

Verfahren zur gartenbautechnisch-pflanzenbaulichen Bewertung von Licht

1 Bedeutung des Lichtes für die Pflanzenproduktion

Das Licht ist für den Gärtner in der Gewächshausproduktion von herausragender Bedeutung. Jede Gewächshauskonstruktion vermindert den natürlichen Lichteinfall. Im Winter ist das Licht der begrenzende Wachstumsfaktor in der Produktion. Bei besonders lichtbedürftigen Kulturen wird Zusatzlicht eingesetzt, um das Wachstum und die Entwicklung zu verbessern, was die Produktionskosten wesentlich erhöht. Im Sommer ist mit dem Lichteinfall häufig eine so große Wärmezufuhr verbunden, dass das Gewächshaus schattiert werden muss.

Für den Gärtner ist es nicht immer leicht, die verschiedenen auf dem Markt befindlichen Produktionsmittel, die den Lichtgenuss der Pflanzen beeinflussen, zu bewerten. Die Gegenüberstellung der pflanzenbaulichen Grundlagen, der Strahlungseigenschaften der Lichtquellen und möglichen Lichtfilter wie Bedachungs- und Schattiermaterialien sollen helfen, die richtige Entscheidung zu treffen.

2 Sonnenlicht

Licht gehört zum elektromagnetischen Strahlungsspektrum, das ein Teil unserer natürlichen Umwelt ist. An erster Stelle steht das Sonnenlicht, das die Lebensprozesse auf der Erde durch den Strahlungszufluss im Wellenlängenbereich von 300 bis 2500 nm kontinuierlich versorgt. Dabei ist der Energiefluss nicht in allen Wellenlängen gleich groß, vielmehr steigt er von 300 bis 500 nm an, um dann seinen Höhepunkt zu erreichen. Von 550 bis 2300 nm fällt die Leistung ab, wobei zum Teil starke Einbrüche bei bestimmten Wellenlängen auftreten, die durch Strahlungsabsorption in verschiedenen Gasen und Aerosolen in der Erdatmosphäre begründet sind.

In Abb. 1 ist die Strahlungsdichte je Wellenlängeneinheit dargestellt, wie sie etwa beim Strahlungsdurchgang durch die Atmos-

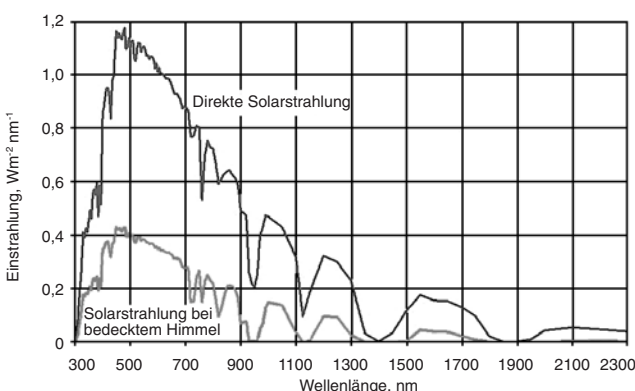


Abb. 1: Die Spektralverteilung des Sonnenlichtes nach der Empfehlung der Internationalen Beleuchtungskommission (nach CIE PUBLICATION 85 (1989)). Spektrum der Globalstrahlung bei direkter Solarstrahlung und klarem Himmel (Tab. 7, Spalte 2) und bei bedecktem Himmel (Tab. 8, Spalte 3).

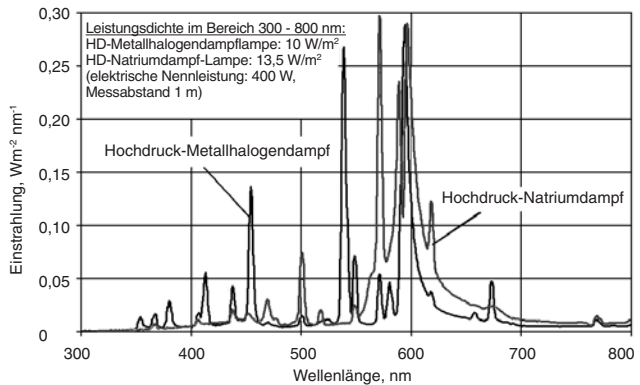


Abb. 2: Spektrum von einer gartenbauüblichen Hochdruck-Natriumdampflampe (400 W) und Hochdruck-Metallhalogenlampen (400 W), gemessen in 1 m Abstand.

phäre am 48. Breitengrad und klarem Himmel anzutreffen ist, zu 100 % gesetzt wurde. In der tiefer liegenden Kurve ist der Strahlungsfluss bei bedecktem Himmel zu sehen. Die Unterschiede der Strahlungsintensitäten in den einzelnen Wellenlängen sind bei der Kurve für den bedeckten Himmel geringer, die Kurve ist insgesamt flacher. Die gezeigten Kurven sind Standardkurven, wie sie von der internationalen Beleuchtungskommission (CIE) festgelegt wurden. Es ist sinnvoll diese standardisierten Spektren einzusetzen, da jedes aktuell gemessene Strahlungsspektrum entsprechend den Witterungsbedingungen und dem Sonnenstand seinen individuellen Verlauf hat.

3 Elektrisches Zusatzlicht

Im Falle des elektrischen Zusatzlichtes bekommen Pflanzen die Strahlungsenergie je nach Lichtquelle in einem schmalen Spektrum angeboten. Abb. 2 zeigt die Spektren einer Hochdruck-Natriumdampflampe sowie einer Hochdruck-Metallhalogenlampen, wie sie im Gartenbau üblicherweise zur Assimilationsbelichtung eingesetzt werden. Es fällt auf, dass diese Spektren nicht kontinuierlich besetzt sind, dass die Strahlungsenergie in schmalen Banden abgegeben wird und dass einige Banden ganz fehlen. Bei der Integration der Leistungskurven im Wellenbereich von 300 bis 800 nm wird deutlich, dass die HD-Natriumdampflampe etwa 35 % mehr Energie in Form von Licht abgibt als die HD-Metallhalogenlampen. Dagegen ist das Spektrum der HD-Metallhalogenlampen im UV-, blauen und grünen Spektralbereich ausgeglichener. Das Licht erscheint dem menschlichen Auge farbgetreuer, jedoch ist es schwer nachzuweisen, dass sich dieser verstärkte blau-grüne Lichtstrom auch morphologisch günstig bei der Pflanzenproduktion auswirkt. Dies gilt insbesondere beim Einsatz als Zusatzlicht im Gewächshaus, wo das natürliche Licht die fehlenden Spektralbereiche ausreichend auffüllt. Deshalb sind wesentliche Pflanzenunterschiede im Habitus nur in Kunsträumen zu erwarten. Ansonsten gilt, dass sich die höhere applizierte Lichtmenge bei gleicher elektrischer Nennleistung von HD-Natriumdampflampen günstiger auswirkt.

4 Wirkung des Lichtes in der Pflanze

Für die Pflanzenproduktion spielt das Licht eine zentrale Rolle, da der biochemische Prozess der Kohlenstoff-Fixierung bei der Photosynthese nur mit Hilfe der Energiezufuhr durch elektromagnetische Strahlung der Wellenlänge von 300 bis 800 nm, nämlich des Lichtes, vonstatten gehen kann. Der Rezeptor (Reiz-Empfänger) für diese Energie ist das Chlorophyll. Die Lichtmenge dieses Wellenlängenbereiches ist also entscheidend für das Wachstum. Neben der reinen Quantität spielt jedoch auch die spektrale Zusammensetzung des Lichtes eine entscheidende Rolle, insbesondere bei Kunstlichträumen.

Über verschiedenste Pigmente, die für die Steuerung des biochemischen Ablaufes in der Pflanze zuständig sind, wird Licht bestimmter Wellenlänge absorbiert, welche die Morphologie, also die Gestalt und Form der Zellen und der Gesamtpflanze bestimmen und die Entwicklung wie Keimung, Wachstum, Blütenbildung und Ruhepausen beeinflussen. Einen Überblick der Haupt-Photopigmente und ihrer Wellenlängenabhängigkeit gibt Abb. 3. Dabei zeigt die Strichstärke die ungefähre Konzentration der Pigmente in der Pflanze an. Die wichtigsten Photorezeptoren dabei sind das Chlorophyll und die Karotine, deren Synthese unerlässlich für die Photosynthese ist.

