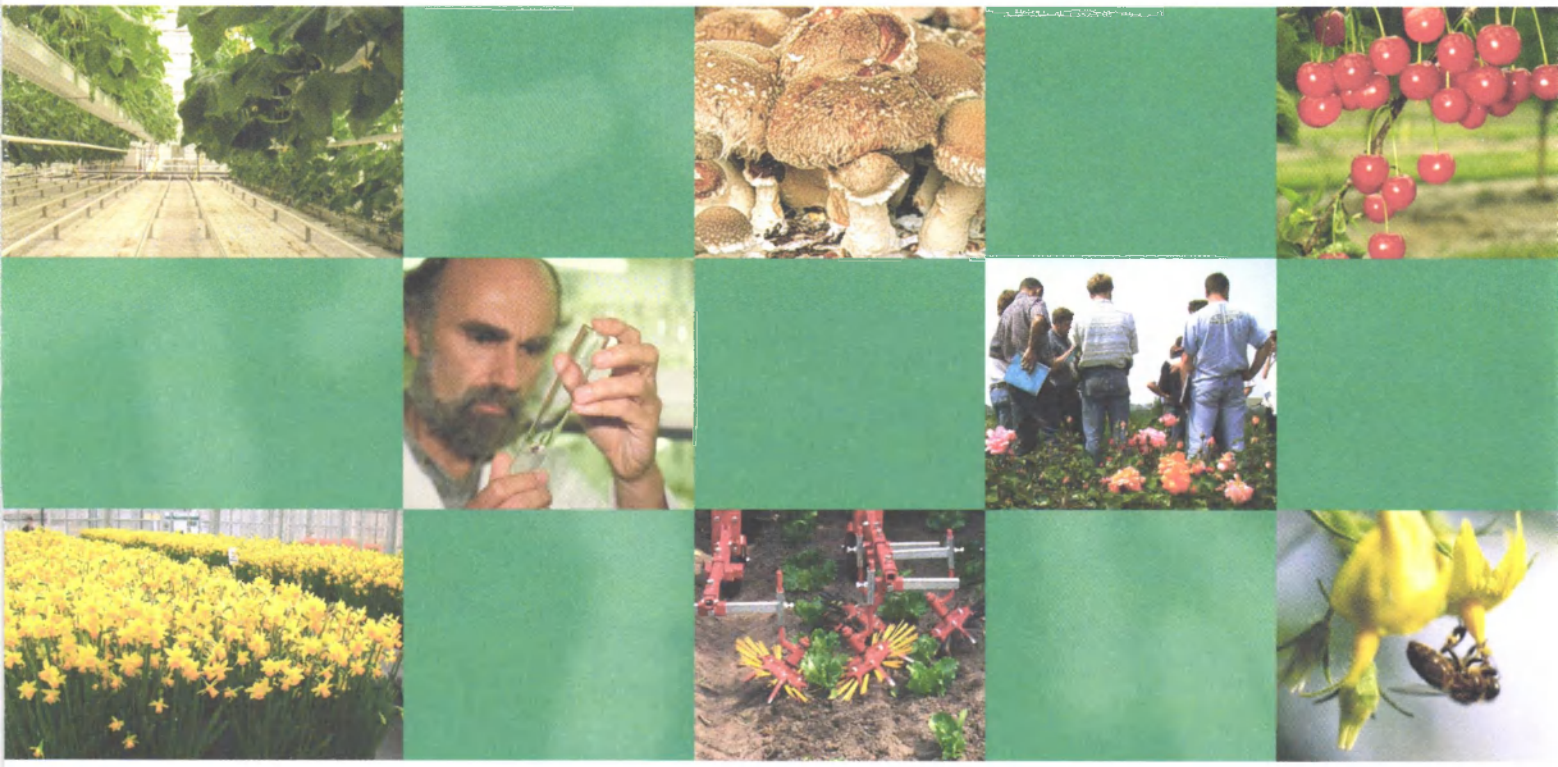
PRAKTIJKONDERZOEK
PLANT & OMGEVING
WAGENINGEN UR

# Functies van bomen in het filteren van zonlicht

M.P.M. Derkx



Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.
Bomen
maart 2007

PPO nr. 3236043800

# Functies van bomen in het filteren van zonlicht

M.P.M. Derkx

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.
Bomen
maart 2007

PPO nr. 3236043800

© 2007 Wageningen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.
Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Praktijkonderzoek Plant & Omgeving.

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V. is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Dit is een vertrouwelijk document, uitsluitend bedoeld voor intern gebruik binnen PPO dan wel met toestemming door derden. Niets uit dit document mag worden gebruikt, vermenigvuldigd of verspreid voor extern gebruik.

