



NIR-selectief scherm

Energie-, vochtuithouding en gewasrespons

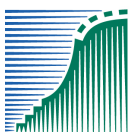
Frank Kempkes¹, Cecilia Stanghellini¹, Silke Hemming¹ & Dai Jianfeng²

¹ Wageningen UR Glastuinbouw

² College of agriculture, Nanjing Agricultural University, Nanjing, China

© 2009 Wageningen, Wageningen UR Glastuinbouw

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 Wageningen UR Glastuinbouw



**landbouw, natuur en
voedselkwaliteit**



Productschap Tuinbouw

Voor een bloeiende zaak



Kas als Energiebron

Wageningen UR Glastuinbouw

Adres : Droevendaalsesteeg 1, 6708 PB Wageningen
: Postbus 16, 6700 AA Wageningen
Tel. : 0317 - 48 60 01
Fax : 0317 - 41 80 94
E-mail : glastuinbouw@wur.nl
Internet : www.glastuinbouw.wur.nl

Inhoudsopgave

	pagina
Samenvatting	1
Dankwoord	3
1 Inleiding	5
2 Materialen en methoden	7
2.1 Kas	7
2.2 Scherminstallatie	8
2.3 Materiaaleigenschappen en kastransmissie	9
2.4 Klimaatregeling	11
2.4.1 Opkweek gewas	11
2.4.2 Proefperiode	11
2.5 Gewas	12
3 Resultaten en discussie	13
3.1 Licht	13
3.2 Klimaat	16
3.3 Verdamping	22
3.3.1 Weeggoten	23
3.3.2 Nutriëntenopname	25
3.4 Gewas	27
3.4.1 Ontwikkeling	27
3.4.2 Productie	29
3.4.3 Kwaliteit	32
4 Conclusie	35
5 Literatuur	37
Bijlage I. Publicaties & presentaties	25 pp.

Samenvatting

De helft van de energie-inhoud van zonnestraling valt in het Nabij-Infra-Rood (NIR) golflengte gebied. Het draagt dus bij aan de verwarming van de kas, en aan de verdamping, maar niet aan de assimilatie. Een kasdek dat de NIR-straling reflecteert heeft de potentie om de koelbehoefte van een kas te verlagen en daarmee energieneutraal telen in termen van semi-gesloten eerder mogelijk te maken en de water use efficiency te verhogen. Een reductie van primair energieverbruik voor CO₂-opwekking wordt gerealiseerd door een reductie van uitstoot van CO₂ door vermindering van de ventilatie bij een vergelijkbare CO₂-concentratie ten opzichte van de conventionele kas.

Doelstelling van dit experiment was het bepalen van de effecten van een NIR-selectief beweegbaar scherm op kas-klimaat en gewas. Om de effecten op het gewas zuiver te houden was het noodzakelijk de neveneffecten van de schermen op temperatuur en PAR-interceptie van het gewas uit te sluiten. Daarom is als referentie (REF) gekozen om een gewas te telen in dezelfde klimaatomstandigheden, met een zelfde PAR-interceptie ten gevolge van het scherm maar met een andere NIR-straling. Hiervoor zijn in de 'REF-afdelingen' schermen geïnstalleerd met zover als mogelijk dezelfde PAR-doorlatendheid als het NIR-selectieve scherm. Daarbij, is de klimaatregeling zo ingesteld dat dezelfde kastemperatuur en CO₂-concentratie setpoints in de twee behandelingen zijn gehandhaafd. Dit is goed gerealiseerd. Daarom worden in dit rapport de actuatoren (met name raamstand) gebruikt als indicatoren van het mogelijk effect van het scherm op het kasklimaat.

Energie:

Door metingen en berekeningen is geschat dat de totale warmtebelasting van de kas door de toepassing van de NIR-schermen is verminderd met circa 12% ten opzichte van de referentiebehandeling.

De verlaagde energietoevoer is ook duidelijk te zien aan de gewasverdamping, die 11% minder was in de NIR-geschermd afdelingen. De balans tussen netto-straling en verdamping heeft geresulteerd in een 0.3 °C koeler gewas 's middags in de NIR-behandeling. De kaslucht was in de middag ook tot 0.8 g/kg droger.

Ventilatie:

Er is een significante vermindering van de ventilatiebehoefte van de NIR-geschermd afdelingen tussen 09:00 en 18:00 met gemiddeld zo'n 3% minder raamopening. Voor enkele dagen zijn de verschillen ook in ventilatiesnelheid uitgedrukt. Door middel van het model van de Jong (1990), werd voor enkele dagen berekend dat de ventilatie massastroom ($\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) in de NIR-geschermd afdelingen gemiddeld 7% minder was dan in de referentie. Dit kan onverwacht lijken, ten opzichte van de geschatte verlaging met ca. 12% van de warmtebelasting. Echter de lucht is in de REF-afdelingen iets warmer en ook vochtiger, wat samen betekend dat een m³ lucht meer enthalpie (latente en voelbare warmte) kan afvoeren. In andere woorden, de ventilatie is efficiënter als energieafvoer methode.

De toevoer van CO₂ is niet altijd voldoende om de gewenste concentratie bij open ramen in beide afdelingen te handhaven. In de afdeling met het NIR-reflecterend scherm is gemiddeld een 40 ppm hogere CO₂-concentratie tijdens de daguren gemeten ten gevolg van de lagere ventilatie. De minimale verschillen in lucht temperatuur (gemiddeld 0.3 °C tussen 10:00 en 18:00) moeten het gevolg zijn van de dode zone tussen de scherm en ventilatie setpoints van de klimaatregeling (alle ingestelde parameters waren dezelfde).

Gewas:

Er waren absoluut geen gevolgen voor de gewasontwikkeling en productie (aantal, drooggewicht en lengte van stelen), die waren vrijwel gelijk in de twee behandelingen. De lagere temperatuur kan de oorzaak zijn van de verlenging van 27.9 naar 29 dagen van de periode tussen ontstaan van nieuwe scheut en oogst. Waarschijnlijk was hierdoor de kwaliteit van de stengels in de NIR-behandeling beter: hoger versgewicht en grotere bloemen.

Er zijn geen spectaculaire resultaten gehaald: De gebruikte instellingen en in mindere mate het weer in de zomer van 2008 zijn zo geweest dat de gewone ventilatie van de referentie kas in het algemeen ruim voldoende was om het

(beperkte) warmteoverschot af te voeren. Extrapolerend naar weersomstandigheden met meer licht en of hogere temperaturen en een kleiner regelbereik voor de ventilatietemperatuur, tonen deze resultaten aan dat:

1. De verlaging van de gewastemperatuur een betere kwaliteit van rozen op kan leveren.
2. Installatie van een NIR-selectief scherm in een semi-gesloten kas het benodigde koelvermogen kan verlagen.
3. Door het verlagen van gewasverdamping zonder enig effect op productie een veel hogere Water Use Efficiency gewaarborgd wordt, hetgeen heel interessant kan zijn in semi-aride gebieden.

Potentiële toepassing

Gebruikers met 'lichtminnende' gewassen zullen bij toepassing van NIR-reflecterende schermmaterialen als deze, door de verlaging van de PAR-transmissie onder Nederlandse omstandigheden al snel teveel productie inleveren, ten opzichte van geen scherm. Toepassing moet dan ook voornamelijk gezocht worden bij gewassen waar nu met zonwering en of krijt wordt gewerkt. Bij toepassing van deze materialen mag de ventilatiecapaciteit niet (teveel) beperkt worden. De gekozen opzet om toch voldoende ventilatie te behouden door het scherm gedeeltelijk open te trekken heeft wel gefunctioneerd maar is installatietechnisch vrij kostbaar en omslachtig in de regeling. Bij toepassing als buitenscherm zou in ieder geval een beter regelbare en eenvoudiger constructie mogelijk zijn, die financieel voordeliger uit zal pakken dan de in dit project gebruikte oplossing. Er zijn echter ook nadelen aan een buitenscherm.

Toepassing van NIR-reflecterende schermen zal bij traditionele kassen een beperkte invloed hebben op het energiegebruik. Het scherm zal worden ingezet op momenten dat de warmtebelasting (te) hoog wordt, momenten waarop in de regel dus niet meer verwarmd wordt. Indien het CO₂-niveau het gewenste setpoint heeft bereikt hoeft minder CO₂ gedoseerd te worden, waarbij een besparing op fossiele brandstof bereikt kan worden. Meestal is het gewenste CO₂-niveau nog niet bereikt en zal het NIR-scherm het CO₂-niveau alleen verhogen.

De verlaging van de verdamping zal tot een drogere kaslucht leiden en op momenten met weinig ventilatie zal dus minder snel door een vochtregeling ingegrepen worden. De momenten waarop dit zich voordoet zijn echter meestal niet de momenten met vochtproblemen. In een traditionele kas zullen de energiebesparingsmogelijkheden bij toepassing van een NIR-reflecterend scherm dan ook zeer beperkt zijn.

In een semigesloten kas zal de verlaging van de stralingsbelasting tot een verbetering van de koelprestaties van de installatie leiden. Bij een gelijkblijvende hoeveelheid koude kan langer gekoeld worden of er kan een lichtere koelinstallatie geïnstalleerd worden. Dit zal tot een besparing leiden die vergelijkbaar is met de vermindering in de stralingsbelasting. Het CO₂-setpoint zal beter gehandhaafd kunnen worden waardoor minder CO₂ ingezet hoeft te worden.

Samenvattend, bij traditioneel telen, zal toepassing niet tot energiebesparing leiden, anders dan in geval van toepassing als een extra (tweede) scherm in de wintermaanden. Bij semi-gesloten telen zal de koelbehoefte met de stralingsbelasting afnemen en daarmee een energiebesparing kunnen opleveren.

Het is vanzelfsprekend dat verbetering van de (nu beperkte) selectiviteit van het materiaal, zonder aantasting van de PAR-eigenschappen, deze positieve effecten enigszins zal versterken. In het licht van het bovenstaande is echter te verwachten dat ook een perfecte selectiviteit zeker effect maar geen spectaculaire gevolgen zou kunnen hebben, in een vergelijkbare proef.

Dankwoord

Deze proef is gefinancierd door het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV) en het Productschap Tuinbouw (PT) middels het energieprogramma *kas als energiebron*.

Het schermmateriaal is ter beschikking gesteld door de producent, 3M company, St. Louis, (Missouri) USA.

De tuinders Marcel Boonekamp, Wim van Kampen en Frank Olieman als mede andere bij de tuinbouw betrokken professional als Edwin van der Knaap (DLV Plant), Kick Jansen (Luiten scherming), Hugo Plaisier (Ludvig Svensson) hebben tijd vrij gemaakt om over de proefopzet en de resultaten te 'discussiëren'. We hebben de sfeer in deze 'begeleidingscommissie' als bijzonder constructief ervaren.

Voor het verwerken van de oogst op zijn sorteermachine willen we Ernst Olieman bedanken.

Mirco Romani, inmiddels afgestudeerd bij de Universiteit van Pisa, Italië, heeft veel geholpen bij de gewasmetingen.

Wij zijn dankbaar aan onze collega Nieves Garcia Victoria voor haar adviezen over de proefopzet, het gewas en de waarnemingen.

Tot slot willen wij onze collega's van het proefbedrijf van Wageningen UR Glastuinbouw (Peter Schrama, Fred van Leeuwen, Gerard van den Broek en Piet Koorneef) bedanken voor alle zorg voor het gewas, de installaties en het steeds gehoor moeten geven aan onze 'vreemde' eisen met betrekking tot klimaat en waarnemingen.

1 Inleiding

De helft van de energie-inhoud van zonnestraling valt in het Nabij-Infra-Rood (NIR) golflengte gebied. Het draagt dus bij aan de verwarming van de kas en aan de verdamping, maar niet aan de assimilatie. Toepassing van een NIR-reflecterend krijt/coating kan meerdere (indirecte) effecten hebben dan de primair beoogde verlaging van de kasluchttemperatuur (Verlodt and Verschaeren, 1997; Tanaka, 1997; Abdel-Ghany et al., 2001; Runkle et al., 2002). Omdat vele van deze gunstig kunnen zijn voor de productie, is het interessant om deze ook in kaart te brengen (Hemming et.al. 2005a). In theorie moet zo'n materiaal de verdamping en kas/gewas temperatuur verlagen bij een onveranderde fotosynthese. Het punt is dat door de filter het klimaat in de kas (temperatuur, vochtigheid, ventilatie-behoefte) zodanig verandert dat een vergelijking moeilijk wordt (Hemming et al. 2005b). De gevolgen op de energievraag van de kas, zijn dan ook onbekend. Optimalisatie van toekomstige NIR-selectieve producten wordt belemmerd door het gebrek aan kennis met betrekking tot deze processen.

In dit project werd dan ook beoogd het effect van de filter op ventilatiebehoefte en CO₂, vocht- en energie-huishouding van de kas in kaart te brengen. Daarnaast de gevolgen van een vermoedelijk lagere verdamping voor vocht- (en energie)huishouding van het gewas, gewasontwikkeling en productie te bepalen.

Dit onderzoek is dan ook faciliterend voor de energiedoelstellingen in de zin dat inzicht wordt verkregen in het optimaal telen in kassen met een energiebesparingspotentieel:

- reductie primair energieverbruik voor CO₂-opwekking
- reductie van uitstoot van CO₂ door vermindering van de ventilatie
- door vermindering van de koelbehoefte wordt bij semi-gesloten teelten energieneutraal telen (eerder) mogelijk
- mogelijke verhoging of kwaliteitsverbetering van de productie.

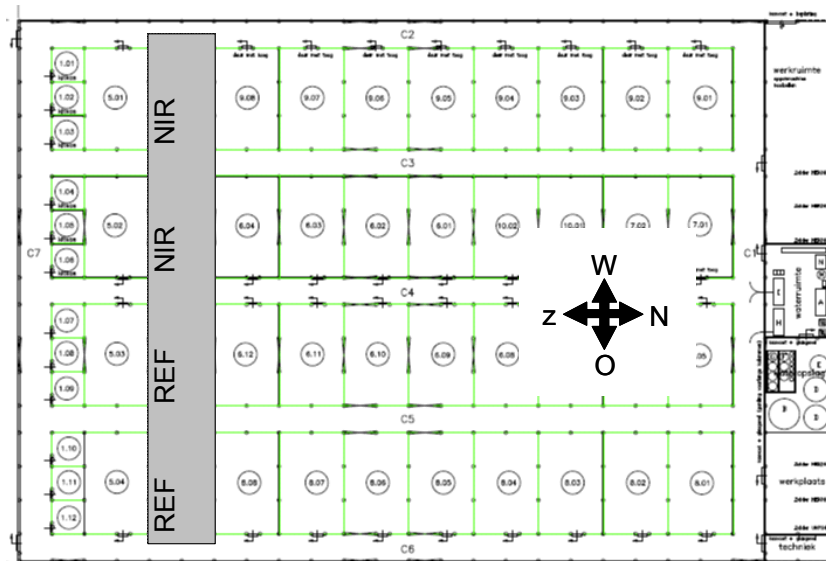
Bij een eerdere deskstudie (Hemming et al., 2005b) was al vastgesteld dat een zinvolle toepassing in Nederland van een NIR-selectief dek alleen zinvol is in het zomerseizoen en als de ventilatiecapaciteit van de kas hierdoor niet beperkt wordt.