Der hauptsächliche Wellenlängenbereich der Photosynthese reicht von 400 bis 700 nm und wird auch als PAR-Bereich bezeichnet. Dies ist die Abkürzung der in der internationalen Fachliteratur verwendeten englischen Bezeichnung „Photosynthetically Active Radiation“ (photosynthetisch wirksame Strahlung). Dabei liegt im Wellenlängenbereich von 610 bis 700 nm (Hellrot-Bereich) eine beträchtliche Chlorophyll-Absorption und damit auch eine maximale Photosynthese-Effizienz vor.

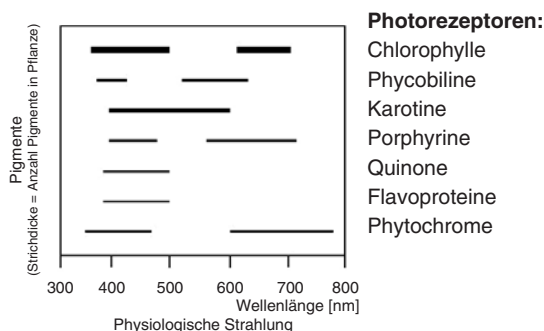


Abb. 3: Die Photorezeptoren (lichtempfindliche Pigmente) der Pflanzen nutzen den gesamten Wellenlängenbereich des Lichtes (nach CIE PUBLICATION 106/5, 1993).

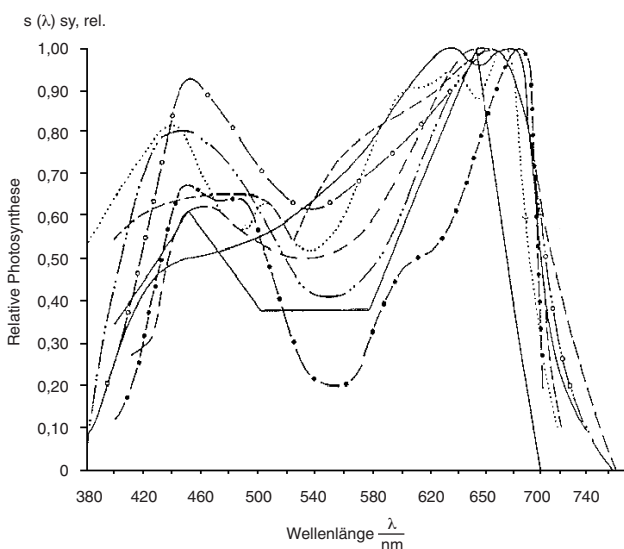


Abb. 4: Die Wirksamkeit der Photosynthese ist im Blau- und im Hellrotbereich besonders hoch, aber es gibt keine für alle Pflanzen einheitliche Empfindlichkeitskurve (nach GEUTLER und KROCHMANN, 1987).

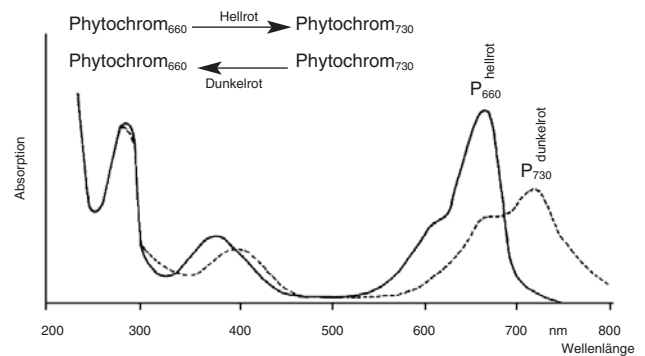


Abb. 5: Die Absorptionsspektren des Phytochroms als Grundlage für die Kennzahl des Hellrot-Dunkelrot-Verhältnisses (nach FELLEBERG, 1978).

Der zweite wichtige Bereich der Chlorophyll-Absorption und der Photosynthese liegt im Bereich von 400 bis 500 nm (Blau-Bereich), in dem insbesondere auch die Karotine absorbieren. Der Bereich von 510 bis 610 nm (Grün-Bereich) verzeichnet die niedrigsten physiologischen Reaktionen im PAR-Bereich. Für zahlreiche Pflanzen sind die Photosynthese-Wirkungsfunktionen bestimmt worden, wobei ersichtlich wird, dass es keine einheitliche Funktion gibt (Abb. 4). Vielmehr gibt es unterschiedliche Verläufe bei den verschiedenen Pflanzenarten, bei unterschiedlichem Blattalter und unterschiedlichem Blattaufbau.

Nicht nur die Strahlungsintensität in den einzelnen Bereichen beeinflusst das Wachstum und die Entwicklung, sondern auch das Verhältnis der Strahlung in verschiedenen Bereichen zueinander. Bedeutsam als Photorezeptoren sind dabei die Phytochrome, die im Wellenlängenbereich von 600 bis 800 nm (Rot-Bereich) und im UV-Bereich und Blau-Bereich von 350 bis 450 nm verstärkt absorbieren (Abb. 5). Dabei liegt das Phytochrom in zwei unterschiedlichen Aktivitätszuständen vor. Wird das Phytochrom (P_{660}) mit hellrotem Licht von etwa 660 nm bestrahlt, wechselt es durch die Anregung über in den Aktivitätszustand, bei dem es ein Absorptionsmaximum von dunkelrotem Licht von 730 nm besitzt (P_{730}). Liegt die Zustrahlung dann im Bereich der dunkelroten Strahlung, so wechselt es wieder in den Absorptionszustand von P_{660} . Je nach Anteilen der realen Strahlung im hellroten und im dunkelroten Wellenlängenbereich liegt dann ein Mischungsgleichgewicht des Phytochroms P_{660} und P_{730} vor, das in seiner jeweiligen Konzentration nachgewiesenermaßen großen Einfluss auf verschiedene morphologische Prozesse in der Pflanze hat. Diese sind nach JANSEN et al. (1998):

- die photoperiodischen Reaktionen,
- die Samenkeimung bei Lichtkeimern,
- das Streckungswachstum bei Schatten meidenden Pflanzen,
- die Chlorophyllbildung,
- die Anthocyanbildung,
- das Wachstum von Blattspreite und Blattdicke,
- die Xylembildung (das Stängelwachstum) und
- das Phytohormonsystem.

Aufgrund dieses Sachverhaltes lässt sich erklären, warum die Pflanzen in dichten Beständen dazu neigen, durch Streckungswachstum zu einem höheren Lichtgenuss zu kommen. Indem Blätter benachbarter Pflanzen die hellrote Strahlung absorbieren, verbleibt für die darunter liegenden Blätter ein überproportionaler Dunkelrotanteil, der das Phytochromgleichgewicht beeinflusst und damit zu verstärktem Längenwachstum anregt. Die konkurrierende Einzelpflanze kommt dadurch wieder in eine bessere Lichtposition.

Der Dunkelrot-Anteil in der Zustrahlung wird mittels einer entsprechenden (NIR-)Filterung in der Bedachung oder durch den Einsatz von elektrischem Zusatzlicht mit hohem Hellrot-Anteil herabgesetzt, und es kann so ein kompakter Wuchs der Kultur gefördert und der Einsatz von Stauchmitteln reduziert werden. Das sog. Hellrot-Dunkelrot-Verhältnis der Zustrahlung bietet also ei-

nen Hinweis auf das mögliche Phytochrom-Mischungsgleichgewicht und damit auf die Beeinflussung des Streckungswachstums unter einer bestimmten Bedachung oder bei Kunstlicht.

Die Anteile der Strahlung im Bereich von Dunkelrot, also von 700 bis 1000 nm, wirken prinzipiell Stängel verlängernd, die darüber hinausgehenden absorbierten Wellenlängenbereiche bis 2300 nm wirken nur thermisch, also Temperatur erhöhend.

Betrachtet man den Blaulichtbereich (etwa 400 bis 500 nm), so trägt bei vielen Pflanzenarten ein hoher Anteil zu einer verstärkten Apikaldominanz des Sprosses bei, ein reduzierter Anteil verringert diese und verstärkt gleichzeitig die Seitentriebebildung.

Welchen Einfluss besitzt die ultraviolette (UV-)Strahlung auf die Pflanzen? Während das kurzwellige UV-C (< 280 nm), das in der Sonnenstrahlung auf der Erdoberfläche nicht vorkommt, die Pflanzenzellen grundsätzlich zerstört, schädigt das UV-B (280 – 315 nm) nur, wenn es in zu hoher Intensität vorliegt. Das vorhandene UV-B sowie das UV-A (315 – 380 nm) wirken nur zu einem kleineren Teil photosynthetisch, ansonsten vielmehr formativ auf das Kutikula- und Blattdickenwachstum, sowie über die Antocyjanbildung auf die Blütenausfärbung.