Projectnummer: 3236043800

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.
Bomen

| | | |
|---|---|---|
| Adres | : | Professor van Slogterenweg 2, Lisse |
| | : | Postbus 85, 2160 AB Lisse |
| Tel. | : | 0252 - 46 21 21 |
| Fax | : | 0252 - 46 21 00 |
| E-mail | : | infobomen.ppo@wur.nl |
| Internet | : | www.ppo.wur.nl |

# Inhoudsopgave

pagina


1 INLEIDING ..... 5
1.1 Opdrachtgever ..... 5
1.2 Probleem ..... 5
1.3 Doelstelling ..... 5

2 ZONNESTRALING ..... 7
2.1 Zichtbare licht ..... 7
2.2 UV ..... 8
2.3 NIR ..... 8
2.4 FIR ..... 9
2.5 Grootheid straling ..... 9

3 FOTOSYNTHESE ..... 11

4 VERDAMPING ..... 13

5 KASDEKMATERIALEN EN SCHERMEN ..... 15

6 AFKOELING IN TUINBOUWKASSEN ..... 17
6.1 Beïnvloeding NIR-straling ..... 17
6.2 Beïnvloeding relatieve luchtvochtigheid ..... 17

7 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN ..... 19

8 GERAADPLEEGDE LITERATUUR ..... 21

# 1 Inleiding

## 1.1 Opdrachtgever

Mobas Projects
Josinahof 11
3621 GC Breukelen
T 0346 252048
F 0346 257330
www.mobasprojects.nl

## 1.2 Probleem

In de zomer kan de temperatuur onder een parasol flink oplopen, waardoor mensen die slecht tegen de warmte kunnen vanwege medische redenen of andere redenen, binnen moeten blijven. Het is bekend dat in de zomer verkoeling te vinden is onder bomen. De achterliggende mechanismen kunnen als basis dienen voor de ontwikkeling van een nieuwe parasol die warmte tegenhoudt en juist verkoeling biedt bij hoge instraling tijdens de zomer.

## 1.3 Doelstelling

Het aandragen van kennis op het gebied van de functie van bomen in het filteren van zonlicht en het bieden van verkoeling. Deze kennis dient als basis voor verder onderzoek naar de vormgeving en industriële materialen voor de ontwikkeling van een nieuwe parasol.

© Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

# 2 Zonnestraling

Een deel van de straling die de zon uitzendt, bereikt de aarde. Zonnestraling wordt namelijk deels geabsorbeerd door de ozonlaag, door waterdamp en andere gassen in de atmosfeer. Ook wordt een deel van het zonlicht door luchtmoleculen en stofdeeltjes gereduceerd. Stofdeeltjes en waterdruppels verstrooien ook een deel van het zonlicht. Wat uiteindelijk op aarde aankomt, wordt de globale straling genoemd. De globale straling verandert door de zonnestand, de geografische breedte, het seizoen, het tijdstip van de dag en de mate van bewolking. Zonlicht wordt op de aarde ingestraald met een spectrum van verschillende zichtbare en onzichtbare zonnestralen waarvan de golflengte uiteenloopt van 280-3000 nm. Er zijn verschillende soorten straling te onderscheiden: ultraviolet (UV), het zichtbare gebied en nabij-infrarood (NIR)(tabel 1). Ongeveer 50% van de globale straling ligt in het zichtbare gebied en ongeveer 50% ligt in het nabij infrarode gebied van het spectrum. De spectrale samenstelling van zonlicht dat het aardoppervlak bereikt is vrij constant.

Tabel 1. Verschillende soorten straling in zonlicht.

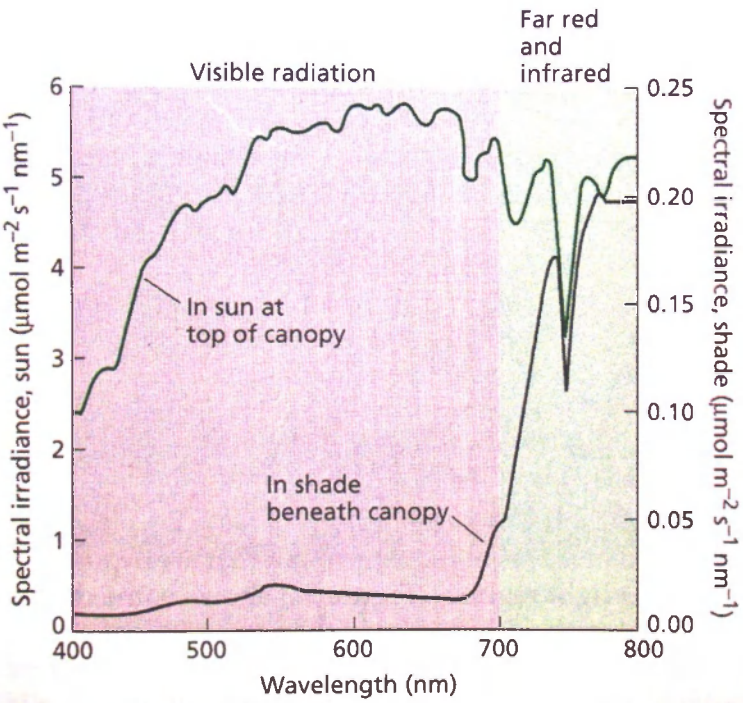
| Straling | Afkorting | Golflengte (nm) |
|---|---|---|
| Ultraviolet | UV-B<br>UV-A | 280-315<br>315-400 |
| Zichtbaar | B (blauw)<br>G (groen)<br>R (rood) | 400-500<br>500-600<br>600-700 |
| Nabij infrarood | FR (verrood)<br>NIR | 700-800<br>800-3000 |
| Ver infrarood | FIR | 3000 – 100.000 |

