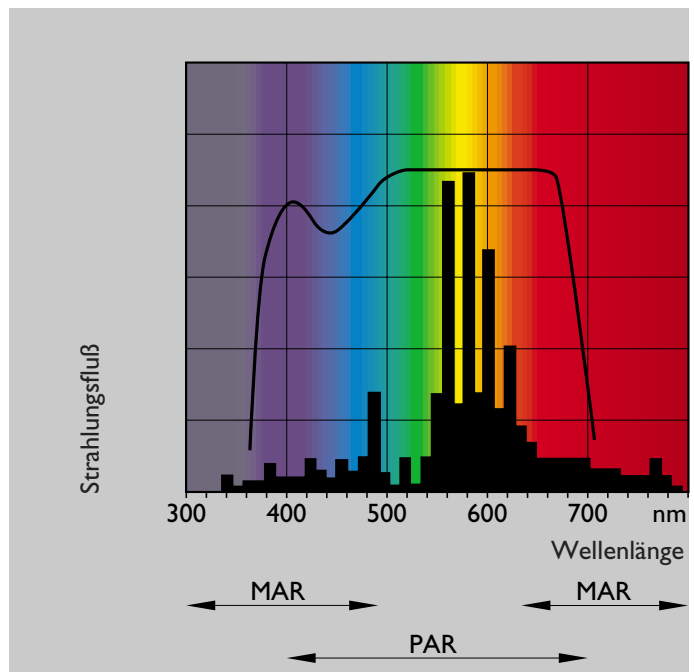


Abb. 49 Für die Photosynthese ist der Bereich zwischen 400 - 700 nm ausschlaggebend. (PAR = Photosynthetic Active Radiation). Wachstumssteuerung erfolgt auch im kürzeren und längeren Wellenlängenbereich (MAR = Morphologic Active Radiation).

## Pflanzenleuchte MGR 400



### Produktbeschreibung

MGR 400 1xHPI-T400W  
Symmetrisch strahlender Scheinwerfer  
1 x HPI-T 400W Hochdruck-Metallhalogendampf-Lampe

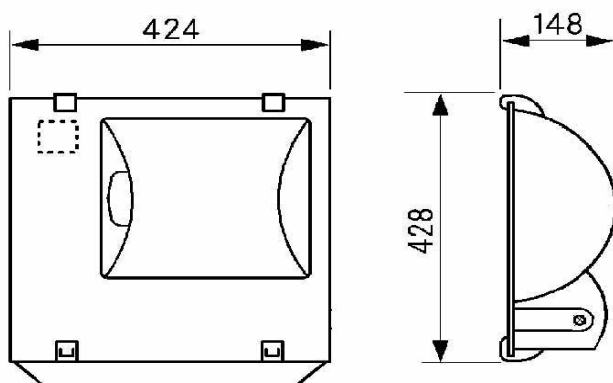
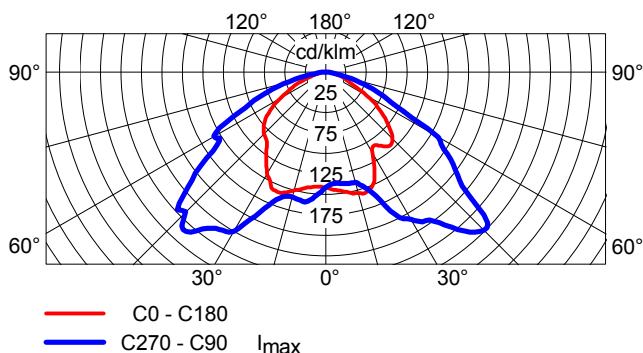
Stabiles, korrosionsgeschütztes Gehäuse aus Aluminiumdruckguss, weiß lackiert. Vorschaltgerät in die Leuchte integriert. Optisches Spiegelsystem aus eloxiertem Aluminium für breitstrahlende, fast rechteckige Ausleuchtung. Gehärtetes 5mm starkes Einscheiben-Sicherheitsglas, einfacher und schneller Lampenwechsel und Zugriff auf die elektrische Einheit durch abhängbare Frontscheibe.