In de praktijk waren voor aanvang van dit project een aantal materialen beschikbaar. Als krijttoepassing is Redu-Heat van Madrenko een reeds veel toegepast voorbeeld hiervan, alhoewel er ruimte voor verbetering van de selectiviteit is. Gezien de doelstelling van het project is gekozen voor een maximale reductie van de NIR-belasting en deze alleen in te zetten op momenten dat het noodzakelijk is. Door toepassing van een beweegbaar scherm, aan de binnenkant evenwijdig aan het kasdek gemonteerd, zodat de ventilatie niet gehinderd zou worden, is aan deze voorwaarde voldaan. Tussen de mogelijke materialen is een schermfolie van 3M gekozen dat de beste spectrale eigenschappen van de beschikbare materialen heeft. De proefopzet is zodanig gekozen dat er in 4 afdelingen met roos, een gewas dat kwalitatief een sterke reactie op (te) hoge temperaturen kent, in twee afdelingen een referentiescherm met vrijwel gelijke PAR-transmissie als de 2 afdelingen met het NIR-scherm is gemonteerd. Naast het kwantificeren van het klimaat is er in deze proef veel aandacht besteed aan de gewasontwikkeling en productie en kwaliteit van het geoogste product.

2 Materialen en methoden

2.1 Kas

De Proef is in 4 afdelingen (4.01 – 4.04) van het kassencomplex van WUR-Glastuinbouw in Bleiswijk uitgevoerd. Iedere afdeling bestaat uit 2 kappen van 4.8 meter breedte en heeft een diepte van 15 meter zodat een oppervlak van 144 m² ontstaat. De kasoriëntatie is oost–west. De goothoogte is 5.5 meter en de dakhelling bedraagt 22°. Figuur 1 laat de situering van de proefcompartmenten in het kassencomplex zien.



Figuur 1. Situering van de proefafdelingen in het kassencomplex.

Om voldoende ventilatiecapaciteit te garanderen is iedere kap uitgerust met een doorlopende nokluchting over de gehele kaslengte met een raamhoogte van 1.3 meter. In de raamopeningen is insectengaas gemonteerd. De bodem is bedekt met wit anti worteldoek. Er zijn 2 verwarmingssystemen, één net bestaande uit 6 x 45 mm buizen per kap, welke laag bij de grond ligt en een hoger net van 51 mm dat 3 buizen per kap telt. De afdelingen zijn uitgerust met assimilatiebelichting met een capaciteit van 105 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. De kas is uitgerust met 2 horizontale schermdoeken: een transparant en een lichtdicht doek. De zijwanden van de compartimenten zijn met een lichtdicht doek (rolschermen) uitgerust om beïnvloeding van buurcompartimenten bij inzet van assimilatiebelichting te voorkomen. De gevelschermen aan de zuidkant van de proefafdelingen zijn altijd gesloten geweest. Doordat deze buurafdelingen verschillende zowel hoog als laag opgaande gewassen of zelfs tijdelijk leeg waren, zou dit de warmtebelasting van de proefafdelingen sterk kunnen beïnvloeden. Dat is hiermee grotendeels voorkomen.

De kas is voorzien van 12 stalen goten waarop de planten zijn gezet zodat aan weerszijde van het looppad één goot staat. Voor het meten van de verdamping zijn over de halve lengte van de kas twee goten op een stalen frame geplaatst die op 6 loadcells (model STC-250 kg, Celtron, USA) rusten. Hiermee is de gewichtsverandering van 60 planten en hun substraat op 1 minuut basis gelogd. Hiermee is de verdamping van de planten bepaald in combinatie met de drainmeting die middels een lepel teller van de zelfde 60 planten is gemeten. En detail van deze weeggoot is te zien in Figuur 2.

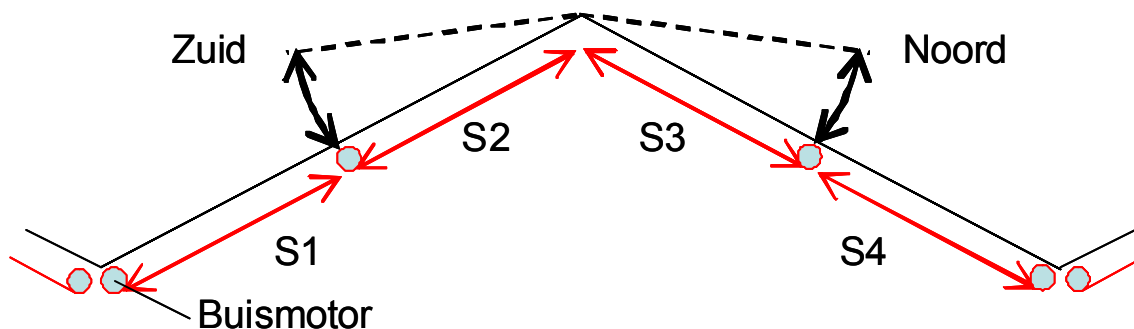


Figuur 2. Detail van de twee stalen goten geplaatst op loadcells.

2.2 Scherminstallatie

Om een beweegbaar scherm te installeren, zijn er meerdere mogelijkheden. Meest voor de hand liggend is inpassing van een horizontaal scherm. Uit de studie 'Het effect van NIR-filterende kasdek- en schermmaterialen op kasklimaat, energieverbruik en gewasproductie' (Hemming et.al, 2005b) is duidelijk naar voren gekomen dat toepassing van een horizontaal scherm nogal nadelige invloed zou hebben op het binnenklimaat. Het effectiefst zou toepassing van een buitenscherm zijn. Gezien de mechanische eigenschappen van het verkozen materiaal is toepassing in een buitenscherm niet realistisch. De enige plek die overblijft is dan een toepassing evenwijdig aan het kasdek. Dit is een dure en complexe oplossing maar een oplossing die het maximale uit de schermen kan halen. Op momenten dat er weinig zonlicht (energie) is kunnen de schermen geopend zijn. Bij toenemende stralingsbelasting kunnen de schermen vervolgens gesloten worden. Complicerend in dit geheel is dat door sluiting van het folie ook de ventilatieramen vrijwel volledig worden afgesloten. Om dit te voorkomen zijn de schermen voor de luchtramen onafhankelijk regelbaar gemaakt.

Op het moment dat er geventileerd moet worden, wordt het scherm voor het luchtraam dat open gaat, evenredig met de raamstand mee geopend. Globaal zal bij een 50% raamstand het scherm voor het betreffende luchtraam ook 50% geopend zijn. In Figuur 3 zijn de schermvakken aangeduid.



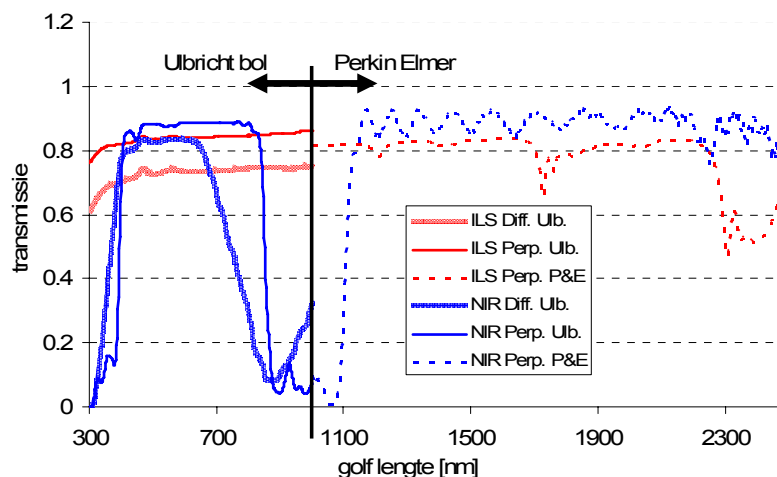
Figuur 3. Verdeling van het kasdek in schermvakken. In de regeling is S1 gelijk aan S4

Alle afdelingen worden zodanig geventileerd dat altijd de luchtramen aan de noordkant als eerste worden geopend, onafhankelijk van de windrichting. Hiervoor is gekozen omdat het meeste licht (direct en diffuus) van de zuidkant binnenkomt. Door de ramen en dus ook het folie zo lang mogelijk gesloten te houden wordt het maximale effect van het NIR-scherm bereikt. Pas als het raam en dus ook het scherm (S3) aan de noordkant helemaal geopend is, wordt het raam aan de zuidkant en daarmee het scherm (S2) vrijgegeven. Indien de kasluchttemperatuur binnen $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ van het setpoint ventilatie komt, worden alle schermen (S1..S4) gesloten. Bij overschrijding van het setpoint ventilatie wordt het scherm (S3) en het bijbehorende raam proportioneel geopend.

2.3 Materiaaleigenschappen en kastransmissie

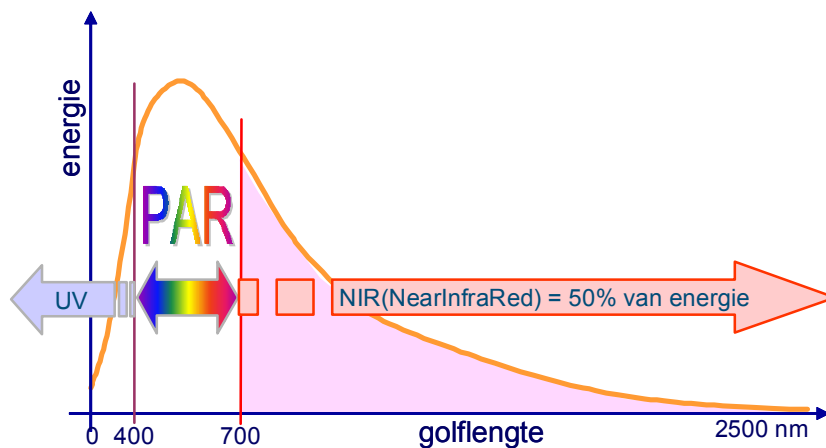
In de REF-afdelingen (REF, figuur1) is een in het PAR-gebied vergelijkbaar materiaal als het NIR-folie geïnstalleerd. Dit scherm (ILS-Ultra, Ludvig Svenson) wordt op exact gelijke wijze geregeld als de NIR-afdelingen. De keus is ook op de ILS uitvoering gevallen omdat dit type speciaal voor rolscherm toepassing is gemaakt zodat de levensduur gegarandeerd is.

De toegepaste schermmaterialen zijn in het laboratorium gemeten. De resultaten zijn grafisch in Figuur 4 weergegeven.



Figuur 4. Diffuse (Diff.) en loodrechte (Perp.) transmissie van het LS ultra (ILS) en 3M NIR (NIR) scherm gemeten in het gebied van 300 – 1000nm met een Ulbricht integrerende bol (Ulb.) en boven 1000 nm met een spectroradiometer (Perkin en Elmer, P&E). De spectroradiometer kan slechts de loodrechte transmissie meten.

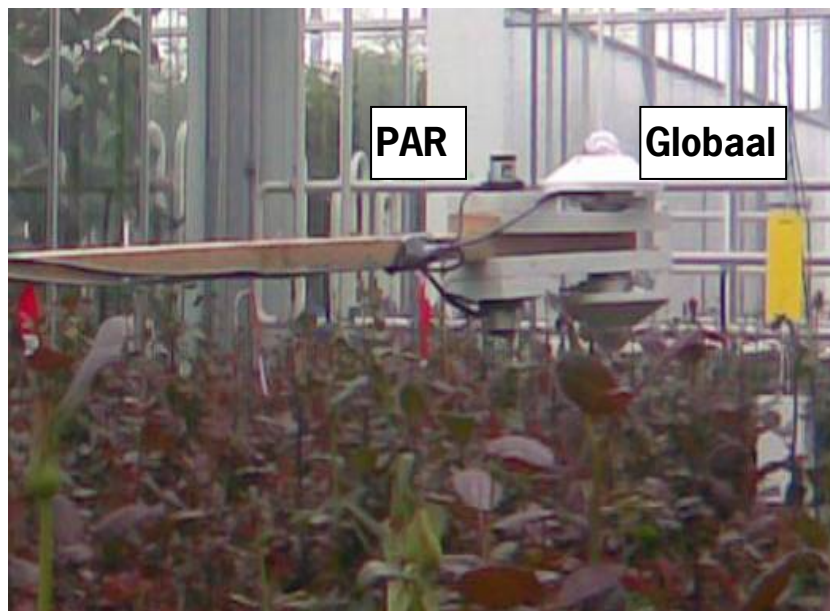
Op het eerste oog lijkt er weinig verschil te zijn in de NIR transmissie van het ILS en het NIR scherm. Dit komt omdat de transmissie losstaat van de energie-inhoud van de straling. Het NIR gebied omvat straling met een golflengte van 700 tot 2500 nm. De energie-inhoud van de straling in het traject van 700 tot ca. 1200 nm (Figuur 5) is veel hoger dan in het gebied 1200 – 2500 nm. De lage transmissie van het NIR scherm in het transmissie gebied 800 – 1100 nm geeft een grote verlaging van de energiebelasting ten gevolge van de NIR-straling. Figuur 4 laat ook zien dat de transmissie voor diffuse straling al rond de 670 nm bij het NIR scherm gaat afnemen, waar dit bij het ILS scherm niet het geval is. Figuur 5 geeft de relatieve energie-inhoud van de straling afhankelijk van de golflengte in vereenvoudigde vorm weer. In werkelijkheid is het verloop wat grilliger.



Figuur 5. Relatieve energie-inhoud van de straling afhankelijk van de golflengte.

Naast meting van het materiaal is de uiteindelijke transmissie in de kas op plantniveau van belang. Daarvoor zijn transmissie metingen in de kas uitgevoerd voor zowel globale als PAR-straling, waarbij het verschil verondersteld is NIR-straling te zijn.

Naast de transmissie is ook de reflectie van het gewas voor PAR- en NIR-straling bepaald. Hiervoor is een dubbele set PAR- en globale straling sensoren gebruikt die rond de kop van het gewas is gehouden. Één set is naar boven (richting het kasdek) en één set naar beneden (het gewas) gericht, zie Figuur 6. Uit het verschil dat deze sensoren aan straling ontvangen hebben, is de reflectie berekend.



Figuur 6. Meetopstelling voor het bepalen van de gewasreflectie.

2.4 Klimaatregeling

In overleg met de begeleidingsgroep is gekozen voor een zoveel als mogelijk gelijke klimaatregeling als in de praktijk wordt toegepast. Voor de regeling zijn 2 fasen te onderscheiden: opkweek gewas en de proefperiode.

2.4.1 Opkweek gewas

De opkweek omvat de periode tussen planten (12 maart) en de start van de behandeling (28 april). Omdat de planten in een (relatief) gunstige periode in de kas zijn gekomen is er voor gekozen in een zo kort mogelijke periode zoveel mogelijk gewas te creëren. Hiervoor zijn vanaf de start tot begin van de proef in alle afdelingen gelijke setpointinstellingen aangehouden en afhankelijk van de stand van het gewas bijgestuurd. Vanaf plantdatum is het setpoint verwarmen 20–21 °C geweest. De laatste week van de opkweek periode is het setpoint verwarmen teruggebracht naar 19–20 °C. De dagperiode was de natuurlijk lichtperiode. De assimilatiebelichting is wel ingezet maar het gebruik is pas vanaf de tweede week langzaam opgevoerd. Daarbij is de belichting nooit voor 3 uur 's nachts ingeschakeld en bij een stralingsniveau van boven de 200 W/m² weer uitgeschakeld. In de avond zijn de lampen na zonsondergang niet meer ingezet. De ventilatielijn is de eerste 4 weken voor de luwe zijde 7 °C en voor de windzijde 11 °C boven de stooklijn ingesteld. Later in de opkweek is dit gereduceerd tot respectievelijk 4 en 7 °C. CO₂ is aanvullend gedoseerd tot een maximum niveau van 800 ppm in de lichtperiode. Bij de verwarming is geen gebruikgemaakt van een minimumbuisinstelling. Het vochtsetpoint is in deze periode geleidelijk verlaagd van 85 naar 75% RV.