Für viele Insekten in einem Gewächshaus wirkt die UV-Strahlung als wegweisend und „beleuchtend“. Somit beeinflusst diese Strahlung das Sehvermögen von z. B. den für die Bestäubung wichtigen Hummeln oder andererseits die Ausbreitung der Weißen Fliege. Auch die Sporulation von *Botrytis* wird durch das Vorhandensein der UV-Strahlung gefördert. Da jedoch *Botrytis* latent in wohl jedem Gewächshaus vorhanden ist, bestimmen viel mehr die kleinklimatischen Bedingungen die Verbreitung des Pilzes als die UV-Strahlung.

Es wird deutlich, dass der physiologisch wichtige Absorptionsbereich für die Rezeptoren der Pflanzen die Wellenlängen von etwa 300 bis 800 nm umfasst. Die Strahlung von Sonne und den elektrischen Lichtquellen kann hinsichtlich ihrer Wirkung in die in der Tab. 1 genannten Bereiche eingeteilt werden.

5 Absorption des Lichtes im Pflanzenblatt

In Abb. 6 ist ein Absorptionsspektrum eines Tomatenpflanzen-Blattes dargestellt. Deutlich sieht man, dass das Tomatenblatt, welches stellvertretend für andere Pflanzenblätter stehen kann, die Strahlung im Bereich des UV und des blauen Lichtes gut absorbiert, im Bereich des grünen Lichtes weniger, weshalb das grüne Licht als Lichtreflexion zu sehen ist. Auch im Bereich des hellroten Lichtes absorbiert das Blatt gut. Im Dunkelrotbereich dagegen fällt die Absorptionsfähigkeit drastisch ab. Erst bei mittlerem NIR (Near Infrared) steigt die Absorption wieder an.

Welche Auswirkung dieses besondere, wellenlängenabhängige Verhalten der Strahlungsabsorption hat, wird besonders deutlich, wenn man die absorbierte Strahlungsenergie eines Tomatenblattes im Sonnenlicht betrachtet (Abb. 7). Im Bereich der UV-Strah-

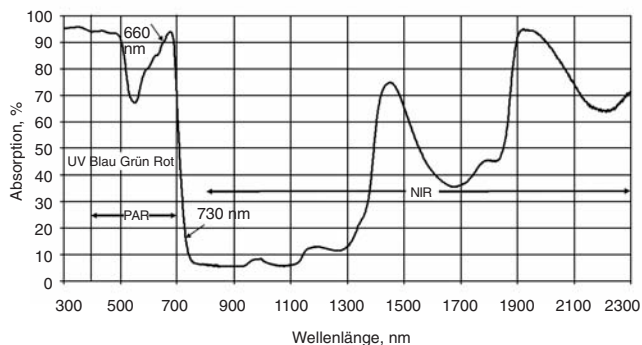


Abb. 6: Absorption eines Tomatenblattes im Bereich der Sonnenstrahlung.

lung und der PAR wird die Sonnenstrahlung, wie sie in Abb. 1 dargestellt ist, sehr gut absorbiert, wohingegen die nahe Infrarotstrahlung kaum absorbiert wird. Mit diesem besonderen Absorptionsverhalten ist die Pflanze darauf eingerichtet, sich nicht übermäßig aufzuheizen. Nur die physiologisch wichtigen Strahlungsbereiche werden absorbiert.

Die Abb. 8 zeigt, dass die Strahlung der HD-Natriumdampflampe in den grünen und roten Wellenlängenbereichen gut absorbiert wird. Da das Angebot im UV- und Blaubereich niedrig liegt, wird

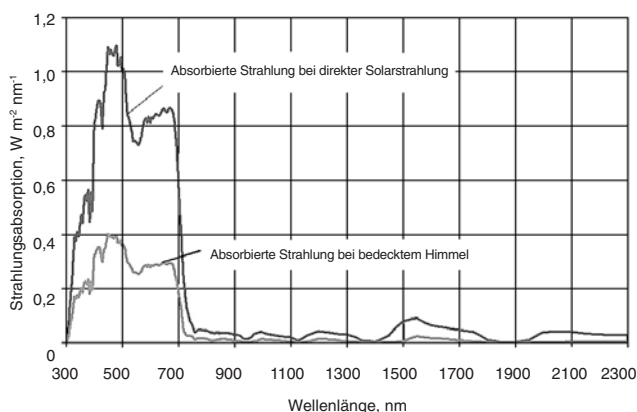


Abb. 7: Absorbierte Sonnenenergie eines Tomatenblattes in Abhängigkeit von den Wellenlängen im Globalstrahlungsbereich bei Zustrahlung entsprechend Abb. 1 und Absorptionsfähigkeit nach Abb. 6.

dort auch nur wenig Strahlung absorbiert. Bei der HD-Metallhalogendampflampe sind dagegen Spektralbanden im UV-, Blau-, Grün- und Rotbereich vorhanden, die auch absorbiert werden. Nur der Wellenlängenbereich um 500 nm (blaugrün) ist vergleichsweise schwach vertreten.

Tab.1: Einteilung der Wellenlängenbereiche der Strahlung (erweitert nach DIN 5031-10).

Photobiologische Wirkung	Wellenlängenbereich nm	Maximum nm	Bemerkung
Photosynthese	380 – 800	425	PAR ist üblicherweise im Bereich 400 – 700 nm oder 400 – 725 nm definiert
Chlorophyllsynthese	380 – 800	600	
Photomorphogenese	380 – 500 und 600 – 800	–	wichtig sind der Blaubeereich und die Absorptionsbanden des Phytochroms P ₆₆₀ u. P ₇₃₀
Phototropismus	380 – 520	–	Lichtwendigkeit (Blaulicht)
Erwärmung	800 – 2300	–	auch die niedrigeren Wellenlängen (300 – 800 nm) erwärmen die Pflanze

6 Veränderungen der Lichtzusammensetzung durch die Bedachung

6.1 Glas

Wenn das natürliche Tageslicht durch die Bedachung in das Gewächshaus eintritt, wird das Licht entsprechend der wellenlängenabhängigen Durchlässigkeit gefiltert. Übliches Bauglas (Blank- und Klarglas), das für Gewächshäuser seit langem verwendete Bedachungsmaterial, filtert nur wenig Licht im physiologisch wirksamen Bereich (Abb. 9). Je nach Glassorte wird ein mehr oder weniger hoher UV-Anteil durchgelassen (hier 50 % UV-Transmission bei 327 nm für Blank- und Klarglas), und im NIR-Bereich gibt es häufig eine etwas erniedrigte Durchlässigkeit im Bereich um 1100 nm (hier 80 % bei Klarglas, 75 % bei Blankglas). Dagegen können beschichtete Glasscheiben, Sonnenschutz- oder Wärme-

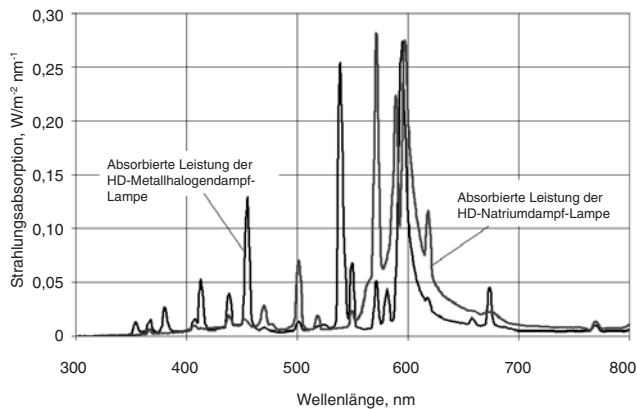


Abb. 8: Vom Tomatenblatt absorbierte Leistung von Assimilationsleuchten in Abhängigkeit der Wellenlängen im pflanzenphysiologisch wichtigen Bereich bei Zustrahlung entsprechend Abb. 2 und Absorptionsfähigkeit nach Abb. 6.

schutzgläser durch ihre Beschichtung selektiv filtern. Wie das Beispiel in Abb. 9 zeigt, werden von diesen alle Wellenlängenbereiche reduziert, wobei der NIR-Bereich teilweise bzw. total herausgefiltert wird, um den Wärmeeintrag zu verringern. Die selektive Filterung ist beim Spezialglas Planilux Diamant UV-B insgesamt am geringsten.