## 2.1 Zichtbare licht

Een deel van de straling is dus zichtbaar voor het menselijke oog. Deze zichtbare straling ligt in het golflengtegebied tussen 380 en 780 nm en bestaat uit de kleuren blauw, groen, geel, oranje en rood. Mensen zien groen licht tientallen malen beter dan blauw en rood licht. Planten reageren vooral op rood en blauw licht. Voorwerpen, zoals huizen en bomen weerkaatsen een deel van het zonlicht. Dit bepaalt de kleur van iets zoals wij het waarnemen. Zichtbaar licht speelt een belangrijke rol in de fotosynthese van planten. Het zichtbare gebied van het spectrum wordt daarom in het engels ook wel photosynthetic active radiation (PAR) genoemd. Rode straling is het meest efficiënt voor de fotosynthese van planten, maar het speelt ook een rol bij fotoperiodiciteit (reactie van planten op de daglengte) en fotomorfogenese (reacties op licht in een plant, bijvoorbeeld op het gebied van zaadkieming, bloei, vruchtzetting en rust). De verhouding tussen rode (R) en verrode straling (FR) is de bepalende factor bij de verschillende fysiologische processen in de plant. De verhouding R:FR in de globale straling is in elk seizoen ongeveer gelijk, namelijk 1,20. Bewolking zorgt ervoor dat het aandeel rood toeneemt. In de ochtend- en avondschemering nemen de relatieve hoeveelheden FR en blauw toe. Blauwe straling speelt ook een rol bij de fotosynthese en de fotomorfogenese. De stralingsintensiteit van blauwe straling neemt toe naarmate de zonnestand hoger is. Bewolking zorgt er ook voor dat het aandeel blauwe straling toeneemt. Stof en waterdamp in de lucht zorgen er juist voor dat het aandeel blauwe straling afneemt. Groene straling heeft weinig effect op planten. Planten hebben een grote invloed op de spectrale samenstelling van het licht (figuur 1). Rood licht wordt voor een belangrijk deel geabsorbeerd, verrood licht juist niet. Dit betekent dat de verhouding tussen rood en verrood licht afneemt onder een bladerdek. Boven een bladerdek was deze ongeveer 1,20; in een eikenbos is de verhouding nog maar 0,5 tot 0,75. Uiteraard bepaalt de stand en de dichtheid van het bladerdek in welke mate de verhouding tussen R en FR afneemt. De dichtheid en de kleur van het bladerdek bepalen dus de samenstelling van het licht onder een plant of boom.

## 2.2 UV

UV straling is het deel van de globale straling met de hoogste energie. UV straling met een golflengte lager dan 300 nm (UV-C) wordt volledig geabsorbeerd door ozon. Het grootste deel van de UV straling (95%) is UV-A straling (300-400 nm). Het aandeel UV straling is in de zomer, wanneer de zon hoger staat, hoger dan tijdens de winter. Met toenemende bewolking neemt het aandeel UV straling absoluut af. Relatief neemt het juist toe. Deze straling kan kunststoffen aantasten. Om dit te voorkomen worden wel UV stabilisatoren aan kunststoffen toegevoegd. UV straling heeft vooral invloed op de fotomorfogenese en kleuring van planten. Een klein deel wordt gebruikt voor fotosynthese en groei. Mensen hebben UV-B straling (280-315 nm) nodig voor de aanmaak van vitamine D. Hiervoor is echter maar een klein beetje UV-B straling nodig. UV-B straling is ook verantwoordelijk voor het verbranden van de huid. UV-A straling zorgt voor veroudering van de huid. Beide soorten UV straling kunnen een rol spelen bij het ontstaan van huidkanker. Beide soorten UV straling zorgen er ook voor dat de huid bruin wordt. Dit geeft een geringe natuurlijke bescherming tegen UV straling. UV-B straling kan er ook voor zorgen dat de huid iets dikker wordt.
De hoeveelheid UV straling die de aarde bereikt, is toegenomen. De belangrijkste oorzaak hiervoor is het dunner worden van de ozonlaag, als gevolg van de uitstoot van chloorfluorkoolwaterstoffen (CFK's). Ook klimaatverandering speelt een rol.




Figuur 1. De spectrale samenstelling van zonlicht boven een gewas en onder in het gewas.
Blauw en rood licht worden voor een belangrijk deel door het gewas geabsorbeerd. Verrood licht en infrarood licht worden voor een belangrijk deel doorgelaten. Uit Taiz and Zeiger, 1998.