Bij een buitentemperatuur van 10 °C is het energie/verduisteringsdoek (horizontaal) gesloten. Indien de lampen zijn ingeschakeld, mag op temperatuur een kier van maximaal 5% getrokken worden. De schermen gaan weer open indien het buiten weer licht wordt.

2.4.2 Proefperiode

De behandeling (het inzetten van de NIR-schermen) is gestart op 28 april en beëindigd op 1 november. De proefperiode kan klimaattechnisch in 2 delen worden opgeknipt. In de periode tot 3 juli is het foggingsysteem ingezet indien de luchtvochtigheid van de kas onder de 75% kwam. Van de luchtbevochtiging is het niet mogelijk bij te houden hoeveel liter water wordt verneveld, er wordt alleen bijgehouden hoelang de klep openstaat. Dit is niet genoeg omdat al bij verstopping van 1 nozzle een meetfout van 12.5% in de waterafgifte ontstaat. Om deze onnauwkeurigheid in de water- en energie-balans te elimineren is het luchtbevochtigingssysteem na 3 juli uitgezet. In de periode dat het foggingsysteem wel is ingezet, werd afhankelijk van het vochniveau in het traject tussen 75 en 70% RV de wachttijd tussen 2 beurten verlaagd van 45 naar 15 seconden en gelijktijdig de beurtlengte van 4 naar 8 seconden verhoogd.

Het CO₂-setpoint is in de lichtperiode (dus ook indien belicht is) 1000 ppm geweest, tijdens de donker periode werd geen CO₂ toegevoerd. Het setpoint verwarmen is de gehele periode op 19 °C nacht en 20 °C dag ingesteld met een overgangperiode van 1 uur. Dag en nacht zijn hierbij gedefinieerd als zonop- en zonsondergang. Er zijn in deze periode geen minimumbuis temperaturen gebruikt. Van start tot 1 juli is een vochtsetpoint van 75% RV aangehouden voor de bevochtiging. Door het kleine gewas (lage vochtproductie) in combinatie met het jaargetijde was deze periode geen vochtregeling voor ontvochtiging ingesteld. In de periode 1 juli tot 3 september is er geen gebruik gemaakt van een vochtregeling (ontvochtiging) en daarna is 70% RV aangehouden voor ontvochtigen. Bij een hogere RV dan aangegeven is er gelucht, ook indien de kasluchttemperatuur onder de stooklijn lag. De ventilatielijn op temperatuur voor de ramen aan de zuidzijde is altijd op 27 °C ingesteld. De ventilatielijn van de ramen aan de noordzijde is tijdens de nacht 4 °C en tijdens de dag 1 °C boven de stooklijn ingesteld. Na 28 augustus is dit dag en nacht 21 °C geweest zodat de ventilatielijn in de nacht 2 °C en overdag 1 °C boven de stooklijn is komen te liggen. De belichting is afhankelijk van de daglengte en de buitenomstandigheden de gehele proefperiode dagelijks op gelijke wijze als in de paragraaf 'opkweek gewas' is beschreven ingezet. Het horizontale energie/afschermdoek is alleen in de periode 28 mei - 7 juni in de nacht tussen ongeveer 23:00 en 05:00 gebruikt.

2.5 Gewas

Het rozengegewas (*Rosa hybrida* cultivar 'Passion'), is op 11 maart 2008 geplant. De planten zijn op Grodan matten met een plantdichtheid van 5.8 planten/m² gezet. Bij de groei is gebruik gemaakt van de zogenaamde inbuig techniek. Hierbij is de eerste hoofdstam en alle scheuten die als niet waardevol om te oogsten worden ingeschat, omgebogen zodat deze een 'horizontaal' bladpakket gaat vormen. Om zo snel als mogelijk bladmassa te creëren zijn alle scheuten in de beginfase ingebogen. Het resultaat hiervan is in Figuur 7 aangegeven.



Figuur 7. Gewas nadat de eerste scheuten zijn ingebogen.

Globaal is pas de derde ronde met scheuten uitgegroeid tot een oogstrijp stadium. De eerste snede is dan ook op 29 april uitgevoerd. De planten zijn geïrrigeerd middels een druppelsysteem met een afgifte van 2 l/h. De gift was gebaseerd op vaste tijdstippen met daarop een stralingsinvloed die extra beurten kan genereren. De EC (gift) werd gestuurd op 1.4-1.6 dS/m met een pH van 5.2. Er werd geen gebruik gemaakt van recirculatie.

Indien gebruik gemaakt moest worden van gewasbescherming is gelijktijdig in alle afdeling de zelfde behandeling uitgevoerd zodat eventuele nadelige effecten op het gewas in alle afdelingen gelijke proporties zou hebben.

Om uit de oogst zoveel als mogelijk gegevens te kunnen halen is de gehele oogst per afdeling als één blok bij een naburige rozenkwekerij over de sorteermachine gegaan. Hierdoor zijn naast gegevens als versgewicht en aantal geogoste stelen, per steel de lengte, de knop grootte en rijpheid bepaald.

Daarnaast werden in elke afdeling 2 proefveldjes aangemerkt, waarvan de oogst werd geregistreerd met betrekking tot steel-lengte en -dikte, knop grootte, aantal stelen en versgewicht. In de loop van de proef zijn 9 keer planten exclusief het wortelgestel destructief geogost, om het volgende te bepalen: vers gewicht van bladeren en stengels; blad oppervlakte en bladlengte en breedte; drooggewicht en droogstof gehalte per stengel en blad.

Van de drogestof verzameld van twee destructieve oogsten is de mineraal samenstelling bepaald. In combinatie met watermonsters uit de mat en drain komt hiermee informatie beschikbaar met betrekking tot verschillen in opname als gevolg van de aangepaste stralingshuishouding van de kas bij toepassing van een NIR-scherm.

3 Resultaten en discussie

De proefperiode is na de start van de behandeling op 28 april op 1 november geëindigd. In deze periode is slechts één belangrijke wijziging in de behandeling doorgevoerd. De luchtbevochtiging is op 2 juli uitgeschakeld omdat de energetische invloed die zo'n systeem op de klimaatcondities heeft niet goed genoeg te kwantificeren was. Van (vrijwel) alle parameters die betrekking hebben op het kasklimaat die in dit hoofdstuk worden besproken zijn gemiddelden bepaald. Deze zijn bepaald over de periode 28 april t/m 31 oktober, voor zover de gegevens beschikbaar waren, voor 3 perioden: 24 uur, dag en nacht, waarbij de dag is gedefinieerd als die periode waarbij de globale straling groter of gelijk is aan 3 W/m² en de nacht de overige perioden. Vierentwintig uur is het gemiddelde over alle data. Voor het bepalen van de dag en nacht periode is dus geen rekening gehouden met de belichting. Deze gemiddelden zijn opgenomen in tabel 1.

Tabel 1. Gemiddelen van de belangrijkste kasklimaatparameters over de periode 28 April t/m 31 oktober als vierentwintig uren, dag en nacht gemiddelde.

parameter	eenheid	24 uur		dag		nacht	
		NIR	REF	NIR	REF	NIR	REF
raam noord	%	25.0	26.6	42.7	45.3	1.7	1.9
raam zuid	%	1.0	1.2	1.7	2.0	0.0	0.0
scherm noord	%	25.7	24.4	46.8	46.8	81.0	80.7
scherm zuid	%	46.0	45.9	45.2	42.9	82.3	82.3
scherm onder	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PAR ¹⁾	µmol/m ² /s	154	150	247	239	34	36
setpoint ventilatie raam noord	°C	21.5	21.5	21.2	21.2	22.0	22.0
setpoint ventilatie raam zuid	°C	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2
setpoint verwarming	°C	19.6	19.6	20.0	20.0	19.1	19.1
planttemperatuur ²⁾	°C	22.6	22.3	24.4	24.3	19.9	19.6
kastemperatuur	°C	22.4	22.5	24.2	24.5	19.9	20.0
CO ₂ -setpoint	ppm	702	701	989	989	323	323
CO ₂ -meting	ppm	950	931	911	881	1001	997
RV	%	77.3	76.9	74.0	73.3	81.7	81.7
RV setpoint	%	52.3	52.3	51.5	51.6	53.2	53.2
Absoluut vocht	g/kg	13.1	13.2	14.0	14.1	12.0	12.0
Buis1 setpoint	°C	2.7	2.4	0.2	0.2	6.1	5.2
Buis2 setpoint	°C	9.4	9.0	0.8	0.8	20.8	19.8

¹⁾ Deze gegevens betreffen de periode 22 mei t/m 31 oktober

²⁾ Deze gegevens betreffen de periode 2 juni t/m 31 oktober

3.1 Licht

De in paragraaf 2.3 beschreven materiaaleigenschappen van het scherm zijn onder laboratorium omstandigheden bepaald. De kas, eventueel in combinatie met geheel of gedeeltelijk gesloten schermen, heeft ook een transmissie. Om de gevolgen van de toegepaste schermmaterialen op plantniveau te bepalen zijn transmissie- en reflectie-metingen uitgevoerd. Hiervoor is bij diffuse buitenomstandigheden bij verschillende schermstanden zowel de globale als de PAR-transmissie gemeten. Hoewel er geen NIR-stralingsmeter beschikbaar was, is de NIR-straling

verondersteld als zijnde het verschil tussen de globale straling en de PAR-straling. Met dit verschil is ook de NIR-transmissie berekend. De resultaten van deze en de gewasreflectie metingen zijn in tabel 2 opgenomen.

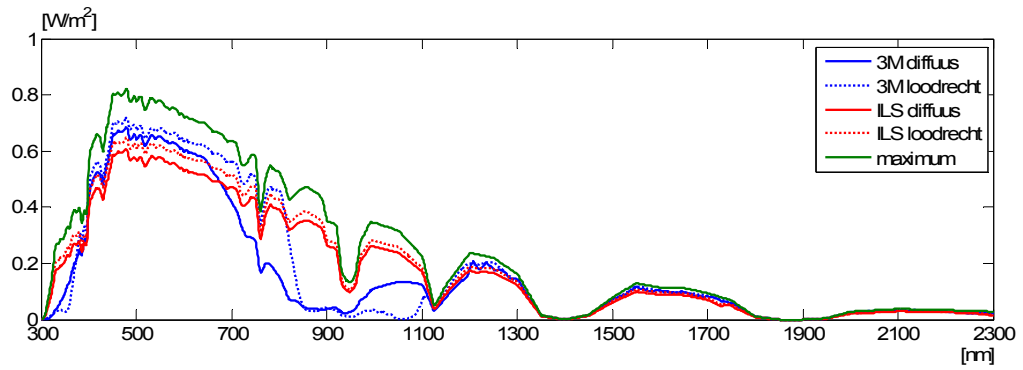
Tabel 2. Gemiddelde spectrale transmissie voor energie van de kas voor open en gesloten schermen en de energiereflectie door het gewas voor de PAR-, NIR- en globale straling in procenten.

		Energie transmissie		Reflectie
		Open	Gesloten	Gewas
NIR	PAR	44	38	5
	NIR	46	29	45
	Global	45	34	24
	PAR/global	51	59	
ILS	PAR	44	36	5
	NIR	45	38	45
	Global	46	37	24
	PAR/global	51	51	

In absolute termen is de transmissie van de afdelingen laag te noemen. De vele schermen, inclusief installaties, de lampen, het bovennet, luchtbehandelingskasten, gesloten zuidgevel-scherf en de vele tussenwanden zijn hier debet aan. Ondanks de selectie op PAR-transmissie van het schermdoek in de REF-afdeling, is er tussen de NIR- en REF-afdeling een klein verschil in PAR-transmissie van ca. 2% in het voordeel van de NIR-afdeling. In de NIR-afdeling neemt de NIR-transmissie beduidend meer af dan in de REF-afdeling indien alle schermen gesloten worden, wat ook te verwachten is. Daardoor neemt het aandeel van de PAR-straling in de globale straling dan ook relatief toe bij het sluiten van het scherm in de NIR-afdeling.

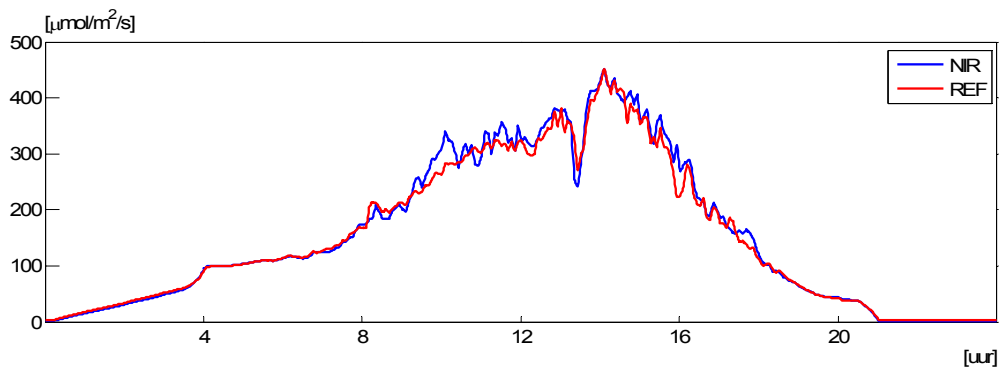
De gewasreflectie, gemeten bij gesloten schermen, wordt niet beïnvloed door het toegepaste schermmateriaal. Zoals bekend uit de literatuur (b.v. Ross, 1981), de reflectie van gewassen voor PAR-straling is veel lager dan voor NIR. Dat is door onze metingen nog eens vastgesteld (tabel 2). Dit betekent dat het grootste deel van de PAR-straling als warmte (en fotosynthese) door het gewas wordt opgenomen. Van de NIR-straling die in de afdeling op het gewas komt, wordt bijna de helft weer gereflecteerd. Wat gereflecteerd wordt zal met een gelijke transmissie als waarmee het naar binnen is gekomen ook weer door het dek naar buiten verdwijnen. Bij het NIR-reflecterende scherm zal daarom een grotere fractie van de NIR-straling die binnen komt in de kas blijven. De bijdrage van de NIR-straling op de opwarming van het gewas kleiner dan die van de PAR-straling.