6.2 Gewächshausbedachungsfolien

Bei den Gewächshausfolien ist insbesondere die Durchlässigkeit für UV-Strahlung interessant. Je nach Bedarf kann die am meisten verwendete Polyethylenfolie (PE-Folie) UV durchlassen oder blockieren, wobei die üblichen Standardfolien meist einen Teilbereich der UV-Strahlung durch UV-Absorber abschneiden. Abb. 10 zeigt die Durchlässigkeit von einer nicht UV-stabilisierten Baufolie, die auf dem Gewächshaus nur etwa 6 bis 12 Monate hält, einer Standard-Gewächshausfolie, einer UV-durchlassenden und einer UV-blockierenden PE-Folie sowie einer PVC-Folie. Es fällt auf, dass die stark UV-Strahlung-blockierende Folie eine niedrigere Durchlässigkeit im PAR-Bereich aufweist. Bei dieser Folie werden starke UV-Absorber eingesetzt, die als Nebenwirkung auch die Strahlungstransmission im PAR-Bereich herabsetzen (Blau-Bereich). Zudem besitzt diese Folie noch Diffusor-Eigenschaften, die das direkte Licht streuen. Dadurch wird das Licht gleichmäßiger verteilt, wobei eine hohe örtliche Einstrahlungslast auf den oberen Blättern und Blüten gemindert und dafür der Schlagschattenbereich besser ausgeleuchtet wird. PVC-Folie ist in der Regel UV-blockierend. Sie besitzt eine sehr gute Lichtdurchlässigkeit. Die weitaus beste, auch langfristige Lichtdurchlässigkeit besitzen ETFE-Folien (Teflonfolie, Ethylen-Tetrafluorethylen-Copolymer). Sie lässt über den gesamten Wellenlängenbereich vom UV bis NIR die Strahlung mit ca. 90 % sehr gut durch (Abb. 10).

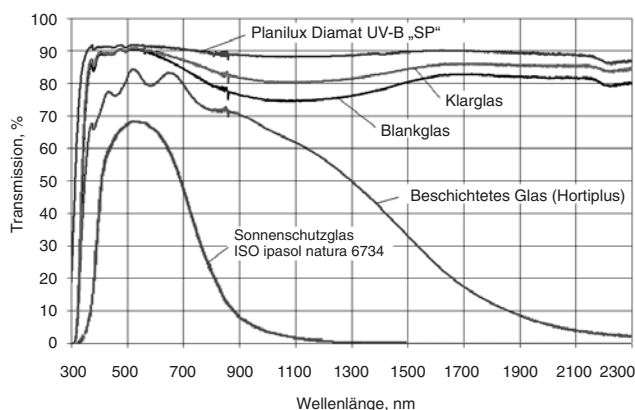


Abb. 9: Material-Transmission verschiedener Gläser: Blankglas 3,8 mm (Herkunft unbekannt), Klarglas 3,8 mm (Herkunft unbekannt), UV-durchlässiges Planilux Diamant UV-B „SP“, Sonnenschutzglas ISO ipasol natura 6734, beschichtetes Glas (Hortiplus).

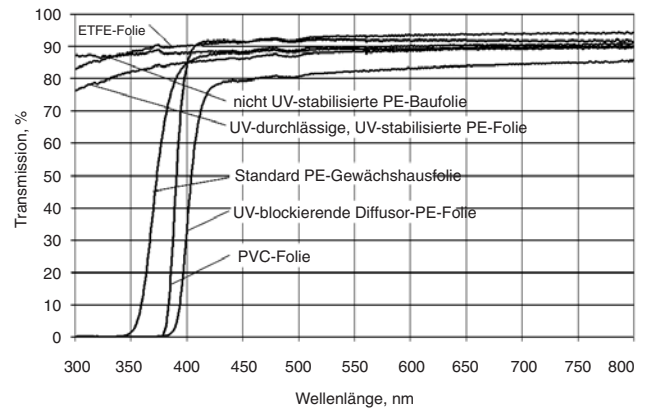


Abb. 10: Transmission verschiedener Gewächshausfolien aus PE (mit unterschiedlichen UV-Durchlässigkeiten) und PVC.

6.3 Schattierungen

Für die Sommerklimatisierung wird der Energiezufluss gemindert, indem die Bedachung weniger durchlässig gestaltet wird. Dies geschieht zum einen mit den oben bereits erwähnten Diffusor-Pigmenten in der PE-Folie (Abb. 11). Je nach Konzentration kann die Lichtdurchlässigkeit um 3 bis 30 % verringert werden. Der offensichtliche Vorteil ist, dass das Licht durch die stärkere Streuung gleichmäßiger im Gewächshausraum verteilt wird und dadurch Verbrennungen bei starker Einstrahlung vermieden werden können. Da aber diese Strahlungsreduktion auch an Tagen geringer Einstrahlung wirkt, ginge in der lichtarmen Zeit in Mitteleuropa zuviel PAR verloren. Vornehmlich wird diese Folienart daher im Mittelmeerraum eingesetzt. Eine Diffusor-Folie mit 88 bis 90 % PAR-Durchlässigkeit wäre jedoch auch in Mitteleuropa dienlich.

Statt wie bei der Diffusor-Folie gleichmäßig über das ganze Strahlungsspektrum wird bei Interferenz- oder NIR-Folie die Strahlungsdurchlässigkeit verstärkt im nahen Infrarotbereich vermindert. Die Interferenzpigmente reflektieren verstärkt das NIR, sodass weder Pflanzen noch die Bodenflächen oder Konstruktionsteile mit NIR-Strahlung beschienen werden und sich somit nicht aufheizen können. Dies trägt dazu bei, die Lufttemperatur im Gewächshaus im Sommer zu verringern.

Wird eine noch stärkere Strahlungsreduktion gewünscht, kann durch Schattierfarbe der Strahlungsstrom herabgesetzt werden. Konventionelle Schattierfarbe senkt dabei das Licht im PAR-Bereich stärker ab als im NIR-Bereich. Dies ist für das Pflanzenwachstum ungünstig. Neuartige Schattierfarben mit Interferenzpigmenten drehen das Verhältnis um. Bei höherer PAR-Durchlässigkeit wird NIR-Strahlung stärker reduziert. Dabei kommt ein weiterer Aspekt zum Tragen. Durch das größere Hellrot-Dunkelrot-Verhältnis wird das Phytochromgleichgewicht zum Hellrot hin verschoben. Die Gefahr des übermäßigen Streckungswachstums bei Schatten meidenden Pflanzen wird verringert. Die Schattierfarbe kann mit Wasser so verdünnt werden, dass ein gewünschter Schattiergrad im Bereich von 10 bis 60 % erzeugt wird.

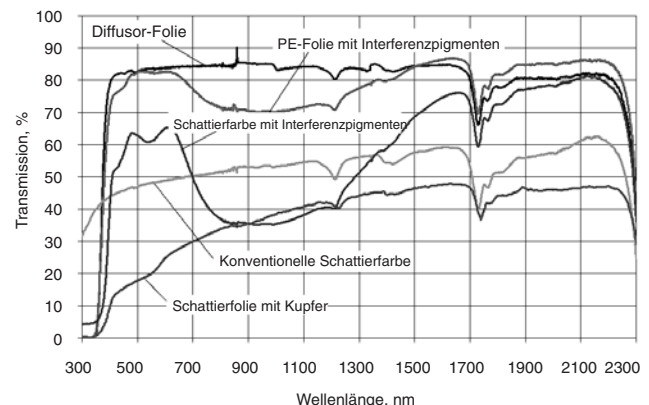


Abb. 11: Folien und Schattierfarben zur Strahlungsreduktion.

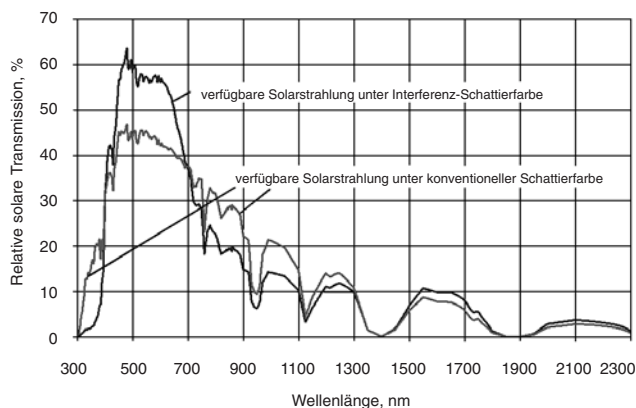


Abb. 12: Relative verfügbare Solarstrahlung bei Schattierung mit Interferenz- bzw. konventioneller Schattierfarbe. Solarstrahlung entsprechend Abb. 1 (direkte Solarstrahlung). 100 % relativer Solarstrahlung entsprechen der maximalen, ungeschwächten Strahlungsleistung bei 480 nm.