## 2.3 NIR

Van de Nabij Infrarode straling wordt vooral straling met een golflengte tussen 700 en 800 nm door planten gebruikt. Deze verrode straling draagt aan diverse fotomorfogenetische processen bij, bijvoorbeeld stengelstrekking en fotoperiodiciteit. Nabij Infrarode straling met een golflengte hoger dan 800 nm wordt nauwelijks gebruikt door planten, anders gezegd: het heeft geen directe invloed op de plant. Als indirect gevolg van deze straling worden planten opgewarmd. Planten geven deze warmte weer af aan hun

omgeving. Afhankelijk van de locatie en het seizoen is dit gunstig of niet. In de winter kan het bijdragen aan gewenste opwarming in een tuinbouwkas, waardoor bespaard kan worden op het verbruik van gas. In de zomer kan NIR straling voor oververhitting en stressverschijnselen van planten zorgen. Het aandeel NIR straling is relatief groter bij een lage zonnestand dan bij een hoge zonnestand. Het aandeel NIR neemt relatief af bij toenemende bewolking.

## 2.4 FIR

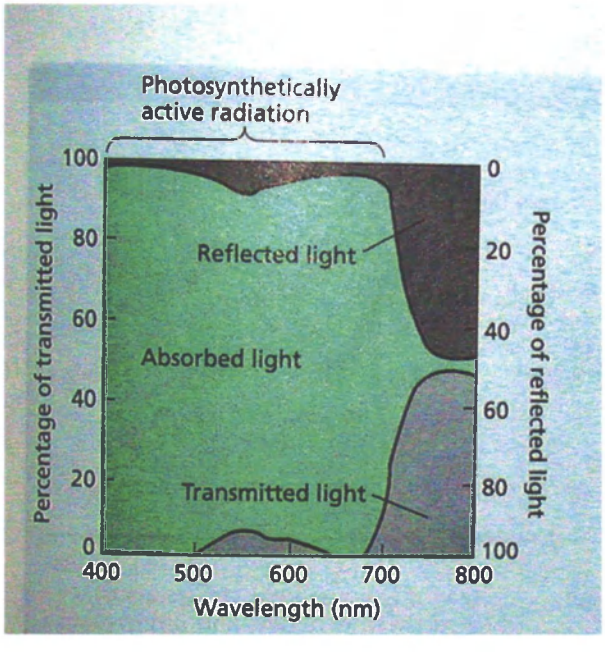
Ver infrarode straling met golflengtes tussen 3000 en 100.000 nm is niet het gevolg van directe zoninstraling, maar is warmtestraling, die door elk warm 'lichaam' wordt uitgezonden. Deze straling veroorzaakt in kassen voor de glastuinbouw een deel van het broeikaseffect.

## 2.5 Grootheid straling

De globale straling kan in verschillende grootheden worden uitgedrukt. Meteorologen gebruiken vaak de energie-inhoud van straling in W $m^{-2}$. Biologen zijn geïnteresseerd in het aantal fotonen (lichtdeeltjes) van de straling, omdat deze van belang zijn voor de fotosynthese van planten. Fotosynthese is niet gerelateerd aan de totale energie-inhoud van de straling. De energie-inhoud van een 400 nm foton (blauw) is bijvoorbeeld 1,75 maal hoger dan die van een 700 nm foton (rood), maar voor de fotosynthese zijn beide fotonen gelijkwaardig. De gebruikte grootheid is dan µmol $m^{-2}$ $s^{-1}$. De grootheden kunnen in elkaar worden omgerekend.
De stralingsintensiteit van de globale straling varieert in Nederland van gemiddeld 70 W $m^{-2}$ (320 µmol $m^{-2}$ $s^{-1}$) in de winter tot 270 W $m^{-2}$ (1250 µmol $m^{-2}$ $s^{-1}$) in de zomer. De gemiddelde lichtsom is 4500 Wh $m^{-2}$ (20730 µmol $m^{-2}$) in de zomer en 600 Wh $m^{-2}$ (2770 µmol $m^{-2}$) in de winter.