Aan de hand van berekeningen waarmee met de energiedistributie rekening werd gehouden, is de reductie in energiebelasting door het NIR-scherf ten opzichte van het ILS scherm bepaald. Deze reductie is afhankelijk van het jaargetijde (de samenstelling van de globale straling varieert met de seizoenen) en de bewolingsgraad. In de zomer filtert (reflecteert) het NIR-scherf ca. 34% van de NIR-straling onder diffuse lichtomstandigheden. In de winter kan dit oplopen tot meer dan 40%. Onder directe lichtomstandigheden is dit zomer en winter met ca. 30% vrijwel gelijk. De reflectie van NIR-straling van het gewas is met 45% hoog te noemen. Hierdoor draagt slechts een deel van de NIR-straling bij aan de opwarming van het gewas en de kas. Door toepassing van dit materiaal zal de warmtebelasting dan ook met zo'n 12% van de globale-straling verminderen afhankelijk van het jaargetijde en de bewolingsgraad. Ter illustratie is in Figuur 8 voor een onbewolkte hemel met een elevatie van de zon van 30° de energiedichtheid per golfte in het gebied 300 tot 2300 nm voor directe en diffuse straling voor zowel het 3M als het ILS scherm en de maximaal bereikbare hoeveelheid onder natuurlijke omstandigheden weergegeven. De grootste verschillen tussen het 3M en ILS materiaal komen voor in het gebied tussen de 800 en 1100 nm. De getoonde figuur kan bij andere weersomstandigheden en elevatiehoeken van de zon sterk afwijken van de weergegeven figuur. Immers bij lage elevatiehoeken zoals bijvoorbeeld in de winter zal de globale straling ook minder zijn dan de in dit figuur getoonde 482 W/m² (groen lijn) zijn.



Figuur 8. Energiedichtheid per golflengte in het gebied 300 tot 2300 nm voor directe en diffuse straling voor zowel het 3M als het ILS scherm en de maximaal bereikbare hoeveelheid onder natuurlijke omstandigheden bij een onbewolkte hemel met een elevatie van de zon van 30°.

Voordat kan worden ingegaan op de gevolgen op het klimaat, is er voor de plantgroei nog een belangrijke parameter die eventuele verschillen in groei en ontwikkeling kan verklaren. Dat is namelijk of de opzet om de planten in de behandelingen vergelijkbare hoeveelheden PAR-licht aan te bieden ook is gelukt. Dit blijkt uit Figuur 9 waar het cyclisch gemiddelde van de PAR-sensoren die op de knophoogte van de oogstbare stelen van de plant is gegeven. Het cyclisch gemiddelde laat in het geval zoals weergegeven in Figuur 9 het gemiddeld dagverloop over de periode 29 april tot 1 november zien door op ieder moment van de weergegeven dag het gemiddelde van alle waarnemingen uit de periode op het zelfde tijdstip te bepalen. De vrij sterke fluctuatie gedurende de dag is het gevolg van constructiedelen als goten, roeden, verwarmingsbuizen en belichtingsarmaturen die de sensoren voor kortere of langere tijd kunnen beschaduwden. Uit de figuur blijkt dat er gedurende de dag kleine verschillen waren maar de aan de plant aangeleverde lichtsom was slechts marginaal verschillend: 13.3 mol/m²/dag voor de NIR-afdeling en 13.0 mol/m²/dag. Een verschil van minder dan 2%. Dat dit minder is dan de in tabel 2 vermelde niveaus. In de REF-afdelingen is minder geschermd omdat het warmer werd. Daardoor zal de PAR-straling in de REF-afdeling toenemen.

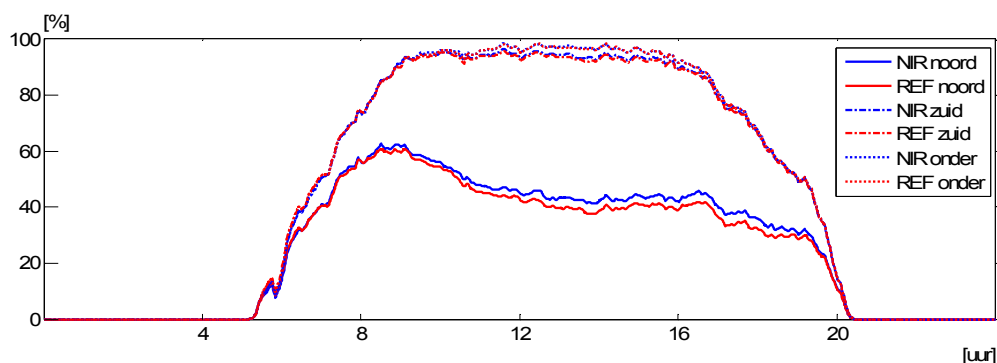


Figuur 9. Cyclisch gemiddelde van de PAR-straling over de periode 29 april tot 1 november.

Ook het gebruik van de assimilatiebelichting is goed terug te vinden. Hierop wordt in de volgende paragraaf verder ingegaan.

3.2 Klimaat

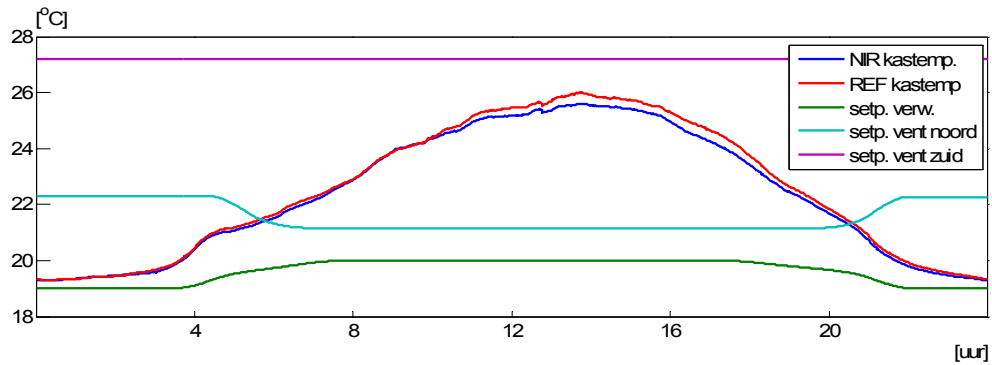
Potentieel (zonder klimaatregeling) wordt het klimaat door het gebruik van een scherm beïnvloed. Zoals in paragraaf 2.2 en 2.4.2 is beschreven, werd het scherm alleen ingezet op die momenten dat het setpoint ventilatie bereikt was. Door de temperatuurinstellingen, het seizoen en het gebruik van de assimilatiebelichting, wordt het setpoint ventilatie in de meetperiode al snel bereikt. De schermen zijn dan ook veelvuldig dicht geweest. Om dat inzichtelijk te maken, is in Figuur 10 een cyclisch gemiddelde van de schermstand aan de noord- als aan de zuidkant gegeven over de periode 29 april tot 1 november.



Figuur 10. Cyclisch gemiddelde van de schermstand aan de noord- en zuidkant van het kasdek voor het luchtraam en de schermen onder het luchtraam over de periode 29 april tot 1 november. 0 is open, 100 is volledig gesloten.

In de genoemde periode van 186 dagen is het scherm aan de zuidzijde vrijwel altijd dicht geweest. Deze figuur kan gelezen worden als dat het scherm in de NIR-afdeling aan de noord kant van de kas in de morgen om 09:00 gemiddeld ongeveer 60% is dicht geweest. In de nacht en in de avond is het scherm altijd geopend geweest. De figuur laat goed zien dat in de NIR-afdeling het scherm wat meer gesloten is geweest. Tussen 09:00 en 18:00 is dat gemiddeld zo'n 3%. Dat betekent dat ook het raam aan de noordkant 3% meer geopend is geweest. Immers het scherm is lineair met het raam geregeld. Doordat de REF-afdeling wat meer moet ventileren, wordt de maximale raamstand eerder bereikt waardoor ook aan de zuidzijde van de kas eerder geventileerd moet worden dan in de REF-afdeling. Hierdoor wordt aan de zuidzijde het raam in de REF-afdeling gemiddeld nog eens 0.5% meer geopend. Door deze manier van regelen, zal er in de REF-afdeling door het verder geopende scherm de energiebelasting wat extra toenemen. Dit is niet gemeten, maar aan de hand van de in tabel 2 gegeven transmissieverschillen tussen geopend en gesloten scherm en de in Figuur 10 weergegeven verschillen in schermstand moet dit verschil in stralingsbelasting als gevolg van het verschil in schermstand op minder dan 1% geschat worden.

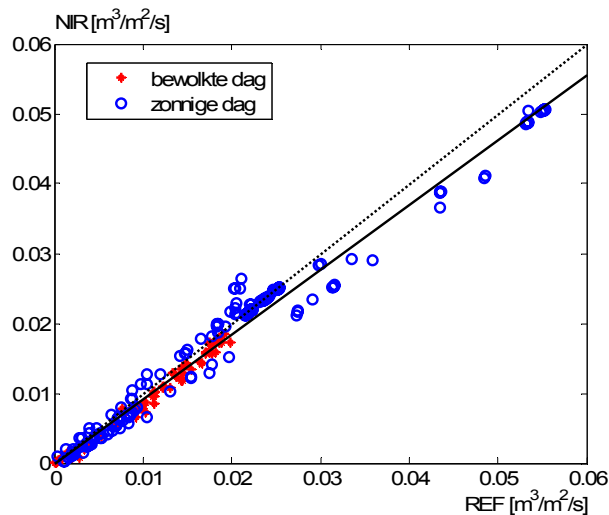
Raam en daarmee ook de schermstand worden geregeld op de kasluchttemperatuur. Dat er ondanks de gelijke regeling temperatuurverschillen ontstaan is het gevolg van een aantal factoren. De belangrijkste is dat door (veiligheid als bijvoorbeeld wind) restricties de maximum raamstand van 100% gereduceerd wordt. In de REF-afdeling zijn de maximaal toegestane raamstanden eerder bereikt dan in de NIR-afdelingen. Dit heeft de vrijgave voor start ventilatie aan de zuidkant ook wel eens geblokkeerd. Daarnaast speelt de dode zone tussen de stook en ventilatielijn ook nog een rol. De kasluchttemperaturen zijn in Figuur 11 weergegeven, waarbij ook nog het setpoint ventilatie en verwarming zijn opgenomen.



Figuur 11. Cyclisch gemiddelde van de kasluchttemperatuur in de NIR- en REF-afdeling, het setpoint verwarmen en het ventilatiesetpoint aan noord- en zuid-zijde van de kas over de periode 29 april tot 1 november.

Overdag is er tussen ca. 10:00 en 19:00 een duidelijk verschil in gerealiseerde kasluchttemperatuur, waarbij de NIR-afdeling duidelijk wat koeler is. Tussen 10:00 en 18:00 is dit gemiddeld zo'n 0.3 °C. Er wordt pas aan de zuidkant geventileerd als de kasluchttemperatuur boven de 27 °C is opgelopen. Het setpoint ventilatie aan de noordzijde is zodanig ingesteld dat er gedurende de dag snel op temperatuur geventileerd kan worden, maar dat in de nacht alleen bij een verschil van meer dan 3 °C tussen gerealiseerde kasluchttemperatuur en het setpoint verwarmen er ook daadwerkelijk wordt afgelucht. De vochtregeling kan dit overrulen, maar daar wordt in een later stadium op teruggekomen.

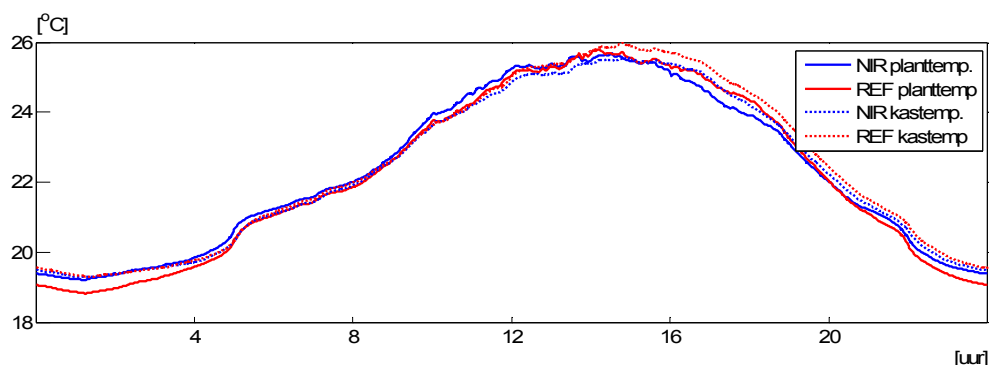
Verschillen in raamstand hoeven nog niet tot verschillen in ventilatie te leiden. Voor de ventilatie zijn naast de raamstand, even verondersteld dat de lineaire opening van het scherm een lineaire invloed op de ventilatiecapaciteit heeft, vooral de windsnelheid, temperatuurverschil binnen – buiten en de kasgeometrie van belang. De Jong (1990) heeft dit beschreven. Aan de hand van deze formules, is voor een tweetal dagen één met veel (28 augustus) en één met weinig bewolking (25 juli) maar wel dagen dat het scherm gebruikt is, de ventilatiesnelheid tegen elkaar uitgezet in Figuur 12. Daarnaast is door de punten een lineaire lijn gefit. Met een hoge correlatie (R^2 97%) blijkt de NIR-afdeling 7% minder ventilatiesnelheid nodig te hebben.



Figuur 12. Ventilatiesnelheid van de REF-ten opzichte van de NIR-afdeling voor een zonnige en bewolkte dag waarbij het scherm gesloten is geweest, een gefitte lijn (–) en een één op één hulplijn (..).

Dit kan onverwacht lijken, ten opzichte van de geschatte verlaging met ca. 12% van de warmtebelasting. Echter de lucht is in de REF-afdelingen iets warmer en ook vochtiger (zie Figuur 16), wat samen betekent dat een kuub lucht meer enthalpie (latente en voelbare warmte) kan afvoeren. In andere woorden, de ventilatie is efficiënter als energieafvoer methode.

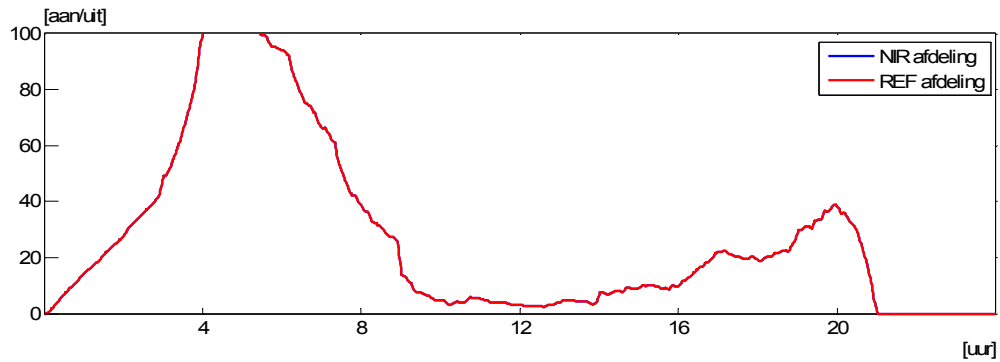
Of dit verschil in kasttemperatuur uiteindelijk ook in de planttemperatuur terugkomt, moet blijken uit Figuur 13. De planttemperatuur is vanaf 1 juni gemeten. Doordat met name in de nacht er een duidelijk verschil is in planttemperatuur tussen de REF-afdeling en de NIR-afdeling, terwijl het scherm dan niet in gebruik is, is voor deze periode ook nog de kasluchttemperatuur meegenomen omdat de planttemperatuur sterk gerelateerd is aan de kasluchttemperatuur.



Figuur 13. Cyclisch gemiddelde van de plant- en kasluchttemperatuur in de NIR- en REF-afdeling over de periode 1 juni tot 1 november.