Für unsere Breiten ist die Schattierfolie mit Kupferpigmenten (Abb. 11) ganz ungeeignet, da zu viel Strahlung reduziert und das Hellrot-Dunkelrot-Verhältnis zum Dunkelrot hin verschoben wird. Die Pflanzen würden unter einer solchen Folie vergeilen. Diese Folie ist vielleicht in extrem strahlungsreichen Gebieten einsetzbar.

Die Auswirkungen der selektiven Durchlässigkeit lassen sich gut im Vergleich von einer Bedachung zeigen, die einerseits mit Schattierfarbe mit Interferenzpigmenten und andererseits mit konventioneller Schattierfarbe versehen ist. Beide Schattierungen sind so ausgelegt, dass sie im Mittel über den Wellenlängenbereich von 300 bis 2300 nm 50 % der Außenstrahlungsenergie schattieren. Der Unterschied besteht dann in der unterschiedlichen Verfügbarkeit des Lichtes innerhalb des Spektrums (Abb. 12).

In Abb. 13 wird die Strahlungsabsorption eines Tomatenblatts sowie eines trockenen Bodens dargestellt. Man erkennt, dass der Lichtgenuss im PAR bei den Schattierfarben mit Interferenzpigmenten für die Pflanze höher liegt als bei der konventionellen Schattierung. Die Strahlungsabsorption im NIR-Bereich ist wegen der Eigenschaften der Blätter und der NIR-Reflexion der Interferenzpigmente geringer. Der wesentliche Vorteil der NIR-Pigmente besteht darin, dass alle nicht pflanzlichen Oberflächen weniger Strahlungszufuhr erfahren und somit weniger aufgeheizt werden.

Um eine bessere Anpassung an die tatsächlichen Lichtverhältnisse vornehmen zu können, werden bewegliche Schattieranlagen mit Tüchern und Geweben in Gewächshäusern installiert. Bei diesen Schattiergeweben ergibt sich auch die Frage, welches die geeignete Farbgebung aus pflanzenbaulicher Sicht ist. In den Abb. 14 und 15 werden einige gebräuchliche Schattiergewebefarben gezeigt. Am neutralsten verhält sich ein schwarzes Gewebe (Abb. 14), welches über alle Wellenlängen hinweg eine gleich-

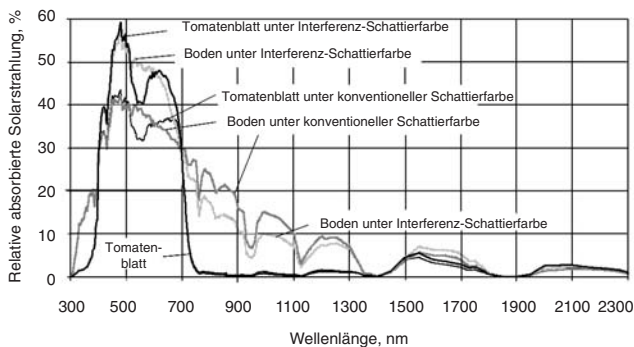


Abb. 13: Relative absorbierte Solarstrahlung eines Tomatenblatts und trockenen Bodens bei Schattierung mit Interferenz- bzw. konventioneller Schattierfarbe. Solarstrahlung entsprechend Abb. 1 (direkte Solarstrahlung). 100 % relativer Solarstrahlung entsprechen der maximalen, ungeschwächten Strahlungsleistung bei 480 nm. Absorptionsverhalten des Tomatenblattes entsprechend Abb. 6.

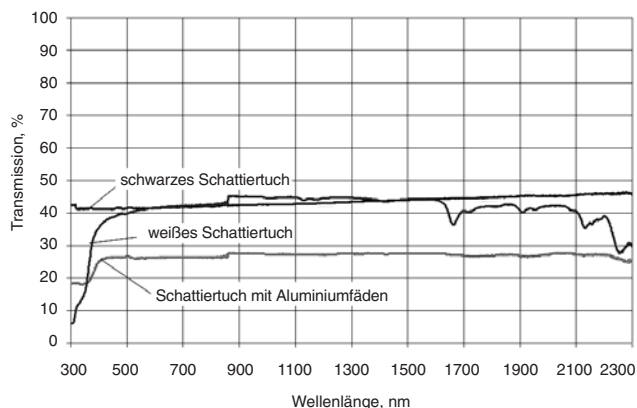


Abb. 14: Die „neutrale“ Schattierung mit Weiß, Schwarz oder Aluminium-Streifen

mäßige Reduktion der Strahlung bewirkt. Je nach Gewebedichte kann so ein angepasster Schattiergrad erreicht werden. Auch weißes Gewebe und Bändchengewebe mit eingearbeiteten Aluminiumstreifen verhalten sich weitgehend neutral. Ihre Schattierwirkung nimmt jedoch zum blauen und UV-Bereich hin zu.

In viel stärkerem Maße beeinflussen die Farben Grün, Orange oder Hellblau das verfügbare Licht für die Pflanzen (Abb. 15). Das grüne Tuch filtert verstärkt blaue und rote Wellenlängen heraus, die besonders effektiv bei der Photosynthese sind, und verschiebt das Hellrot-Dunkelrot-Verhältnis zum Dunkelrot, was das Streckungswachstum fördert. Das heißt, dass diese Schattierfarbe allen Anforderungen des Gärtners widerspricht, zumal das NIR mit seiner Temperatur anhebenden Wirkung weniger stark wegschattiert wird. Das Hellblau, welches aus arbeitsplatzpsychologischen und verkaufsfördernden Gründen (in Verkaufsanlagen) besonders geeignet sein soll, ist für die Pflanzenproduktion nicht viel besser. Es wird zwar etwas mehr blaues Licht durchgelassen, aber die starke Verminderung des Hellrots muss negativ bewertet werden, da das Hellrot-Dunkelrot-Verhältnis zugunsten des Dunkelrots verschoben ist. Etwas positiver ist das orange Schattiertuch zu bewerten, da es das Hellrot nicht so stark blockiert. Für die Wahl einer farbigen Schattierung dieser Art gibt es also nur einen ästhetischen Grund, aber keinen pflanzenbaulichen.

Optimal funktionieren würde ein Schattiergewebe, das wie bei den Interferenzpigmenten das PAR weitgehend gut durch das Tuch hindurchlassen und verstärkt im NIR-Bereich schattieren würde. Auch wenn Pflanzen das NIR überwiegend reflektieren und dünnere Blätter es durchlassen, wird durch den verringerten NIR-Eintrag doch die Aufheizung der übrigen „toten“ Oberflächen verringert. Dies bedeutet im Gewächshaus weniger Hitzestress für die Pflanzen bei sommerlicher Einstrahlung.