Mit 4 Montagehaken zur horizontalen Ausrichtung der Leuchte für Ketten und Seilmontage. Schutzart IP65 durch hitzebeständige Dichtungen aus Silikon, dadurch Schutz gegen Strahlwasser aus Düse 6,3mm Durchmesser und Druck von 30kPa bei Bewässerung mit Schlauch

Schutzart IP 65  
Schutzklasse II

Gewicht 11,6kg  
L x B x H: 628 x 624 x 148mm

### Lichtstärkeverteilung



### Technische Daten

Bestückung: 1 x HPI-T Plus 400W  
Lichtstrom: 30000 lm  
Anschlußleistung~: 415 W  
Vorschaltgerät: KOMP  
Betriebswirkungsgrad: 64 %  
Approbation: VDE

Maße (L x B x H): 428 x 424 x 148 mm

## Pflanzenleuchte MGR 400



### Produktbeschreibung

MGR 400 1xSON-TP400W  
Symmetrisch strahlender Scheinwerfer  
1 x SON-TP 400W Hochdruck-Metallhalogendampf-Lampe

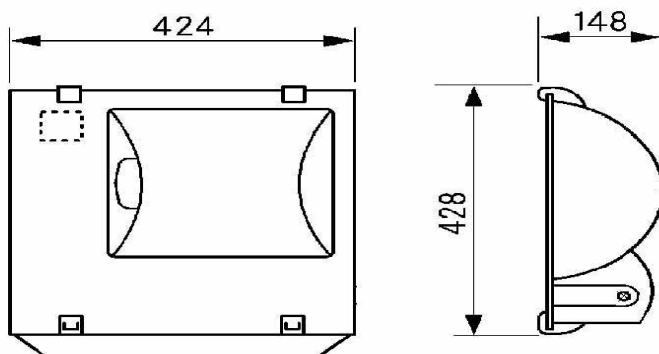
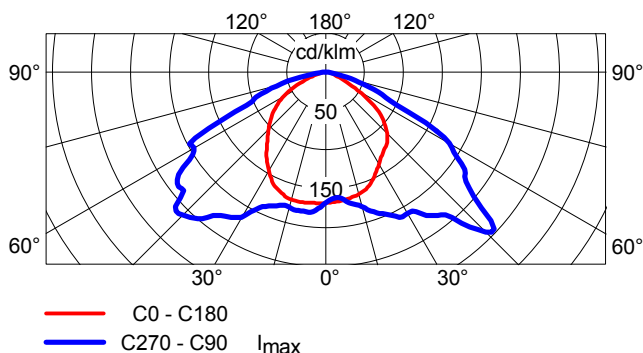
Stabiles, korrosionsgeschütztes Gehäuse aus Aluminiumdruckguss, weiß lackiert. Vorschaltgerät in die Leuchte integriert. Optisches Spiegelsystem aus eloxiertem Aluminium für breitstrahlende, fast rechteckige Ausleuchtung. Gehärtetes 5mm starkes Einscheiben-Sicherheitsglas, einfacher und schneller Lampenwechsel und Zugriff auf die elektrische Einheit durch abhängbare Frontscheibe.

Mit 4 Montagehaken zur horizontalen Ausrichtung der Leuchte für Ketten und Seilmontage. Schutzart IP65 durch hitzebeständige Dichtungen aus Silikon, dadurch Schutz gegen Strahlwasser aus Düse 6,3mm Durchmesser und Druck von 30kPa bei Bewässerung mit Schlauch

Schutzart IP 65  
Schutzklasse II

Gewicht 11,6kg  
L x B x H: 628 x 624 x 148mm

### Lichtstärkeverteilung



### Technische Daten

Bestückung: 1 x SON-TP AGRO 400W  
Lichtstrom: 55000 lm  
Anschlußleistung~: 431 W  
Vorschaltgerät: KOMP  
Betriebswirkungsgrad: 67 %  
Approbation: VDE

Maße (L x B x H): 428 x 424 x 148 mm