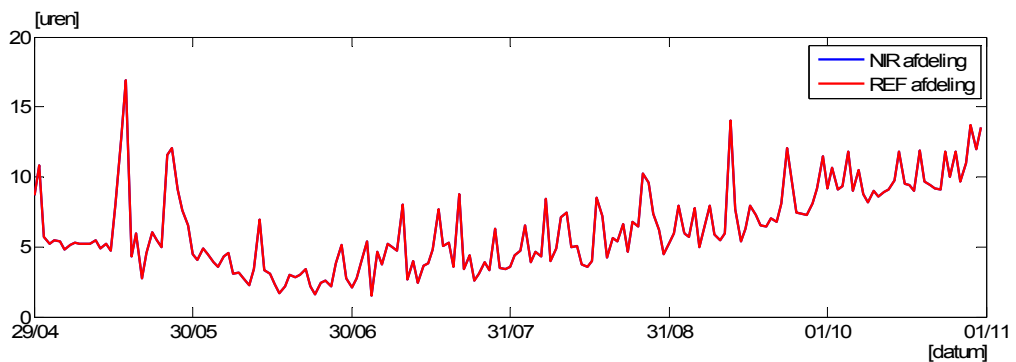
In de figuur valt direct de achterblijvende planttemperatuur in de nacht van de REF-afdeling op. Bij bestudering van de kasluchttemperaturen en de planttemperaturen gedurende de nacht, kan er geen verklaring voor het verschil tussen de NIR- en REF-afdelingen worden gegeven. De verwachting zou zijn dat er in de nacht geen verschil tussen de kaslucht en planttemperatuur zou zijn. Er is op dat moment immers geen behandeling en de overige klimaatfactoren die de gewastemperatuur kunnen beïnvloeden zijn nagenoeg gelijk. Ook de verdampingsgegevens laten geen verschillen zien die een dergelijk verschil in planttemperatuur kan verklaren. Over de gehele periode is de gemiddelde planttemperatuur tussen de behandelingen gelijk. De kasluchttemperaturen van alle 4 de afdelingen zijn in de nacht gelijk, evenals de planttemperaturen van 3 van de 4 proefafdelingen. De klimaatregeling in de afdelingen was gelijk, de schermen waren geopend en de belichting, die de planttemperatuur sterk kan beïnvloeden was in alle afdelingen gelijk geregeld (zie Figuur 14 en 15). Als de omstandigheden voor alle compartimenten gelijk is, kan er nog slechts één parameter zijn die de planttemperatuur beïnvloed en dat is de verdamping. In de nacht blijkt hier geen verschil in te zitten. Hierop zal in paragraaf 3.3 uitgebreid worden ingegaan. Ook kalibratie van de planttemperatuurcamera's heeft hier geen verklaring voor kunnen leveren. Zodra de lampen aangaan, komt de planttemperatuur dichterbij de kasluchttemperatuur te liggen en wordt het verschil tussen de REF- en de NIR-afdeling tot vrijwel 0 gereduceerd. Overdag zijn er duidelijk 2 fasen te zien. In de ochtend blijft de kasluchttemperatuur achter op de planttemperatuur terwijl dit in de namiddag is omgekeerd. De planttemperatuur blijft in de namiddag duidelijk achter op de kasluchttemperatuur. In termen van verdamping, zou dit er op duiden dat er geen verdampingsstress voor het gewas is ontstaan. De trend in het dagverloop is voor beide behandelingen vrijwel gelijk met een offset naar lagere temperaturen, met name in de middag in het voordeel van de NIR-afdeling.

In de nacht is er tussen 3 en 4 uur een duidelijke verhoging van de plant- en kasluchttemperatuur te zien. Dit wordt veroorzaakt door de assimilatiebelichting. In deze periode van 29 april tot 1 november is de assimilatiebelichting 1170 van de 4464 uur gebruikt. In deze proefopzet worden de lampen niet gedeeltelijk gebruikt, allen zijn aan of uit. In Figuur 14 is het cyclisch gemiddelde van de assimilatiebelichting over de gehele proefperiode dat ook de schermen zijn ingezet weergegeven. De figuur lijkt maar 1 lijn weer te geven echter de lijnen liggen exact over elkaar.



Figuur 14. Cyclisch gemiddelde van gebruiksduur van de lampen in de NIR- en REF-afdeling over de periode 29 april tot 1 november.

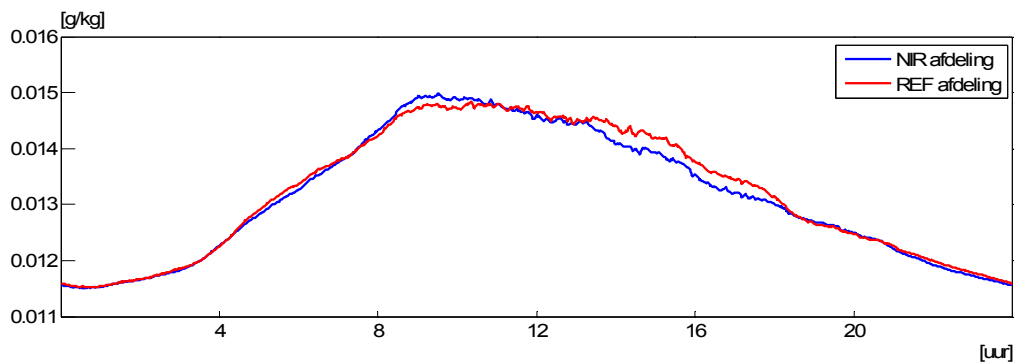
De figuur laat goed zien dat tussen 04:00 en 06:00 alle dagen de assimilatiebelichting is ingezet. Na negen uur in de avond wordt er niet meer belicht. In het najaar wordt het starttijdstip in de ochtend langzaam vervroegd zodat richting de winter meer belichtingsuren worden gemaakt om toch nog aan een acceptabele PAR-lichtsom te komen. Overdag wordt er slechts sporadisch belicht.



Figuur 15. Belichtingsduur per dag tijdens de proefperiode.

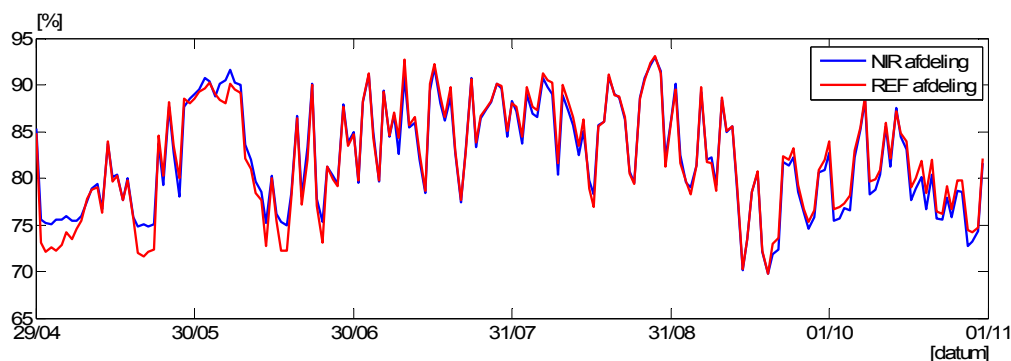
Dat de gebruiksduur van de belichting door het seizoen sterk varieert wordt duidelijk uit Figuur 15 waar voor de proefperiode van 29 april tot 1 november per dag het aantal uren dat de belichting is ingezet, is gegeven.

Het vochniveau in de kas wordt bepaald door het evenwicht welke ontstaat door de bron of source (verneveling en of verdamping) en de afvoer of sink (condensatie dan wel ventilatie). Analoog aan de eerder in Figuur 11 gepresenteerde kasluchttemperatuur is in Figuur 16 het cyclisch gemiddelde van de luchtvochtigheid in de afdelingen getoond.



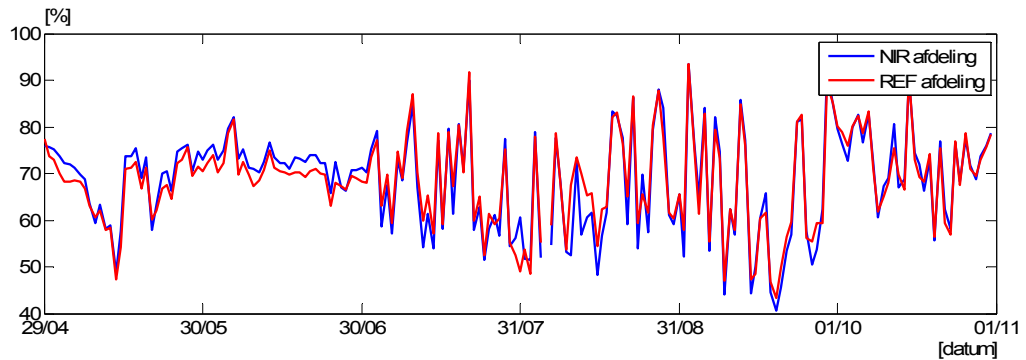
Figuur 16. Cyclisch gemiddelde van het absoluut vocht in de NIR- en REF-afdeling over de periode 29 april tot 1 november.

Na ca. 04:00 uur begint het absoluut vocht duidelijk op te lopen. Dit is het gevolg van het opstarten van de belichting waardoor de plant weer begint te verdampen, maar ook de kasluchttemperatuur verandert, zie Figuur 11. Door het wijzigen van de regelstrategie, om de luchtbevochtiging per 3 juli te stoppen, is er mogelijk in het seizoen een verandering van het patroon ontstaan. Om dit te verduidelijken is in Figuur 17 en 18 per dag de gemiddelde RV tussen 01:00 en 03:00 en tussen 13:00 en 15:00 weergegeven.



Figuur 17. Gemiddelde luchtvochtigheid in de nacht tussen 01:00 en 03:00 tijdens de proefperiode van 29 april tot 1 november.

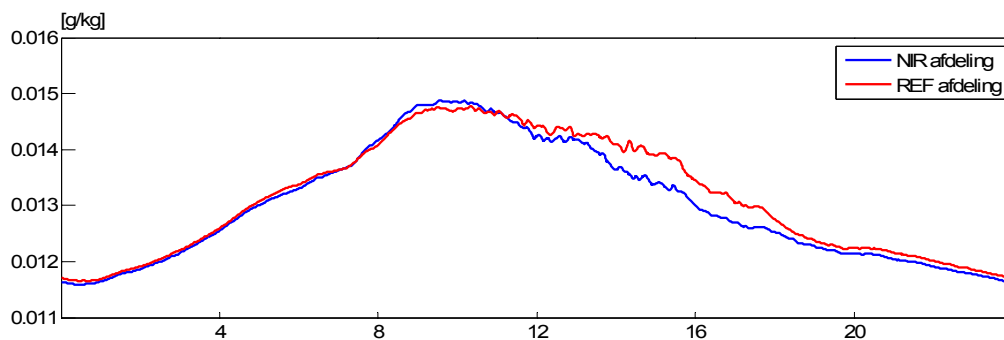
Figuur 17 laat duidelijk zien dat er in de beginfase op 'droge' nachten er grote verschillen waren tussen de afdelingen. Na het stoppen van de luchtbevochtiging tendeert de RV in de NIR-afdeling naar een iets lager niveau dan de REF-afdeling. Vooral in de laatste teeltmaand loopt dit op tot zo'n 2% verschil. In Figuur 18 is het zelfde gedaan als in Figuur 17 maar dan voor de periode tussen 13:00 en 15:00 uur.



Figuur 18. Gemiddelde luchtvochtigheid overdag tussen 13:00 en 15:00 tijdens de proefperiode van 29 april tot 1 november.

Dit figuur laat nog duidelijker zien dat de luchtbevochtiging in de NIR-afdeling meer effect had dan in de REF-afdeling. Dit wordt veroorzaakt door de lagere ventilatie in de NIR-afdeling zoals in Figuur 10 al is aangetoond. Daarnaast is het mogelijk dat de vernevelinginstallatie in de NIR-afdeling meer water heeft verneveld. Omdat dit niet goed geborgd kon worden is destijds ook besloten de verneveling uit te schakelen. In de periode na de uitschakeling is dan ook een consequent lagere RV in de NIR-afdeling te zien (ondanks de lagere ventilatie 'sink'). Enkele keren is de RV in de referentie lager maar doordat de gewasontwikkeling niet helemaal gelijk op liep (zie paragraaf 3.4.1) is het mogelijk dat er op momenten wat verschil in LAI was tussen de behandelingen (verschil in source).

Als Figuur 16 nogmaals wordt gemaakt voor de periode 3-juli tot 1 november, dan blijft het patroon gelijk echter de verschillen nemen in de middag nog iets verder toe.

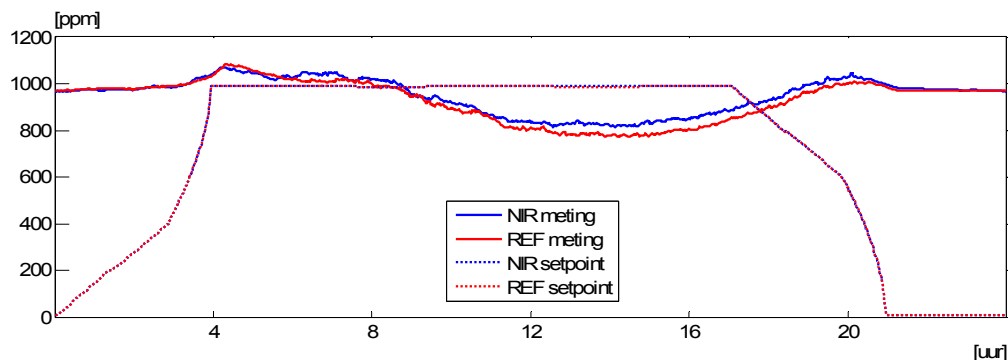


Figuur 19. Cyclisch gemiddelde van het absoluut vocht in de NIR- en REF-afdeling over de periode 3 juli tot 1 november.

Nu blijkt dat er ondanks de verminderde ventilatie in de NIR-afdeling toch een lagere luchtvochtigheid ontstaat in de 2^e helft van de middag. Dit duidt op een verschil in het bron van waterdamp, namelijk de gewasverdamping waar in de volgende paragraaf nader op wordt ingegaan.

Voor de plantengroei is de CO₂ een belangrijke factor. Dat het verschil in ventilatie ook het CO₂-niveau heeft beïnvloed blijkt uit Figuur 20 waar de gemeten CO₂-niveaus en het setpoint CO₂ gegeven zijn. Het setpoint CO₂ wordt verhoogd van 0 naar 1000 ppm zodra er PAR-licht is hetzij van de belichting dan wel van de globale straling. Hierdoor is het patroon van het setpoint CO₂ sterk vergelijkbaar met dat van de gebruiksduur van de lampen gedurende de nacht (Figuur 14). De figuur maakt duidelijk dat er een behoorlijk aantal uren het gemeten CO₂-niveau

boven het setpoint ligt. Alleen gedurende de dag als er ook daadwerkelijk geventileerd wordt is de CO₂-doseercapaciteit een beperkende factor. Uiteindelijk zijn de verschillen in gerealiseerde CO₂-niveaus beperkt. De NIR-afdeling heeft tijdens de dag (08:00 tot 18:00) met 880 ppm een 40 ppm hoger CO₂-niveau dan de REF-afdeling.



Figuur 20. Cyclisch gemiddelde van het gemeten CO₂-niveau en het setpoint CO₂ in de NIR- en REF-afdeling over de periode 29 april tot 1 november.