7 Bewertungen der Strahlungsdurchlässigkeit

7.1 Methoden

Wie anhand der vorangegangenen Spektren gezeigt, beeinflussen Lichtquellen und Lichtfilter das Strahlungsklima für die Pflanz-

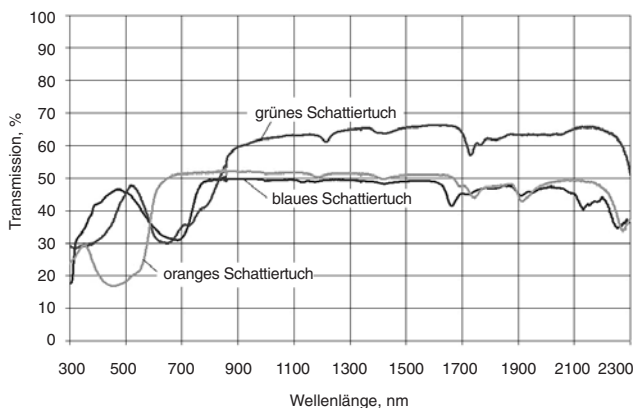


Abb. 15: Farbige Schattiergewebe mit Grün, Blau und Orange sind abzulehnen.

zenproduktion. Für den Gärtner ist es dabei nicht möglich, stets die Eigenschaften seiner Produktionsmittel richtig einzuschätzen und eine mögliche Auswirkung für die Pflanze vorherzusehen. Es wäre daher wünschenswert, wenn die Produkthersteller entsprechende technische Angaben machten. Dabei kann auf bereits Bestehendes aufgebaut werden. In der Norm DIN EN 410 (früher DIN 67507) wird die Strahlungsdurchlässigkeit von Verglasungen behandelt. Sie legt die Grundlagen der Bewertung für den menschlichen Strahlungs-Komfort dar. So sind dort der „Strahlungs-Transmissionsgrad“, der „Licht-Transmissionsgrad“ und der „UV-Transmissionsgrad“ einer Verglasung definiert. Obwohl die dort verwendeten Bewertungen für das menschliche Sehvermögen gelten und nicht direkt auf die Wirkung für die Pflanzen angewendet werden können, lässt sich der methodische Ansatz auf die gartenbautechnischen Belange übertragen. Dabei muss die durch eine Verglasung durchtretende Strahlungsintensität ins Verhältnis gesetzt werden zu der, die vor der Verglasung anzutreffen ist. Das Verhältnis wird als Transmissionsgrad oder Durchlässigkeit bezeichnet. Für den Pflanzenbau wichtig ist der solare oder Strahlungs-Transmissionsgrad. Er beschreibt wie viel Energie der Sonne in das Gewächshaus eintritt und auf das Pflanzenwachstum und die Erwärmung einwirkt. Der PAR-Transmissionsgrad beschreibt die Verfügbarkeit von Photosynthese-Licht. Die UV-Durchlässigkeit zeigt an, welche Abhärtung der Blätter – daneben sind auch andere Klimafaktoren zu betrachten! – und welche Blütenausfärbung zu erwarten sind.

7.2 Normstrahlung

Will man eine reproduzierbare Methode aufbauen, kann als Strahlungsquelle nicht eine beliebige, z. B. gemessene Spektralverteilungskurve der Globalstrahlung für eine Bewertung verwendet werden, da sie nur einem Einzelanwender zur Verfügung steht und sich das Globalstrahlungsspektrum im Verlaufe eines Tages, des Jahresablaufes und bei den Wetterlagen mit unterschiedlicher Bewölkung verändert. Man muss sich also auf ein Referenzspektrum festlegen. Die Internationale Beleuchtungskommission hat sich mit diesem Thema beschäftigt und ein umfangreiches Werk mit einer Vielzahl von tabellierten Globalstrahlungsverläufen veröffentlicht (CIE PUBLICATION 85 (1989)). Hier liegen allgemein zugängliche Strahlungsverläufe für unterschiedliche Witterungsbedingungen vor. Sie unterscheiden sich durch definierte Schichtdicken der Atmosphäre beim Strahlungsdurchgang, Wolken und Wasserdampfgehalt, Ozonwerte und weitere Parameter. Als geeignet erscheinen für eine Anwendung in Zentraleuropa die Werte der Tab. 7, Spalte 2, die die Globalstrahlung bei einer Dicke der Atmosphäre enthalten, wie sie einem Ort auf dem 48. Breitengrad entspricht, also einer Linie von Paris über Stuttgart, München nach Wien. Dieses Spektrum der Globalstrahlung ist in Abb. 1 als „direkte Solarstrahlung“ gezeigt. Die dabei einfallende Einstrahlung (entsprechend der Fläche unter der Kurve) entspricht mit der Größe von 679 W/m² den Bedingungen im Frühjahr/Frühsummer bei direkter Sonnenstrahlung und klarem Himmel. Es liegen auch tabellierte Werte für diffuse Strahlung bei bedecktem Himmel vor (siehe Abb. 1, Kurve „Solarstrahlung bei bedecktem Himmel“), die verwendet werden könnten. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass die meisten Messungen der Materialtransmission mit einem senkrecht auftreffenden Lichtstrahl durchgeführt werden und nicht mit einer diffusen Strahlungsquelle. Sie korrespondieren also nicht mit den tabellierten Diffus-Strahlungswerten!

7.3 Transmissionsgrade

Unter diesen Voraussetzungen und Vereinfachungen lassen sich dann die Transmissionsgrade in Anlehnung an die DIN EN 410 für die pflanzenbauliche Bewertung aufschreiben.

Für den Transmissionsgrad der Globalstrahlung, die die direkte Sonnenstrahlung und die Strahlung des klaren Himmels umfasst, gilt dann:

$$\tau_{\text{sol}} = \frac{\sum_{\lambda=300 \text{ nm}}^{2300 \text{ nm}} S_{\lambda} \tau(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=300 \text{ nm}}^{2300 \text{ nm}} S_{\lambda} \Delta\lambda}$$

Dabei ist

- S_{λ} die relative spektrale Verteilung der Globalstrahlung im Wellenlängenbereich von 300 bis 2300 nm (CIE PUBLICATION 85 T7-2, 1989),
- $\tau(\lambda)$ der spektrale Transmissionsgrad der Bedachung im Wellenlängenbereich von 300 bis 2300 nm und
- $\Delta\lambda$ das jeweilige Wellenlängenintervall.

Für die PAR-Strahlung gilt der Wellenlängenbereich von 400 bis 700 nm. In der schon oben angesprochenen DIN EN 410 wird für die „Lichtdurchlässigkeit“ die spektrale Bewertung durch das menschliche Auge zugrunde gelegt. Hier könnte nun entsprechend mit einer Photosynthese-Wirkungsfunktion gearbeitet werden, wie sie zum Beispiel in der DIN 5031-10 vorgeschlagen ist. Dagegen spricht jedoch, dass wie oben erwähnt die Empfindlichkeitskurven der einzelnen Pflanzenarten und Blattalter nicht übereinstimmen und somit keine einheitliche Bewertungskurve aufgeschrieben werden kann. Verallgemeinernd ist auch festzustellen, dass in einem Gewächshaus oder Wintergarten ein Pflanzenbestand mit mehreren Blättern wächst. Die einfallende Strahlung wird zuerst an der obersten Blattschicht aufgenommen, reflektiert oder zur nächst tiefer liegenden Blattschicht durchgelassen. Dabei wird die Rest-Strahlung von der nächsten Blattschicht absorbiert, reflektiert oder zur nächstfolgenden Blattschicht hindurch gelassen. Somit verändert sich von Blattschicht zu Blattschicht die verfügbare Strahlungs- und Qualität. Die tiefer liegenden Blätter müssen mit der gefilterten Strahlung zurechtkommen. Somit ist das Absorptionsvermögen der tiefer liegenden, älteren Blätter auch auf einen höheren Grünlicht und Dunkelrotlicht-Anteil eingestellt, denn auch dieser Teil der Einstrahlung wird photosynthetisch verwertet. Eine pflanzenspezifische, spektrale Bewertung des PAR-Bereiches erscheint daher nicht sinnvoll.

Daraus ergibt sich dann für den *PAR-Transmissionsgrad* im Wellenlängenbereich von 400 bis 700 nm:

$$\tau_{\text{PAR}} = \frac{\sum_{\lambda=400 \text{ nm}}^{700 \text{ nm}} \text{PAR}_{\lambda} \tau(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=400 \text{ nm}}^{700 \text{ nm}} \text{PAR}_{\lambda} \Delta\lambda}$$

Dabei ist

- PAR_{λ} die relative spektrale Verteilung der Globalstrahlung im PAR (CIE PUBLICATION 85 T7-2, 1989),
- $\tau(\lambda)$ der spektrale Transmissionsgrad der Bedachung im PAR-Bereich und
- $\Delta\lambda$ das jeweilige Wellenlängenintervall.

In der DIN EN 410 ist der UV-Transmissionsgrad für den Wellenlängenbereich von 280 bis 380 nm definiert. Abweichend davon erscheint es hier sinnvoll, das Wellenlängenintervall von 300 bis 400 nm zu definieren, da für die Globalstrahlung nach CIE PUBLICATION 85 (1989) auf der Erdoberfläche keine Strahlung im Wellenbereich unter 300 nm vorhanden ist. Da der PAR-Bereich erst ab 400 nm definiert ist, sollte der Blaubereich unter 400 nm in die UV-Bereichsdefinition aufgenommen werden, da er sich pflanzenbaulich gleichartig auswirkt.