# 3 Fotosynthese

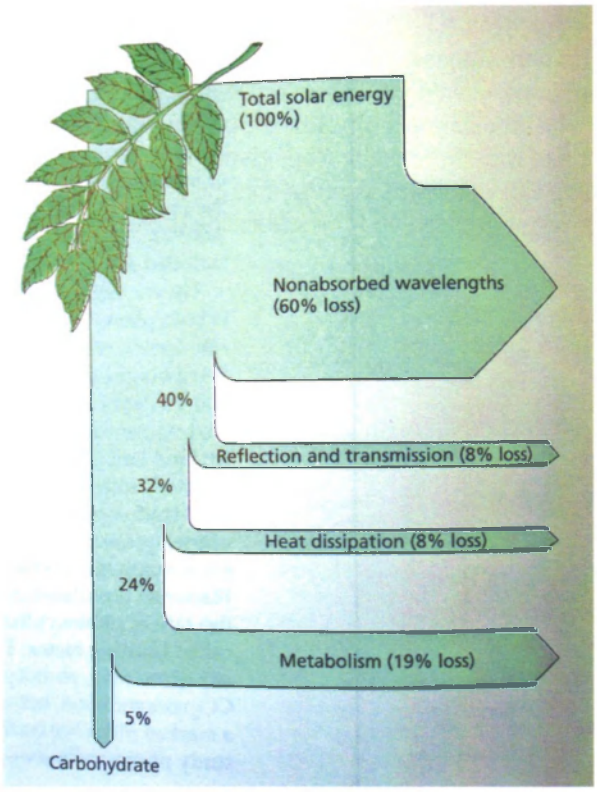
Zonlicht is nodig voor de groei en ontwikkeling van planten. Onder invloed van zonlicht zetten planten kooldioxide en water om in suikers en zuurstof. Dit proces heet fotosynthese. Alleen straling uit het zichtbare deel van het spectrum wordt gebruikt voor de fotosynthese. Dit betekent dat maar een klein deel van de straling die op een blad valt, benut wordt voor de fotosynthese. Het merendeel van de straling wordt dus niet geabsorbeerd door het blad, maar doorgelaten of gereflecteerd (figuur 2). De straling die geabsorbeerd wordt, zorgt ervoor dat de temperatuur van de plant oploopt. De temperatuur van de plant kan ook oplopen door Nabij Infrarode straling. De plant kan warmte energie actief afvoeren als de temperatuur teveel oploopt. Dit gebeurt door verdamping van water waarvoor de energie aan het blad wordt onttrokken. Een deel van de opgenomen straling wordt gebruikt voor metabolische processen in de plant (Figuur 3).




Figuur 2. Overzicht van de hoeveelheid licht van verschillende golflengten dat door een blad wordt geabsorbeerd, gereflecteerd en doorgelaten. PAR licht wordt voor 85-90% geabsorbeerd door een blad. Verrood licht wordt voor een groot deel doorgelaten en gereflecteerd. Uit Taiz and Zeiger, 1998.

Rode straling speelt de grootste rol bij de fotosynthese, terwijl blauwe straling een geringere rol speelt. Planten vangen licht op met behulp van pigmenten. Het bekendste pigment is chlorofyl, ook wel bladgroen genoemd. Hiervan bestaan twee vormen chlorofyl a en chlorofyl b. Chlorofyl a absorbeert vooral rode straling, chlorofyl b absorbeert vooral blauwe straling. Een ander pigment is β-caroteen. Dit pigment absorbeert licht in het blauw-groene deel van het spectrum. Dit wordt overgedragen aan chlorofyl en op die manier ook gebruikt voor de fotosynthese. De bladpigmenten absorberen 70-90% van de lichtenergie. Een deel hiervan gaat verloren in de vorm van warmte en fluorescentie (figuur 3).
Planten hebben verschillende groepen van fotoreceptoren. De bekendste groep is die van de fytochromen, die licht waarnemen in het rode en in het verrode gebied van het spectrum. Fytochroom komt in twee verschillende vormen voor, een inactieve Pr vorm en een actieve Pfr vorm. De inactieve Pr vorm kan rood licht absorberen en wordt dan omgezet in de actieve Pfr vorm. Deze reactie is reversibel. Verrood licht kan de actieve Pfr vorm weer omzetten in de inactieve Pr vorm.

$$Pr \underset{730\ nm}{\overset{660\ nm}{\rightleftarrows}} Pfr \longrightarrow \text{morfogenetisch effect}$$




Figuur 3. Omzetting van lichtenergie in suikers in een blad. Van de totale hoeveelheid globale straling die op een blad valt wordt maar een klein deel gebruikt voor de fotosynthese. Een groot deel wordt niet geabsorbeerd, een deel wordt gereflecteerd en doorgelaten, een deel gaat verloren als warmte en een deel is nodig voor metabolische processen. Uit Taiz and Zeiger, 1998.

Andere receptoren zijn de cryptochromen en fototropinen. Deze absorberen blauw licht en UV-A. Ook zou er een specifieke receptor van UV-B in planten aanwezig moeten zijn, maar deze is nog niet geïdentificeerd. Blauw licht speelt een belangrijke rol bij de opening van huidmondjes (zie hoofdstuk verdamping).