Deze kleine verschillen in CO₂-niveau in de kas hebben ook niet duidelijk tot een vermindering van de gedoseerde CO₂ geleid. Het verschil in gedoseerde CO₂ is minder dan 1% en valt binnen de meetnauwkeurigheid. Op momenten dat het scherm wordt ingezet en er veel geventileerd wordt, is de doseercapaciteit de beperkende factor, welke ook uit de dip in Figuur 20 blijkt. Gevolg hiervan is dat er niet duidelijk gesproken kan worden van een vermindering van de CO₂-uitstoot. De vermindering van de ventilatie was te beperkt om de meetfout in de doseerflux van CO₂ te overtreffen.

Het energiegebruik in de teelt is voornamelijk bepaald door het elektriciteitsgebruik (75 kWh/m²). Er is geen gebruik gemaakt van minimumbuistemperaturen. Toch is er in het energiegebruik voor de kasverwarming wat verschil in het gebruik ontstaan. Dit verschil is vooral bepaald door het gebruik in de avond en nacht als de lampen uit zijn en is zo'n 14% in het nadeel van de NIR-afdelingen. Dit overigens op een warmtegebruik over 6 maanden (mei t/m oktober) van 3.2 m³/m² (REF-afdeling). Een verklaring voor het verschil in gebruik moet dan ook niet in de behandeling maar in de omgevingsinvloeden worden gezocht. De zijgevels met de buurcompartimenten zijn ongeveer 50% van het omhullend oppervlak van de kasafdeling. Indien op enig moment buurafdelingen warmer of juist kouder gestookt worden, heeft dit onmiskenbaar invloed op het energiegebruik van de naastliggende afdelingen.

Vraag is dan ook of toepassing van een schermmateriaal als dit eventueel de koellast van de kas kan beperken? Bij toepassing van het NIR-scherm neemt de stralingsbelasting van de kas met ca. 12% van de globale straling af (Hoofdstuk 3.1). Omdat de verdamping, en daarmee koelcapaciteit van de afdeling, evenredig met de instraling afneemt, zal een eventuele besparing op koelcapaciteit dan ook in de zelfde orde van grote liggen.

3.3 Verdamping

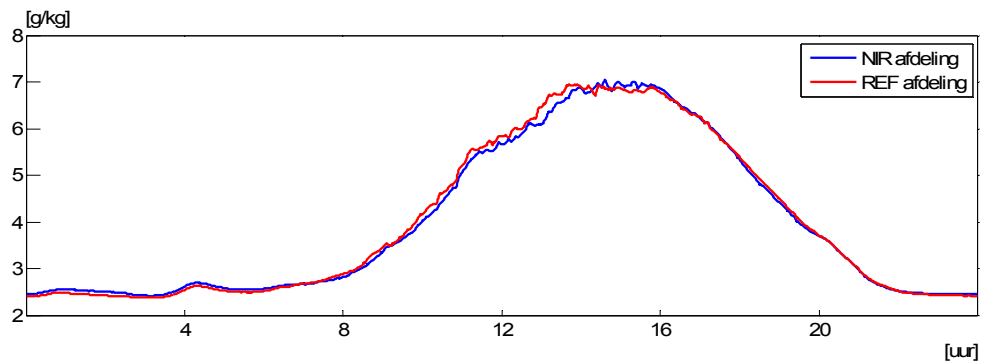
Zoals uit paragraaf 3.2 naar voren is gekomen, is er tussen de behandelingen een verschil in kasluchttemperatuur, planttemperatuur, ventilatiesnelheid en luchtvochtigheid. Deze verschillen in luchtvochtigheid kunnen alleen verklaard worden als er ook verschillen in bron (source) en/of afvoer (sink) zijn. Een verschil in de sink is het verschil in ventilatiesnelheid. Echter met een lagere ventilatiesnelheid blijkt gedurende de dag als het scherm in gebruik is ook een lagere luchtvochtigheid in de NIR-afdelingen te zijn. Dit kan alleen verklaard worden als er ook een verschil in verdamping tussen de behandeling aanwezig is. De verdamping is sterk afhankelijk van de straling op het gewas, het vochtdeficiet en het bladpakket (LAI). In dit project is er op verschillende manieren naar de verdamping gekeken.

Verschillen in verdamping kunnen ook de opname van nutriënten beïnvloeden. Gedurende het experiment is meerdere malen de nutriëntenhuishouding gemeten waar in paragraaf 3.3.2 nader op zal worden ingegaan.

3.3.1 Weeggoten

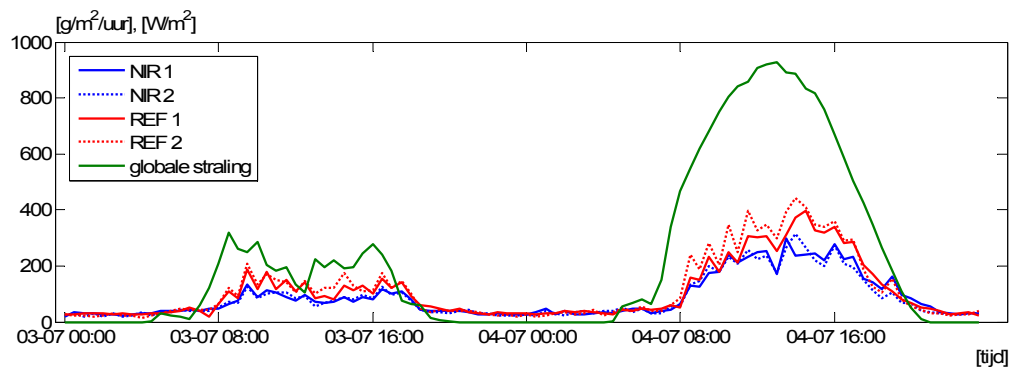
Met behulp van de weeggoten en de drain kan de verdamping van het gewas bepaald worden. In deze meetopstelling is het gewicht gemeten van bijna 10% van de planten in elke afdeling, dus deze meting is zeker representatief te noemen.

Zoals gesteld is de verdamping sterk afhankelijk van de straling op het gewas, het vochtdeficiet en het bladpakket (LAI). Op eventuele verschillen in LAI wordt in paragraaf 3.4.1 ingegaan. Het vochtdeficiet is nagenoeg gelijk zoals uit Figuur 21 blijkt waar een cyclisch gemiddelde over de periode 3 juli tot 1 november. In de ochtend is het vochtdeficiet in de REF- iets groter dan in de NIR-afdeling. Tussen 09:00 en 13:00 is dit 0.1 g/kg.



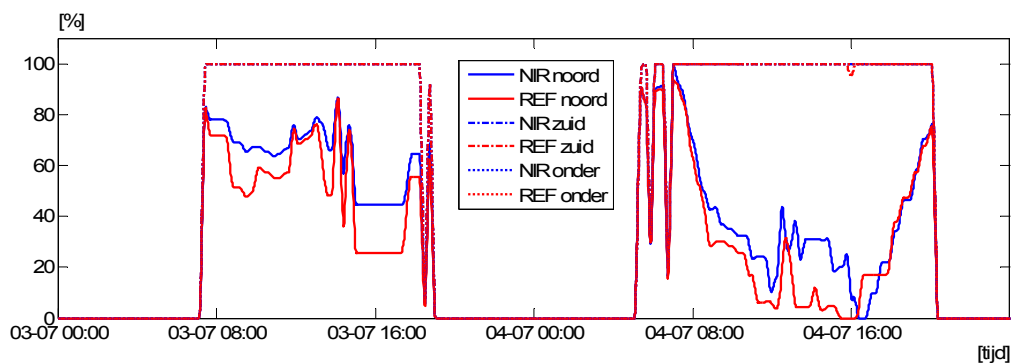
Figuur 21. Cyclisch gemiddelde van het vochtdeficiet in de NIR- en REF-afdeling over de periode 3 juli tot 1 november.

In paragraaf 3.1 bleek uit Figuur 9 al dat er hoegenaamd geen verschil is in de stralingsbelasting door PAR, waarbij de PAR-straling van de NIR-afdeling zelfs nog iets hoger lag. Het verschil in verdamping zoals in onderstaand Figuur 22 getoond, kan dan ook alleen het gevolg zijn van het verschil in stralingsbelasting ten gevolge van het NIR-scherm. De getoonde verdampingsniveau's zijn berekend aan de hand van de veranderingen in de weeggootgewichten en de drain op basis van een kwartier.



Figuur 22. Globale straling en de berekende verdamping op 3 en 4 juli 2008 in de NIR- en REF-afdelingen.

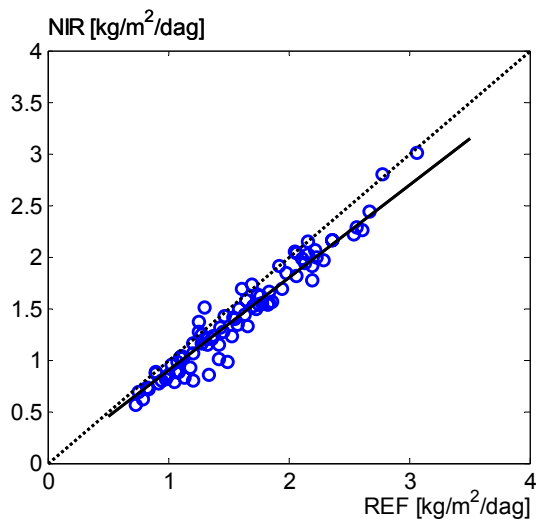
De figuur laat goed zien dat er tijdens de dag als er dus stralingsbelasting is, de schermen waren aan de zuidzijde en onder de luchtramen volledig gesloten (Figuur 23), er een duidelijk niveau verschil in de verdamping ontstaat.



Figuur 23. Schermstanden op 3 en 4 juli 2008 in de NIR- en REF-afdelingen.

In de nacht ligt het verdampingsniveau op een laag constant niveau. Het verschil in verdampingsom in de nacht (globale straling is 0) tussen de behandelingen is minder dan 2% waar dit op de dag meer dan 10% is. Figuur 22 laat ook zien dat er een behoorlijke spreiding in de verdampingswaarnemingen zit, wat niet ongewoon is. Desalniettemin zal het duidelijk zijn dat er wel degelijk een verschil in verdamping is tussen de behandelingen.

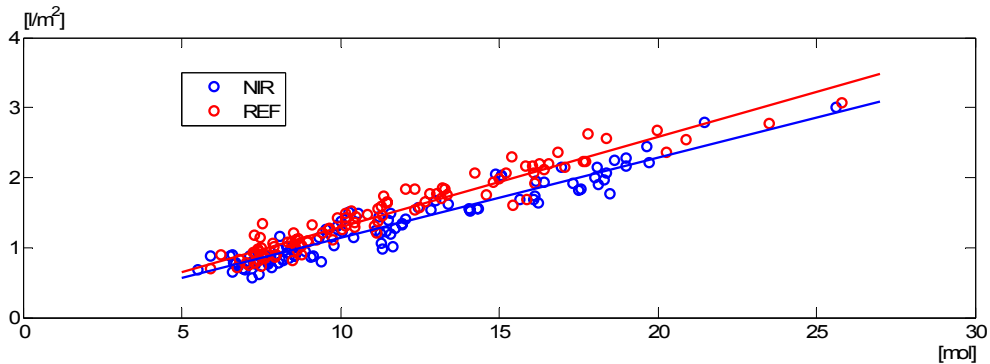
Door voor iedere dag in de periode 3 juli tot 1 november een verdampingsom te berekenen voor beide behandelingen en deze tegen elkaar uit te zetten, is voor de langere termijn het verschil in verdamping tussen de twee behandelingen bepaald. Het resultaat is in Figuur 24 gegeven. Daarnaast is door de punten een lineaire lijn gefit. Met een hoge correlatie (R^2 95%) blijkt de NIR-afdeling 10% minder verdamping te hebben dan de REF-afdeling.



Figuur 24. Dagsom van de verdamping van de REF- ten opzichte van de NIR-afdeling met de lineaire regressielijn van 3 juli tot 1 november.

Figuur 22 laat duidelijk zien dat er een goede relatie is tussen de globale straling en de verdamping, een verhouding die in vele teelten gebruikt wordt om de watergift mee te sturen. In de rozenteelt wordt echter veel belicht, energie die op deze manier niet meetelt voor de watergift. Om deze verdampingsgegevens beter te kunnen vergelijken met

de praktijk, kan de wateropname ook als ‘kengetal’ van de PAR-som berekend worden. Hiervoor is van de periode juli – november van iedere dag de verdamping berekend uit het gootgewicht en de drain en de PAR-lichtsom zoals gemeten in de afdelingen tegen elkaar uitgezet. Het resultaat is in Figuur 25 te zien. De REF-afdeling kent een verdamping van ca. 12.9 l per 100 mol PAR. In de NIR-afdeling is dit met 11.4 l per 100 mol PAR duidelijk lager. De waarde gevonden in de referentie, is goed vergelijkbaar met de praktijk. Het verschil tussen de twee behandelingen maakt nogmaals duidelijk dat bij toepassing van spectraal selectieve scherm- of kasdekmaterialen bij het sturen van de watergift er terdege rekening gehouden moet worden met de verschillen in stralingsbelasting.



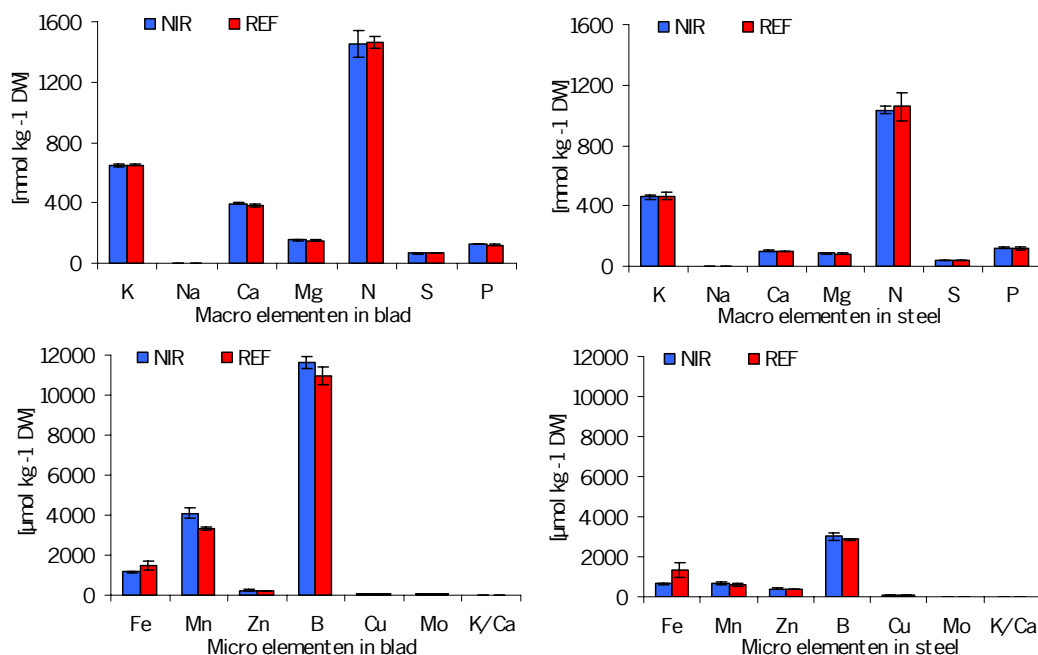
Figuur 25. Dagsom van de verdamping van de NIR- en REF-afdeling over elke dag t.o.v. de PAR-straling in de kas over die dag en een lineaire fit in de periode 3 juli tot 1 november.