Damit wird der *UV-Transmissionsgrad* zu:

$$\tau_{\text{UV}} = \frac{\sum_{\lambda=300 \text{ nm}}^{400 \text{ nm}} U_{\lambda} \tau(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=300 \text{ nm}}^{400 \text{ nm}} U_{\lambda} \Delta\lambda}$$

Dabei ist

- U_{λ} die relative spektrale Verteilung der Globalstrahlung im UV (CIE PUBLICATION 85 T7-2, 1989),
- $\tau(\lambda)$ der spektrale Transmissionsgrad der Bedachung und
- $\Delta\lambda$ das jeweilige Wellenlängenintervall.

7.4 Kritische Wellenlängen im UV-Bereich

Der Einsatz von Hummeln für die Bestäubung von Gewächshauskulturen einerseits und die passive Abwehr von Schadinsekten andererseits machen die Frage des vorhandenen UV-Lichtes in Gewächshäusern interessant. Es scheint so, dass Insekten bei UV-Strahlung unterhalb von 360 bis 370 nm Pflanzen besonders gut sehen können. Denkt man also an den Einsatz von UV-blockierenden Bedachungsmaterialien oder an den Einsatz von UV-Lampen zum Anlocken von Insekten, so wäre eine Angabe von charakteristischen Wellenlängen des UV-Lichtes sinnvoll, um die Sichtverhältnisse für Insekten abschätzen zu können.

Im PAR-Bereich ist für das Pflanzenwachstum eine hohe Transparenz der Bedachungen gefordert. Bei UV-transparenten Materialien findet man keinen oder nur einen geringen Abfall bei kürzeren Wellenlängen, das heißt, das Sehvermögen von Insekten wird nicht gegenüber den Außenbedingungen beeinträchtigt. Bei UV-filternden oder UV-blockierenden Bedachungsmaterialien findet dagegen ein Übergang von hoher Durchlässigkeit im PAR-Bereich zu niedrigeren Durchlässigkeiten im UV-Bereich statt. Dieser Übergang kann langsam oder mit einem starken plötzlichen Abfall erfolgen und ist allein mit dem UV-Transmissionsgrad nicht darstellbar. Zur Charakterisierung eines Materials könnte zum Beispiel herangezogen werden, bei welcher Wellenlänge noch 50% UV-Durchlässigkeit vorhanden ist. Dieser Wert soll mit λ_{UV50} bezeichnet werden. (Dabei ist jedoch zu bedenken, dass der „50 %-Wert“ willkürlich gewählt wurde und dass zukünftige Forschungsergebnisse zum Beispiel einen „30 %-Wert“ als sinnvoller erscheinen lassen können.)

Für die Interpretation der λ_{UV50} -Wellenlänge ist also ausschlaggebend, ob sie deutlich über oder unter 370 nm liegt. Liegt sie bei 350 nm, so handelt es sich um ein vergleichsweise gut UV-durchlässiges Material. Liegt sie dagegen bei 400 nm, so blockiert das Material UV-Licht stark.

7.5 Hellrot-Dunkelrot-Verhältnis

Die Bewertung des morphologisch wichtigen Hellrot-Dunkelrot-Verhältnisses kann durch den Verhältniswert der Wellenlängenbereiche von 600 bis 700 nm und 700 bis 800 nm erfolgen. Es wird die Definition mittels dieses jeweils breiteren Wellenlängenbereiches vorgenommen, da das Phytochrom-Aktivitätsmaximum von der jeweiligen Messmethode abhängt und auch nicht für alle Pflanzenarten untersucht wurde. Zudem zeigte sich in der Auswertung von Pflanzenbauversuchen, dass das weitere Verhältnis besser mit den Ertragsergebnissen korrelierte (HOFFMANN, 1999). Das „enge“ Verhältnis bezieht sich auf die Bereiche 655 bis 665 und 725 bis 735 nm.

Somit wird das Hellrot-Dunkelrot-Verhältnis ζ (zeta) definiert zu:

$$\zeta = \frac{\sum_{\lambda=600 \text{ nm}}^{700 \text{ nm}} HR_{\lambda} \cdot \tau(\lambda) \cdot \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=700 \text{ nm}}^{800 \text{ nm}} DR_{\lambda} \cdot \tau(\lambda) \cdot \Delta\lambda}$$

Dabei ist

HR_{λ} die relative spektrale Verteilung der vorhandenen Strahlung im Wellenlängenbereich von 600 bis 700 nm (CIE PUBLICATION 85 T7-2, 1989);

DR_{λ} die relative spektrale Verteilung der vorhandenen Strahlung im Wellenlängenbereich von 700 bis 800 nm (CIE PUBLICATION 85 T7-2, 1989),

$\tau(\lambda)$ der spektrale Transmissionsgrad der Bedachung im Wellenlängenbereich von 600 bis 700 nm, bzw. 700 bis 800 nm und

$\Delta\lambda$ das jeweilige Wellenlängenintervall.

Tab. 2: Bewertung von Lichtquellen.

Strahlungsquelle	Globalstrahlung 300 – 2 300 nm W/m ²	Physiologisch wirksame Strahlung 300 – 800 nm W/m ²	PAR-Anteil ¹⁾ %	UV-Anteil ¹⁾ %	ζ -Wert ²⁾ –
Direkte Solarstrahlung ³⁾	679	423	56,4	5,9	1,27
Solarstrahlung bei bedecktem Himmel ³⁾	199	147	65,3	8,3	1,48
HD-Natriumdampflampe ⁴⁾	–	13,4	92,0	1,4	5,3
HD-Metallhalogen-dampflampe ⁴⁾	–	10	90,0	4,5	4,3

¹⁾ Bei Solarstrahlung liegt der Bezug auf Globalstrahlung, bei elektrischen Lichtquellen auf der physiologisch wirksamen Strahlung (ohne NIR- und IR-Strahlung)

²⁾ ζ -Wert = Hellrot-Dunkelrot-Verhältnis

³⁾ nach CIE Publ. 85, 1989

⁴⁾ jeweils 1 Lampe, Messabstand 1 m senkrecht unter Leuchte SON-K 400

Bei elektrischem Zusatzlicht wird die entsprechende Strahlungsverteilung in Ansatz gebracht.

Bei der Benutzung dieses Verhältnisses muss man sich vor Augen halten, dass es sich um eine Bewertungszahl handelt, die aufgrund eines festgelegten Solarstrahlungsspektrums ermittelt wird. Da sich im Pflanzenanbau bei unterschiedlichen Wetterbedingungen oder unter Kunstlicht andere Strahlungsspektren und somit andere Verhältniszahlen ergeben, ist ein direkter Vergleich der Zahlen nicht immer möglich. Die Bewertungszahl ζ ist daher nur für den Vergleich verschiedener Materialien untereinander geeignet und gibt an, in welcher Weise das Bedachungsmaterial das Strahlungsumfeld der Pflanzen verändern wird. Dabei wäre als „neutral“ der ζ -Wert von 1,27 anzusehen, da er sich bei der Bestimmung des Hellrot-Dunkelrot-Verhältnisses des Referenzspektrums nach CIE PUBLICATION 85 T7-2(1989) ergibt. Ein Wert darunter bedeutet eine Verschiebung zum Dunkelrot und ein höherer Wert zeigt einen gesteigerten Hellrot-Anteil an. Dies kann nur ein Anhaltspunkt sein, da nicht alle Pflanzen gleichartig reagieren und zum Beispiel Schatten liebende Pflanzen nicht oder nur gering auf das Hellrot-Dunkelrot-Verhältnis reagieren. Dieser ζ -Wert ist also nicht für die direkte Prognose oder für den Vergleich mit einer Pflanzenversuchsmessung geeignet. Dazu müsste das Strahlungsspektrum vor Ort gemessen, mit dem Referenzspektrum verglichen und analysiert werden.

8 Bewertungen der Materialien

Führt man die beschriebene Bewertung für alle oben aufgeführten Materialien durch, erhält man die in den Tab. 2 und 3 wiedergegebenen Werte.

Aus Tab. 2 wird deutlich, dass der Anteil der PAR-Strahlung bei bedecktem Himmel anteilig an der Gesamtstrahlung höher liegt (ca. 65 % gegenüber 56 %). Ebenso verhält sich der UV-Anteil. Er steigt von 6 auf 8 % und kann, wie Messungen bei starker Bewölkung zeigten, sogar auf ca. 10 % der herrschenden, dann relativ geringen Strahlung steigen. Die pflanzenbaulich nicht interessanten Wellenlängenbereiche des nahen Infrarots in der Solarstrahlung werden also durch Bewölkung stärker geschwächt als die pflanzenwirksame Strahlung.