# 4 Verdamping

Opname, transport en afgifte van water door een plant betreft verplaatsingen van hogere naar lagere waterpotentialen. Een plant neemt water en mineralen, zoals stikstof, fosfor, kalium en calcium, op met zijn wortels. Ook is opname van water en mineralen via het blad mogelijk. Hiervan wordt gebruik gemaakt bij bladbemesting en het spuiten van bestrijdingsmiddelen op planten. Water dat door de wortels opgenomen wordt, komt in de wortelcellen terecht. Vanuit de wortels komt het water in de houtvaten en dan in de celwanden en intercellulairen van het blad. Water verdampt vervolgens via diffusie uit het blad naar de buitenlucht. Dit vergt energie. Slechts een klein deel van het water dat een plant opneemt (ongeveer 1%) blijft in de plant zelf, dus verdamping is een belangrijke bron van waterdamp. Een volwassen stadsboom kan wel 750 mm water per jaar verdampen.
Verdamping van water is nodig om de overdag ingestraalde en geproduceerde warmte aan de bladeren te onttrekken. Verdamping gebeurt via de ademholten, die onder de huidmondjes liggen. Huidmondjes zijn kleine afsluitbare openingen (10-40 µm lang en 2-12 µm breed, 10.000 per $cm^2$ blad), vaak aan de onderkant van een blad, waardoor het blad gassen, zoals waterdamp en kooldioxide, kan uitwisselen met de buitenwereld. Het water dat uit de ademholten verdampt, wordt aangevuld uit de waterfilm rondom de cellen. De weerstand van de huidmondjes is bepalend voor het gehele watertransport. De waterstroom wordt daar gereguleerd door het openings- en sluitingsmechanisme van de huidmondjes. Huidmondjes gaan open wanneer het licht wordt en sluiten zich als het donker wordt. 's Nachts kan dan ook geen fotosynthese plaatsvinden. Op een warme zonnige dag blijft de wateropname door de wortels achter bij de afgifte van water door het blad. Dit kan leiden tot verwelking en de huidmondjes kunnen dan dicht gaan. De plant kan zich 's nachts hiervan herstellen als de lucht afkoelt en de relatieve luchtvochtigheid stijgt. 's Nachts neemt door de worteldruk, een stuwkracht vanuit de wortels, wel opname van water plaats. Dit gebruikt de plant voor een deel voor celstrekking, wat bijdraagt aan de groei van een plant.
De verdamping van een plant wordt beïnvloed door diverse omgevingsfactoren, zoals de relatieve luchtvochtigheid, de temperatuur en de windsnelheid. Bij stijging van de temperatuur door instraling van de zon loopt de temperatuur van een blad op. Op een zomerse dag kunnen bladeren in de zon al gauw 8-10°C warmer worden dan de omringende lucht. Waterdeeltjes in de vloeibare toestand gaan daardoor over naar de gasvormige toestand. Deze waterdamp gaat door de huidmondjes naar buiten. Door het onttrekken van verdampingswarmte zal het blad afkoelen. Om weer in evenwicht met de omringende lucht te komen, neemt ook de temperatuur van de omringende lucht af. Vandaar dat mens, dier en plant koelte onder bomen ervaren. Ook is op een zonnige dag een tuinbouwkas met daarin een gewas merkbaar koeler dan een lege kas. Terwijl de temperatuur afneemt bij verdamping, gebeurt het omgekeerde als water condenseert, dus als waterdamp omgezet wordt in vloeibaar water. Hierbij komt energie vrij en daardoor neemt de temperatuur juist toe.
De relatieve luchtvochtigheid neemt af als de temperatuur toeneemt. Een lage relatieve luchtvochtigheid draagt ook bij aan een sterkere verdamping. Als er geen wind is, vlakt de verdamping af bij toenemende openingstoestand van de huidmondjes af. Bij wind wordt een waterdampgradiënt in stand gehouden en blijft de verdamping sterk toenemen.

© Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

# 5 Kasdekmaterialen en schermen

Veel tuinbouwgewassen worden in kassen geteeld om een optimale groei en productie te realiseren. Een hoge lichtintensiteit is belangrijk voor een goede groei, maar ook de lichtkwaliteit (verhouding in lichtkleuren en daglengte) is belangrijk in verband met het sturen van diverse fysiologische processen in de plant. Daarnaast is het belangrijk dat de temperatuur in de zomer niet te hoog wordt omdat dit bladverbranding kan geven, maar ook een reductie in productie. Om veel licht in de kas te krijgen is glas een geschikt kasomhullingsmateriaal. Vaak wordt traditioneel blank glas gebruikt. Andere opties zijn gehard glas of wit glas (Planilux-Diamant van de fa. Vegla uit Aken (D). Het gebruik van wit glas heeft voordelen omdat het meer licht doorlaat dan blank glas en ook UV-B straling doorlaat. Ook is er glas met anti-reflectiecoating, maar dit is nu nog relatief duur. Voor kasdekken worden ook kunststofplaten gebruikt, bijvoorbeeld PMMA (polymethylmethacrylaat, andere namen acryl, perspex of plexiglas) en PC (polycarbonaat, andere naam Lexan). De kosten zijn hoger dan die van enkelglas. PC laat geen UV straling door. Bij PMMA is dit afhankelijk van het type materiaal. PMMA heeft een ongunstig brandgedrag. Nog een andere optie voor kasdekmaterialen is het gebruik van folies, bijvoorbeeld folies van PE (polyethyleen) en EVA (ethyleenvinylacetaat). Aan deze folies moeten UV stabilisatoren worden toegevoegd om de levensduur te verlengen. Zelfs met deze UV stabilisatoren is de levensduur beperkt (5-6 jaar). Er zijn nieuwe folies (ETFE, etheentetrafluoretheen) op de markt die meer dan 10 jaar meegaan. Voordeel van folies is dat gemakkelijk additieven en pigmenten toegevoegd kunnen worden, die bijvoorbeeld NIR straling reflecteren of licht diffuus maken.
Behalve kasdekmaterialen kunnen ook schermen invloed hebben op de instraling in een kas. Als zonweringsscherm wordt vaak gebruik gemaakt van bandjesschermen met gealuminiseerde kunststoffoliebandjes en daartussen open stroken. De mate van zonwering wordt bepaald door de materiaaleigenschappen van de gealuminiseerde bandjes en door de oppervlakteverhouding tussen bandjes en open stroken. Zonweringsschermen zijn te koop met een zonweringspercentage tussen 40 en 85%.

© Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

# 6 Afkoeling in tuinbouwkassen

## 6.1 Beïnvloeding NIR-straling

Zoals eerder gezegd heeft NIR straling met een golflengte hoger dan 800 nm nauwelijks directe invloed op een plant. De NIR straling wordt doorgelaten door de plant en zorgt voor opwarming. Omdat teveel opwarming in tuinbouwkassen in de zomer ongewenst is, besteedt deze sector veel aandacht aan het tegenhouden van NIR straling in kassen. Deze kennis kan aanknopingspunten bieden voor de ontwikkeling van een parasol die verkoeling biedt. Ruim 60 jaar geleden werden in tuinbouwkassen al waterfilms gebruikt om NIR-straling tegen te houden. Nadeel was echter dat ook teveel PAR straling tegengehouden werd, wat nadelig was voor de productie van het gewas. Er bestaat NIR-reflecterend krijt (ReduHeat), dat afhankelijk van de concentratie, ongeveer de helft van de NIR-straling tegenhoudt, maar gelijktijdig meer PAR doorlaat dan een vergelijkbaar traditioneel krijtmiddel dat 's zomers op kassen gebruikt wordt. Een andere optie om NIR straling te reflecteren is het gebruik van folies. Een folie is bijvoorbeeld ontwikkeld door het Belgische bedrijf Hyplast met daarin NIR interfererende pigmenten van Merck. Ook het Nederlandse bedrijf Oerlemans en het Japanse bedrijf Mitsui Chemicals ontwikkelden diverse prototypes van folies. Ook vaste coatings kunnen toegevoegd worden aan folies of glas. Het gebruik van schermen is ook een optie om NIR straling tegen te houden. Beweegbare schermen in de kas bleken echter onvoldoende resultaat te geven. Externe schermen waren wel in staat de temperatuur in de kas met 2°C te laten afnemen. Er zijn dus verschillende opties die een rol kunnen spelen bij het wegnemen van overtollige straling en teveel opwarming en bladverbranding kunnen voorkomen. Ook het diffuus maken van de straling, bijvoorbeeld met behulp van niet-heldere kunststofplaten zorgt ervoor dat minder opwarming plaatsvindt. Nadeel van deze platen is echter dat ze te weinig PAR licht doorlaten, wat een nadelig effect heeft op de productie van de gewassen die in de kas geteeld worden. Het effect van de verschillende maatregelen op de temperatuur in een kas hangt af van de hoeveelheid NIR die weggefilterd wordt. Tot nu toe zijn materialen beschikbaar die 50% van de NIR kunnen reflecteren, zonder dat de hoeveelheid PAR straling in de kas afneemt. Ook spelen ventilatie, verdamping door het gewas en plantdichtheid een rol. Bij weinig blad per $m^2$ ofwel een lage LAI (leaf area index of bladoppervlakte-index = aantal $m^2$ blad per $m^2$ grondoppervlak) speelt reflectie van licht en NIR-straling van de ondergrond een rol bij de opwarming van de lucht daarboven. Een hoge reflectiewaarde van de ondergrond zorgt ervoor dat veel licht terug op een gewas in een tuinbouwkas valt. Hierdoor wordt de lucht in een tuinbouwkas minder opgewarmd bij een hoge stralingsintensiteit in de zomer. In de winter is juist een geringe reflectie gewenst, waardoor een kas beter opwarmt en minder gas nodig is.
Voor de tuinbouwsector is het optimale NIR-reflecterende materiaal nog niet gevonden, maar er liggen wel goede mogelijkheden voor de ontwikkeling. Het toevoegen van bepaalde meerlagen coatings aan een folie of glasfilter lijkt het meeste perspectief te bieden.

## 6.2 Beïnvloeding relatieve luchtvochtigheid

Daksproeiers op tuinbouwkassen kunnen onder zomerse omstandigheden de luchtvochtigheid verhogen. Het water aan de oppervlakte van de druppels verdampt en de druppels koelen af. Deze afgekoelde druppels koelen op hun beurt de buitenlucht en het kasdek. Bij opening van de ramen wordt warme kaslucht uitgewisseld met koele, vochtige buitenlucht.