Daarnaast is door de punten een lineaire regressielijn gefit. Met een hoge correlatie ($R^2 = 92$ en 93% voor respectievelijk NIR en REF) blijkt de NIR-afdeling 13% minder verdamping per mol PAR-licht te hebben dan de REF-afdeling.

Indien de verminderde verdamping niet tot een lagere productie heeft geleid, wordt de efficiëntie van het watergebruik verbeterd bij toepassing van een NIR-scherm. Deze zogenaamde Water Use Efficiency (WUE) zal pas in paragraaf 3.4.2 besproken worden.

3.3.2 Nutriëntenopname

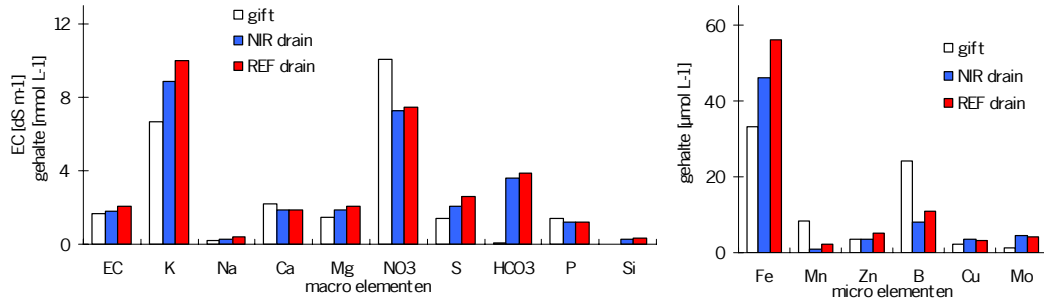
De nutriëntenopname is op 2 manieren gevolgd. Van 6 planten, uit zowel de NIR- als REF-afdeling, die tijdens het experiment zijn gesloopt (zie paragraaf 3.4.1) zijn twee keer van de steel en het blad chemische analyses van de drogestof bepaald. In de bladeren bleek een significant verschil in concentratie van Fe (NIR<REF), Mn (NIR>REF) and Mo (NIR>REF). In de stelen is alleen een significant verschil gevonden voor het element Fe (NIR< REF). In Figuur 26 zijn de analyses in een histogram weergegeven.



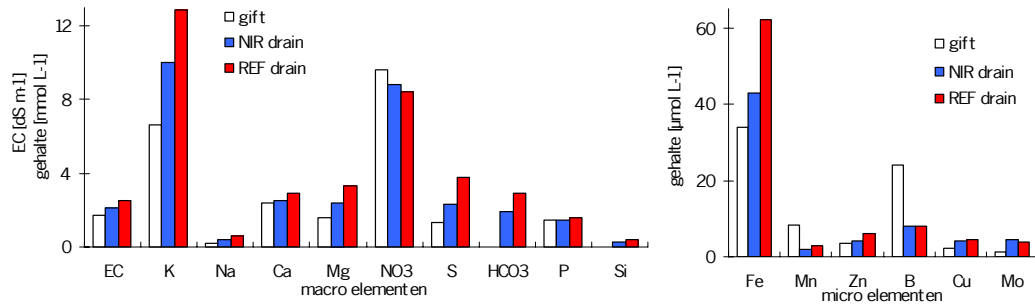
Figuur 26. De gehalten aan micro en macro elementen in droge stofmonsters van steel en blad, gemiddeld van de twee metingen.

De figuur laat zien dat voor veruit de meeste elementen geen significante verschillen zijn. Dit is onverwacht voor Calcium, omdat opname van Calcium evenredig wordt geacht te zijn met de verdamping (Adams & Ho, 1993). Hier werden alleen in de micro-elementen significante verschillen gevonden.

Om te zien of het absolute niveau van verdamping (zonnige of bewolkte dag) invloed heeft op de nutriëntenopname, zijn op zowel een zonnige (stralingssom 1300 MJ/m^2) als op een bewolkte dag (stralingssom 800 MJ/m^2) gedurende de dag monsters van het drainwater genomen. De verdampingssom neemt in de REF-afdeling tussen deze twee dagen van 1.74 l/m^2 naar 1.25 l/m^2 meer af (afname van 22%) dan in de NIR-afdeling waar deze op de zonnige dag 1.54 l/m^2 en op de bewolkte dag 1.37 l/m^2 (11%) is. Dit verschil kan worden veroorzaakt door de verschillen in de gewasontwikkeling als gevolg van de 'snede'. De watergift is op beide dagen gelijk, daar deze hoofdzakelijk niet op stralingssom maar op tijd was gebaseerd. Het resultaat is in Figuur 27 en 28 gegeven. De chemische analyse van de gift is voor alle afdelingen gelijk (wel mengmonster) maar het gebruikte recept voor alle afdelingen is ook gelijk. De concentratie van elementen in het drain water van de REF-afdeling is wat hoger dan in de NIR-afdelingen. Dit is het gevolg van de hogere verdamping in de REF-afdeling (bij gelijke hoeveelheid watergift). Uit Figuur 26 was al gebleken dat er geen verschil in opgenomen nutriënten (elementen) over een langere periode is. Gewoonlijk zal bij een hogere verdamping de concentratie in het drainwater automatisch hoger worden omdat er relatief minder elementen opgenomen zullen worden (lagere opname concentratie). Dat effect is hier niet terug te vinden. Meer algemeen kan echter worden gesteld dat de onderlinge verschillen klein zijn.



Figuur 27. Chemische analyse van de gift en de drain van de REF- en NIR-afdelingen tijdens een zonnige dag.



Figuur 28. Chemische analyse van de gift en de drain van de REF- en NIR-afdelingen tijdens een bewolkte dag.

3.4 Gewas

Een belangrijke vraag binnen dit project is of toepassing van een materiaal welke (een deel) NIR uit het lightspectrum weet te reflecteren ook invloed heeft op de ontwikkeling, productie en kwaliteit van het gewas en het geoogst product. De gewasontwikkeling is op een aantal manieren bijgehouden. Naast plantmetingen als groeiselheid, bladoppervlakte is er ook naar de fotosynthesecapaciteit gekeken. Wellicht past de plant zich na verloop van tijd aan aan de nieuwe omstandigheden. De productie en kwaliteit zijn bij roos sterk met elkaar verbonden. Naast simpelweg kg biomassa, komt de productie ook uit in de kwaliteitsaspecten steellengte, -dikte en knopgrote naar voren.

3.4.1 Ontwikkeling

De meest duidelijke maatstaf voor de gewasontwikkeling is de bladoppervlakte (LA) en de bladstrekking (bladlengte L). Door de oppervlakte van ontwikkeld blad te meten en de bladlengte van deze bladeren te bepalen kan een coëfficiënt 'a' bepaald worden die een maatstaf is in de relatie tussen het vierkant van de bladlengte en het bladoppervlak. In formule vorm: $LA = a \cdot L^2$.

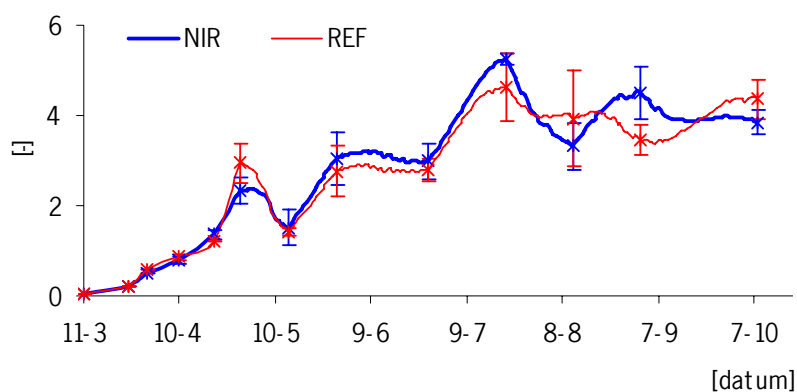
Zou de strekking van het blad als gevolg van de behandeling veranderen, dan zal de coëfficiënt a ook veranderen. De coëfficiënt a is 3 keer bepaald in verschillende stadia van de teelt, voor bladeren met respectievelijk 3, 5 en 7 leaflets (ook wel 3, 5 of 7 blad genoemd). De resultaten zijn in tabel 3 samen met de betrouwbaarheidsinterval, tussen de haakjes, gegeven.

Tabel 3. De gefitte coëfficiënt 'a' (met betrouwbaarheidsinterval voor de relatie $LA = a * L^2$ voor bladeren met respectievelijk 3, 5 en 7 leaflets, in de NIR- en REF-afdelingen.

	3 leaflet bladeren	5 leaflet bladeren	7 leaflet bladeren
NIR	0.375 (0.279, 0.471)	0.382 (0.340, 0.424)	0.373 (0.352, 0.395)
REF	0.369 (0.284, 0.454)	0.366 (0.337, 0.394)	0.369 (0.350, 0.387)

Er is geen significant verschil tussen de NIR- en REF-afdelingen. Dit betekent dat er geen morfologische verschillen tussen de behandelingen zijn.

Voor de groeisnelheid van het gewas en ook voor de verdamping is het bladoppervlakte (LAI) van groot belang. Immers het PAR-licht welke in de kas komt moet uiteindelijk door een gewas onderschept worden om het om te kunnen zetten in drogestof. Op gezette tijden is middels destructieve oogsten de totale LAI van het gewas bepaald. Omdat een 'jong' rozengewas zich kenmerkt door het groeien en bloeien in 'vluchten' kan de LAI tussen metingen sterk variëren. Hiermee wordt bedoeld dat er een periode is van groei van het gewas met weinig tot geen oogst en een fase waarin de oogst de groei overheerst. Met groei wordt in deze de ontwikkeling van vorming van de scheut tot oogstbare steel bedoeld. In Figuur 29 is de LAI ontwikkeling van het gewas tijdens de gehele teelt vanaf het planten in de kas inclusief de onzekerheidsinterval getoond. De figuur maakt gelijk duidelijk dat er forse variaties in de LAI tijdens de teelt zijn. Dit heeft alles met de eerder genoemde vluchten te maken. Om de afzonderlijke meetpunten met elkaar te verbinden, is gebruik gemaakt van de oogstgegevens (dagelijkse informatie) en het bijbehorende versgewicht van de oogst. Met de oogst wordt immers een deel van het bladpakket van het gewas verwijderd. De getoonde onzekerheidsintervallen in de figuur laten zien dat er geen verschil in LAI tussen de behandelingen is. Uit de figuur kan ook worden bepaald dat er in de getoonde periode 5 vluchten zijn geoogst.



Figuur 29. LAI ontwikkeling van het gewas met onzekerheidsmarges van planten in de kas van planten tot 7 oktober.

Een tweede belangrijke maatstaf voor de ontwikkeling van het gewas is de periode tussen ontstaan van een nieuwe scheut, ook wel Bud Break (BB) (scheut heeft lengte tussen 0.5 en 1 cm) genoemd, het zichtbaar worden van de bloem (Visible Bud) en de oogst van de bloem. In tabel 4 zijn de resultaten van de groeidiur tussen scheutvorming en zichtbare bloem en scheutvorming en oogst van de steel inclusief de onzekerheidsinterval weergegeven.

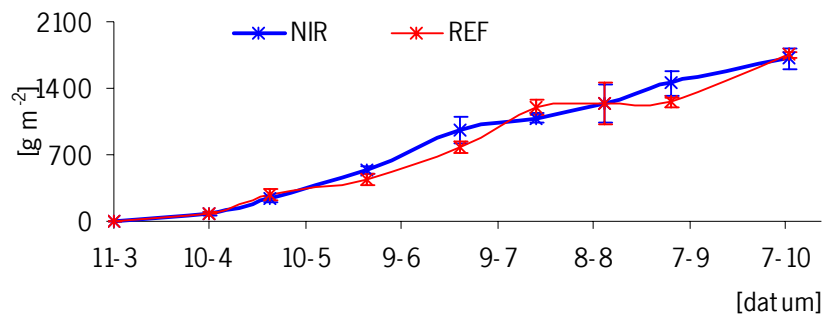
Tabel 4. Tijdsduur van de ontwikkeling van de steel van scheutvorming tot zichtbare vorming van de bloem en van scheutvorming tot oogst voor de 2^e tot en met de 5^e oogst.

	Tijdsduur van scheut tot bloem (dagen)	Tijdsduur van scheut tot oogst (dagen)
NIR	12.21±0.14a	29.00±0.20a
REF	11.35±0.15b	27.89±0.19b

De ontwikkelingssnelheid van de steel, zoals in tabel 4 getoond, is in de REF-afdelingen iets hoger dan in de NIR-afdelingen. De ontwikkelingssnelheid is sterk afhankelijk van de (gewas) temperatuur (Shin et al., 2001).

3.4.2 Productie

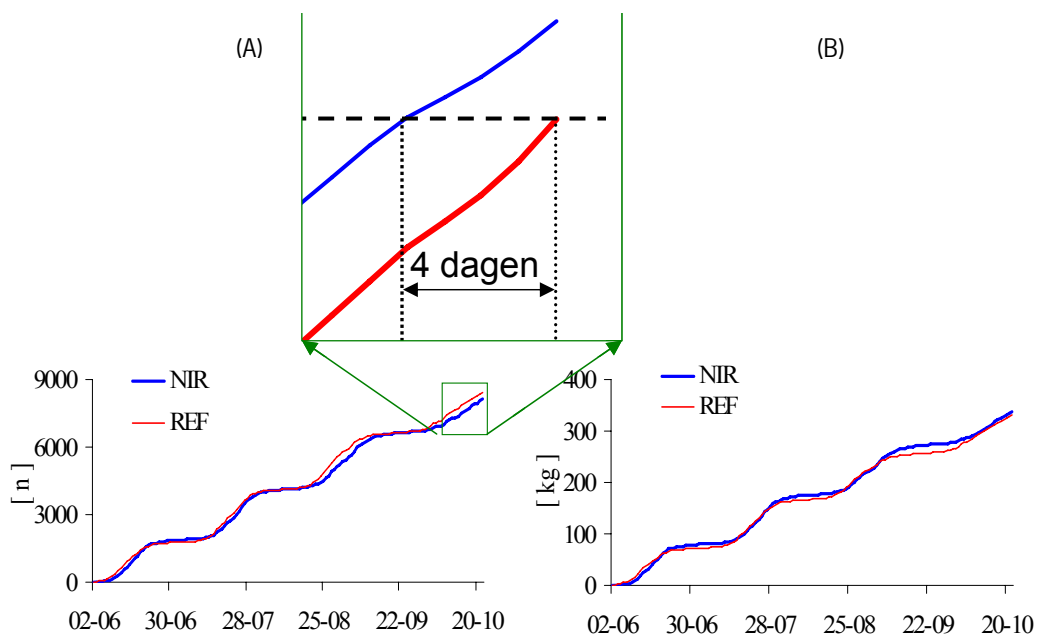
De productie kan op een drietal manieren worden bepaald. Er kan simpelweg geoogste stelen worden geteld, het versgewicht van het geoogst product en het drooggewicht kan bepaald worden. De laatste kan alleen middels destructieve metingen en is dan ook alleen sporadisch uitgevoerd. Het drooggewicht is overigens wel vaak weer een goede graadmeter voor de kwaliteit. In Figuur 30 is de cumulatieve ontwikkeling van de drogestof productie tijdens het experiment inclusief de onzekerheidsmarges weergegeven. Dit is niet alleen een weergave van de geoogste stelen maar van de complete plant zoals deze tijdens de plantslachten is bepaald inclusief de geoogste stelen.