Die durchgeführte Bewertung zeigt keine starke Differenzierung zwischen Hochdruck-Natriumdampflampe und der Hochdruck-Metallhalogenlampen, da das abgegebene Spektrum im PAR-Bereich liegt. Um weiteren Aufschluss über die Lichtqualität zu bekommen, müssen hier die Wellenlängenbereiche detaillierter untersucht werden. Zu beachten ist, dass der Anteil an hellrotem Licht beider Lampentypen hoch ist, was sich im Hellrot-Dunkelrot-Verhältnis von 4 bis 5 ausdrückt.

Die Tab. 3 zeigt die Bewertungen für die Gewächshausbedachungsmaterialien und Schattierungen. Dies ist sicher keine vollständige Liste, da nicht alle auf dem Markt befindlichen Produkte geprüft wer-

Tab. 3: Bewertung von Bedachungs- und Schattiermaterialien entsprechend den vorgestellten Kriterien.

Material	$\tau_{\text{sol}}^{1)}$ %	$\tau_{\text{PAR}}^{2)}$ %	$\tau_{\text{UV}}^{3)}$ %	$\lambda_{\text{UV50}}^{4)}$ nm	ζ -Wert ⁵⁾ –
Planilux Diamant UV-B SP	89,9	91,3	86,3	313	1,28
Klarglas	85,3	89,5	70,8	337	1,31
Blankglas	82,5	88,8	68,5	339	1,34
Beschichtetes Glas	67,3	79,1	52,0	349	1,39
Sonnenschutzglas	34,7	62,5	12,6	408	2,14
ETFE-Folie	93,1	92,4	88,5	–	1,26
PE-Folie ohne UV-Stabilisierung (Baufolie)	89,9	89,3	87,6	–	1,26
UV-durchlässige, UV-stabilisierte PE-Folie	87,8	86,9	82,4	–	1,26
Standard-PE-GH-Folie	85,8	88,7	33,7	373	1,26
UV-blockierende Diffusor-Folie	80,0	82,1	3,9	403	1,25
PVC-Folie	86,2	91,6	12,4	391	1,27
Diffusor-Folie	80,3	83,0	31,7	375	1,26
PE-Folie mit Interferenzpigmenten	74,4	80,2	27,4	380	1,39
Schattierfarbe mit Interferenzpigmenten auf UV-durchlässiger PE-Folie	50,0	59,6	12,3	409	1,81
Konventionelle Schattierfarbe auf UV-durchlässiger PE-Folie	50,0	48,0	40,7	–	1,24
Schattierfolie mit Kupferpigmenten	28,3	20,6	2,9	–	1,10
Schwarzes Schattiertuch	42,1	41,5	41,3	–	1,26
Weißes Schattiertuch	40,8	40,0	23,4	–	1,25
Schattiergewebe mit Aluminiumbändchen	26,3	26,3	20,3	–	1,26
Grünes Schattiertuch	45,7	36,6	29,5	–	1,04
Blaues Schattiertuch	43,1	39,8	36,4	–	0,97
Oranges Schattiertuch	40,1	29,8	26,2	–	1,21

¹⁾ τ_{sol} = Transmissionsgrad für solare Strahlung, 300 bis 2300 nm

²⁾ τ_{PAR} = Transmissionsgrad für PAR, 400 bis 700 nm

³⁾ τ_{UV} = Transmissionsgrad für UV-(Blau-)Strahlung, 300 bis 400 nm

⁴⁾ λ_{UV50} = Wellenlänge, bei der 50 % UV-Transmission des Materials vorhanden ist. Ist kein Wert angegeben, so handelt es sich um UV-transparentes Material oder – wie bei Schattierungen – die Durchlässigkeit des Materials liegt insgesamt niedriger als 50 %.

⁵⁾ ζ -Wert = Hellrot-Dunkelrot-Verhältnis

den konnten. Es liegt an den Anwendern, bei den Produktherstellern die technischen Daten, einschließlich der Bewertungen, zu erfragen. Erst wenn der Bedarf an solchen Bewertungen offenkundig wird, werden die Hersteller entsprechende Berechnungen auf der Grundlage ihrer Produktdaten durchführen und publizieren. Die hier vorgestellten Werte bieten die Möglichkeit, die vom jeweiligen Hersteller genannten Werte einzuordnen und mit den hier genannten Informationen zu vergleichen und zu bewerten.

Die hier durchgeführte Bewertung mit Hilfe der Strahlung nach CIE PUBLICATION 85 T7-2 (1989), in Anlehnung an die Methodik der DIN EN 410, gibt Auskunft über die optischen Eigenschaften der Materialien und über ihre pflanzenbauliche Eignung. Zu be-

achten ist jedoch auch, dass insbesondere die mechanischen und allgemeinen optischen Anforderungen an landwirtschaftliche Folien – also auch Gewächshausbedachungsfolien – in der DIN EN 13206 (2001) festgeschrieben sind.

9 Zusammenfassung: Quantität – Qualität

Die Beurteilung des Lichtangebotes für Pflanzen ist in Mitteleuropa primär eine Frage der Verfügbarkeit einer ausreichenden Lichtmenge im lichtarmen Winterhalbjahr, weshalb eine hohe Transparenz für photosynthetisch wirksame Strahlung der Gewächshausbedachung gefordert wird. Insbesondere bei Schwachlichtbedingungen macht sich die spektrale Zusammensetzung des Lichtes bemerkbar, weil dann häufig nicht genügend blaues und hellrotes Licht zur Verfügung steht. Eine gute Photosyntheseleistung erfordert eine ausreichende Lichtmenge und daneben auch ein ausreichend blaues Licht-Angebot sowie einen hohen Hellrot-Anteil, damit die Pflanzen sich erfolgreich entwickeln können. Zur Beurteilung der eingesetzten Zusatzlichtquellen, der verwendeten Bedachungs- und Schattiermaterialien im sommerlichen Einsatz können die vorgeschlagenen Bewertungskennzahlen herangezogen werden.

Literatur

- CIE PUBLICATION 85 (1989): Solar spectral irradiance, technical report. CIE, Wien
- CIE PUBLICATION 106/5 (1993): Photobiological effects in plant growth, research note. CIE, Wien
- CIE PUBLICATION 106/8 (1993): Terminology for photosynthetically active radiation for plants, technical report. CIE, Wien
- DIN 5031-10 (2000): Strahlungsphysik im optischen Bereich. Teil 10: Photobiologisch wirksame Strahlung – Größen, Kurzzeichen und Wirkungsspektren. Beuth, Berlin
- DIN EN 410 (1998): Glas im Bauwesen – Bestimmung der lichttechnischen und strahlungsphysikalischen Kenngrößen von Verglasungen. Beuth, Berlin (Nachfolgenorm von DIN 67507)
- DIN EN 13206 (2001): Thermoplastische Abdeckfolien für den Einsatz in der Landwirtschaft und im Gartenbau. Beuth, Berlin
- VON ELSNER, B. (2004): Strahlungsdurchlässigkeit von Gewächshaus-Bedachungen. Gärtnerbörse 104, Nr. 6, S. 34–36
- VON ELSNER, B. (2004): Welche Schattierung für den Gartenbau? – Bewertungsschema zur Eignung von Gewächshauseindeckungen. Taspo-Magazin 5, Nr. 1, S. 58-59
- FELLENBERG, B. (1978): Entwicklungsphysiologie der Pflanzen. Thieme, Stuttgart
- GEUTLER, G.; KROCHMANN, J. (1987): Die Messung der für die Photosynthese wirksamen Bestrahlungsstärke. Gartenbauwissenschaft 43, 271-280
- HOFFMANN, S. (1998): Beurteilung von Wärme- und Sonnenschutzgläsern hinsichtlich ihrer Eignung für die Innenraumbegrünung. ITG, Hannover (Gartenbautechnische Informationen 45)
- HOFFMANN, S. (1999): Zur Wirkung von photoselaktiven Bedachungsmaterialien auf Zierpflanzen. ITG, Hannover (Gartenbautechnische Informationen 46)
- JANSEN, H.; BACHTHALER, E.; FÖLSTER, E.; SCHARPF, H.-C. (1989): Gärtnerischer Pflanzenbau. 3. Aufl. Ulmer, Stuttgart