# 7 Conclusies en aanbevelingen

Bladeren spelen een rol bij het filteren van zonlicht. Licht is namelijk nodig voor de fotosynthese, een proces waarbij kooldioxide wordt omgezet in suikers. Zichtbaar licht en in mindere mate UV licht wordt gebruikt voor de fotosynthese. Nabij Infrarood (NIR) licht wordt door planten nauwelijks geabsorbeerd, maar wordt doorgelaten of gereflecteerd. Als indirect gevolg van infrarood licht worden planten opgewarmd. Als de temperatuur van planten oploopt, neemt de verdamping toe. Hierdoor koelt de plant af. Om weer in evenwicht met de omringende lucht te komen, neemt ook de temperatuur van de omringende lucht af. De koelte die wij daardoor ervaren, bijvoorbeeld onder een boom, is dus niet zozeer het directe gevolg van het tegenhouden van bepaalde delen van het stralingsspectrum, maar een indirect gevolg van het optreden van verdamping van de boom als gevolg van opwarming.
Om een parasol te maken die koelte biedt, zijn twee opties mogelijk, het tegenhouden van de NIR straling of een ontwerp waarbij water verdampt wordt. Ontwikkelingen in de glastuinbouw kunnen hierbij goede aanknopingspunten bieden.

De minste warmtestraling dringt door bij een ondoorzichtig/ondoorlatend materiaal. Voor doorzichtige materialen verdient het aanbeveling een parasol te maken die een goede reflectie van NIR-straling geeft, met als gevolg meer verkoeling. Omdat straling met een golflengte van 800-1000 nm meer energie bevat dan straling met golflengtes tussen 1100 en 2500 nm, is het belangrijk dat vooral de straling met een golflengte van 800-1000 nm gereflecteerd wordt. Een folie of glas met daarin meerlaagse coatings die de NIR straling uitfilteren, lijken het meest perspectiefvol. In de glastuinbouw is het belangrijk dat zo min mogelijk PAR straling tegengehouden wordt. Bij de ontwikkeling van een parasol is een reductie van PAR licht geen probleem, waardoor er minder beperkingen zijn voor het te gebruiken materiaal.

Een parasol die water verdampt zou kunnen bestaan uit een poreus scherm dat in verbinding staat met een waterreservoir op de grond. Aanvoer van water vanuit het reservoir naar het scherm vindt plaats zolang water verdampt, waardoor de waterpotentiaal van het scherm lager is dan die van het reservoir.

© Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

# 8 Geraadpleegde literatuur


Bakker, J.C. 1993. Blad geeft vooral via verdamping warmte af. Brochure 104. Proefstation voor Tuinbouw onder Glas, Naaldwijk, pp. 20-21.

Bruinsma, J. 1985. Syllabus College Inleiding tot de Plantenfysiologie. Wageningen University and Research Centre.

Hemming, S. 2005. Hogere productie mogelijk door tegenhouden NIR-licht. Onder Glas 6/7: 4-5.

Hemming, S. en Rijssel, E. van. 2004. Maak maximaal gebruik van natuurlijk licht. Vakblad voor de Bloemisterij 34: 40-41.

Hemming, S., Waaijenberg, D., Bot, G., Sonneveld, P., Zwart, F. de, Dueck, T., Dijk, C. van, Dieleman, A., Marissen, N., Rijssel, E. van en Houter, B. 2004. Optimaal gebruik van natuurlijk licht in de glastuinbouw. Rapport 100. Agrotechnology & Food Innovations, Wageningen Universiteit en Research Centre.

Hemming, S., Kempkes, F., Braak, N. van der, Dueck, T. en Marissen, N. 2006. Filtering natural light at the greenhouse covering – Better greenhouse climate and higher production by filtering out NIR? Acta Horticulturae 711: 411-416.

Hemming, S., Kempkes, F., Braak, N. van der, Dueck, T. en Marissen, N. 2006. Greenhouse cooling by NIR-reflection. Acta Horticulturae 719: 97-105.

Holsteijn, G.P.A. van. 1985. Vochtgehalte speelt hoofdrol in kassen. Brochure 104. Proefstation voor Tuinbouw onder Glas, Naaldwijk, pp. 8-9.

Kendrick, R.E. and Kronenberg, G.H.M. 1986. Photomorphogenesis in plants. Martinus Nijhof Publishers, Dordrecht, The Netherlands.

Sonneveld, P., Swinkels, G., Kempkes, F., Campen, J. en Bot, G. 2006. Greenhouse with an integrated NIR filter and a solar cooling system. Acta Horticulturae 719: 123-130.

Taiz, L and Zeiger, E. 1998. Plant Physiology. Second edition. Sinauer Associates Inc. Publishers, Sunderland, Massachusetts.

Vogelezang, J.M. 1985. Kaslucht verlangt soms extra vocht. Brochure 104. Proefstation voor Tuinbouw onder Glas, Naaldwijk, pp. 16-17.

Waaijenberg, D. en Marissen, N. 2004. Alles om te weten bij de keuze van het kasdekmateriaal. Vakblad voor de Bloemisterij 35: 36-37.