Figuur 30. Ontwikkeling van het cumulatief drooggewicht van de planten met de onzekerheidsmarges van het moment van planten in de kas tot de laatste plantmeting op 7 oktober

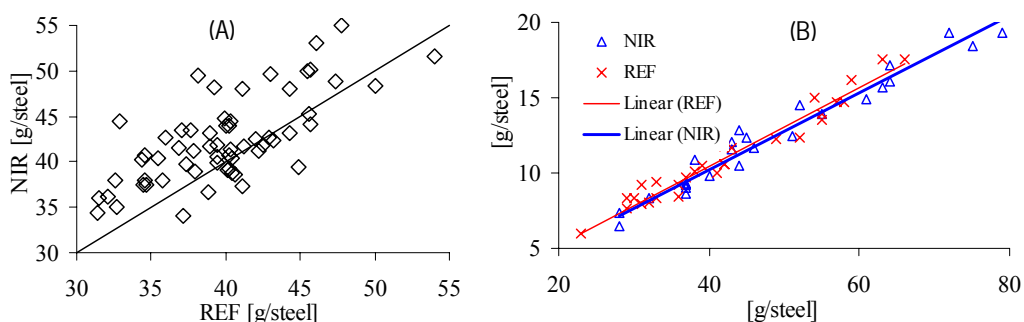
Uit de figuur blijkt dat er geen verschil in de drogestofproductie is gevonden. Nadat de behandeling eind april is gestart, zijn er in totaal 4 complete vluchten van scheutvorming tot en met oogst doorlopen.

In Figuur 31 zijn de geoogste stelen (A) en het versgewicht (B) van de volledige 2^e tot en met 5^e snede weergegeven. Reden om de 1^e snede uit deze gegevens te houden is dat een deel van de oogst gegroeid is onder omstandigheden dat de behandeling nog niet gestart was.



Figuur 31. Cumulatie van de geoogste stelen (A) en cumulatie van het versgewicht van de geoogste stelen (B) van de 2^e t/m de 5^e snede.

Er is geen significant verschil in de cumulatieve oogst, zowel in het aantal geoogste stelen als het versgewicht tussen de twee behandelingen. Het cumulatieve versgewicht van de oogst in de NIR-afdeling is iets hoger dan in de REF-afdeling terwijl de cumulatieve oogst in stelen iets lager ligt, zie Figuur 31 A en B. In Figuur (A) lijkt een kleine faseverschuiving waar te nemen te zijn. Zoals in de vergroting te zien is, loopt de NIR-afdeling aan het einde 4 dagen vertraging in de aantal stengels op, hetgeen een bevestiging is van de onafhankelijke waarneming over de ontwikkelingsperiode (tabel 4). Uit de combinatie van het lagere aantal stelen en het hogere versgewicht, volgt de conclusie dat in de NIR-afdeling het versgewicht per steel hoger is dan in de REF-afdeling. Dit wordt ondersteund door de waarnemingen weergegeven in figuur 32 waar voor iedere oogst het versgewicht per steel van de NIR- en REF-afdelingen zijn getoond (A) en per behandeling het versgewicht per steel ten opzichte van het gewicht aan drogestof per steel (B).



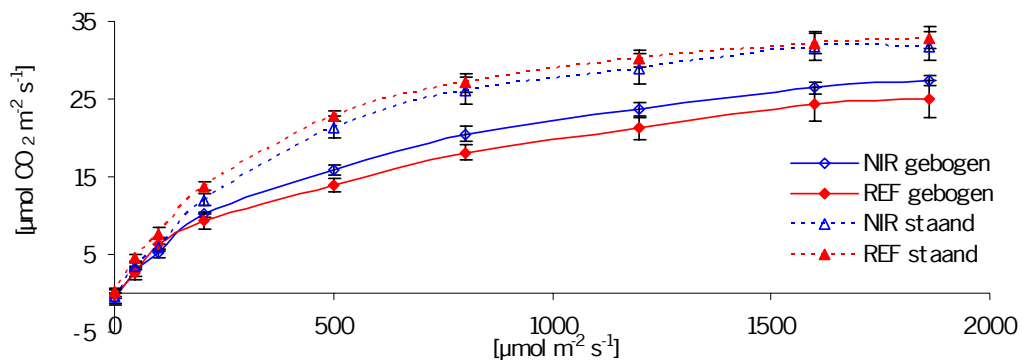
Figuur 32. Het versgewicht per steel voor de REF-afdeling ten opzichte van het versgewicht per steel van de NIR-afdeling per oogst met een één op één lijn (A) en het versgewicht per steel ten opzichte van het gewicht aan droge stof per steel per behandeling met een lineaire fit (B) voor de 2^e t/m de 5^e oogst.

Statische analyse laat zien dat het versgewicht per steel in de NIR-afdelingen significant hoger is dan in de REF-afdelingen met voor NIR 42.3 ± 0.6 g/steel en voor REF 40.1 ± 0.6 g/steel). Uit de regressielijn gefit door de

waarnemingen uit Figuur 32(B) blijkt dat het drogestof gehalte in de NIR-afdeling 25.6%, is terwijl het 26.2% in de REF-afdeling is, wat overigens niet significant is.

Om eventuele verschillen in productie te kunnen verklaren zijn er op 6 dagen met minimaal 8 herhalingen fotosynthesecapaciteitsmetingen verricht. Immers de fotosynthesecapaciteit is een maatstaf voor de productie van drogestof. Deze zogenaamde licht-response curves zijn in Figuur 33 weergegeven. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen staande stelen, die later geoogst worden, en ingebogen stelen, waarop de scheuten uitgroeien en die het bladpakket vormen. Voor de bladeren van de staande stelen is de fotosynthesecapaciteit in de NIR-afdelingen iets lager dan in de REF-afdelingen maar van de ingebogen takken is het omgekeerd. Dat er geen verschillen zijn gevonden in fotosynthesecapaciteit kan een goede verklaring zijn waarom er ook geen verschillen in drooggewicht en oogst zijn aangetoond.

De groei van het versgewicht wordt in de praktijk vaak gerelateerd aan de PAR-som tijdens de groei. De periode tussen scheutvorming en oogst is zoals uit tabel 4 blijkt 28 á 29 dagen. De oogst van vandaag is dan ook het resultaat van de PAR-som over de 28 á 29 dagen voor de oogst. Doordat het jonge gewas nog een erg onregelmatige productie had, kan dit kengetal niet (bruikbaar) per oogstdag bepaald worden. Over de oogstperiode van de 2^e t/m de 5^e snede is de groei 1.42 en 1.38 gram versgewicht / mol PAR voor respectievelijk de NIR- en REF-afdeling.



Figuur 33. Lichtresponse curve (met 6 herhalingen) voor staande en gebogen stelen in de NIR- en REF-afdeling met de bijbehorende onzekerheidsmarge bij een temperatuur van 28 °C en 700ppm CO₂.

Zoals al in paragraaf 3.3.1 aangekondigd, zou door de verminderde verdamping van het gewas, de Water Use Efficiency bij toepassing van een NIR-scherm verbeterd kunnen worden indien de productie niet of niet veel zou verminderen. Deze gegevens zijn in 0 weergegeven.

Tabel 5. Water Use Efficiency van het gewas in de NIR- en REF-afdeling voor de periode 5 juli – 1 november.

	Geoogste stelen [n/m ²]	Geoogst versgewicht [kg/m ²]	Verdamping [kg/m ²]	WUE (versgewicht) [g/kg _{water}]	WUE (stelen) [n/kg _{water}]
NIR	57.6	2.37	129.6	18.3	0.44
REF	61.1	2.37	145.0	16.4	0.42

De WUE in de NIR-afdeling is met bijna 12% verbeterd ten opzichte van de referentie.

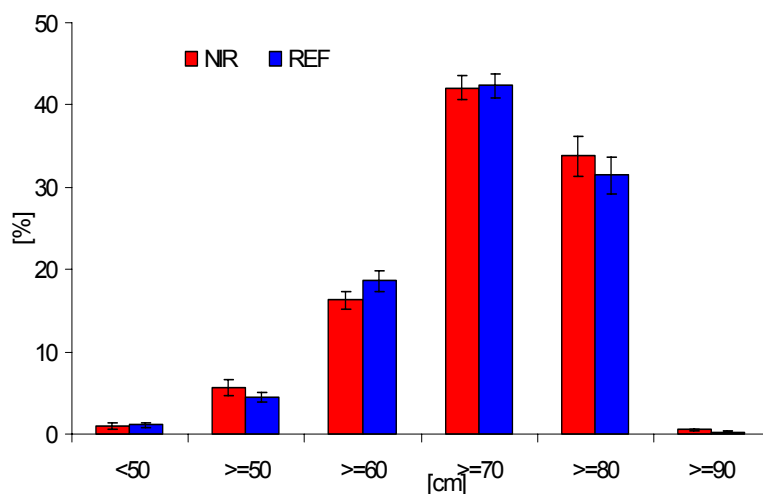
3.4.3 Kwaliteit

In tabel 6 zijn de resultaten van de kwaliteitsaspecten van de geoogste stelen weergegeven. De in tabel 6 gegeven versgewichten per steel verschillen met die zoals weergegeven in Figuur 32. De gegevens in Figuur 32 zijn bepaald uit de proefvakken binnen de afdeling waar van de gehele oogst ook het drogestof gewicht is bepaald. Omdat dit voor de gehele oogst van alle afdeling onmogelijk is, zijn de gegevens weergegeven in tabel 6 van de rest van de afdeling, uitgezonderd het aantal bladeren, welke weer bepaald is over de proefvakken. Hoewel er enig verschil is tussen de proefvakken en de waarnemingen uit de rest van de afdeling is de trend gelijk.

Tabel 6. *Kwaliteitsaspecten van de oogst in de NIR- en REF-afdeling, verschillende letters geven significante verschillen aan.*

	Versgewicht [g]	steellengte [cm]	Steel diameter [mm]	Knop hoogte [cm]	Bloemopening [cm]	Aantal bladeren [n]
NIR	44.4±1.1a	73.8±0.6a	6.5±0.1a	3.88±0.03a	4.8±0.1a	9.3±0.2a
REF	40.9±1.1b	73.1±0.6a	6.5±0.1a	3.75±0.03b	5.0±0.1a	9.4±0.1a

Het versgewicht per steel en de knophoogte zijn in de NIR-afdeling significant hoger dan in de REF-afdeling, wellicht door de langere uitgroeiduur in de NIR-afdeling (tabel 4). Groter versgewicht bij een gelijke drogestof gewicht kan het gevolg zijn van een toename in turgor, dankzij de lagere verdamping. Li et al. (2004) hebben dit aangetoond bij tomaat. De overige kwaliteitsaspecten laten geen verschillen zien.



Figuur 34. *Percentage stelen per lengteklasse met de bijbehorende standaard error.*

In tabel 6 is een overall steellengte weergegeven. Belangrijk is de distributieverdeling van de geoogste stelen. Deze is dan ook in Figuur 34 gegeven. Er zijn geen significante verschillen in percentages stelen welke binnen een bepaalde klasse vallen. Hoewel deze verschillen niet significant zijn, zou bij het vermarkten van deze productie, de oogst in de NIR-afdeling door het leveren van meer lengte ook meer geld op kunnen leveren. Hiervoor is een schatting gemaakt, waarbij is aangenomen dat de verschillen alleen in de zomer ontstaan omdat het NIR-scherm in de winter niet of slechts zeer beperkt gebruikt zal worden. De gemiddelde steellengte neemt met circa 1 cm toe (tabel 6). Indien geschat wordt dat dit een meerwaarde van 1 € ct. heeft op een middenprijs van circa 40 € ct., dan

zullen de opbrengsten met ruim 2% toenemen. Dit weegt echter nog niet op tegen de 1 dag langere uitgroei duur waardoor er uiteindelijk minder stelen geoogst zullen worden.

Tijdens de tweede helft van de teelt, bleken er zich stelen te ontwikkelen waar geen bloemknop in kwam, zogenaamde 'loze stelen' genoemd. In tabel 7 is het aandeel van de loze stelen in zowel aantal als versgewicht weergegeven. De vorming van loze stelen heeft een relatie met een tekort aan licht. De slechte zomer en de relatief lage lichtdoorlatendheid van de afdelingen hebben hierbij een rol gespeeld. Het aandeel loos in de REF-afdeling is echter hoger dan op grond van het verschil in transmissie en PAR-lichtsom verwacht mag worden.

Tabel 7. Loze stelen in de NIR- en REF-afdeling.

	Loze stelen [n]	Totaal geoogst [n]	Aandeel loos [%]	Versgewicht loos [kg]	Totaal versgewicht [kg]	Aandeel loos [%]
NIR	586	8162	7.2	17.5	337.9	5.2
REF	672	8418	8.0	18.1	330.1	5.5

4 Conclusie

De opzet van dit experiment om een gewasresponsie ten gevolge van de veranderde spectrale distributie van de inkomende straling te detecteren door –middels een beweegbaar scherm– NIR-straling uit de kas te weren, bij gelijkblijvende PAR-transmissie, is geslaagd.

De volgende bevindingen voor de NIR behandeling ten opzichte van de referentie zijn naar voren gekomen:

- Er is geen enkel effect op productie, in termen van drooggewicht en stengel aantallen, ondanks een verlenging van de uitgroei duur met circa een dag.
- [Geringe] kwaliteitsverbetering van het geoogst product welke tot uiting kwam in een iets langere steel en meer versgewicht.
- Door toepassing van dit materiaal wordt de warmtebelasting met gemiddeld 12% van de globale-straling verminderd. Schommelingen van deze waarde zijn afhankelijk van het jaargetijde en de bewolgingsgraad.
- Dit heeft zich vertaald in een verlaging van de ventilatiebehoefte en zou een verlaging van de koelbehoefte bij semi-gesloten telen betekenen.
- De beweegbare installatie heeft ervoor gezorgd dat er geen toename in de energiebehoefte ten behoeve van de verwarming is geweest.
- De verminderde ventilatie kan enerzijds betekenen of minder CO₂-uitstoot (bij gelijkblijvende concentratie) of de mogelijkheid om een hoger CO₂-concentratie in de kas te houden.
- Een belangrijke factor is dat de reflectie van NIR-straling door het gewas met 45% veel hoger is dan van de PAR-straling (5%). Deze hoge reflectie voor de NIR-straling zorgt ervoor dat de ‘theoretische’ effectiviteit bij toepassing van zo’n materiaal lager uitvalt dan men zou verwachten.
- De verdamping wordt verlaagd met gemiddeld 11%. Er zijn geen negatieve gevolgen, als een mogelijk nutriëntentekort van elementen die passief worden opgenomen, zoals bijvoorbeeld Ca, bij de verlaagde verdamping geconstateerd. Door de feed-back van vochtigheid op kasniveau (drogere lucht), is deze verlaging [iets minder dan] evenredig met de verminderde energie inbreng bij het gewas.
- Verhoging van de Water Use Efficiency met 11%. In termen van kilogram productie per hoeveelheid gegeven water is de toename evenredig met de vermindering in verdamping, wat dit materiaal aantrekkelijk zou kunnen maken in gebieden waar waterbeschikbaarheid een knelpunt is.

Beschouwing:

Energie:

Gebruikers met ‘lichtminnende’ gewassen zullen bij toepassing van NIR-reflecterende schermmaterialen als deze, door de verlaging van de PAR-transmissie onder Nederlandse omstandigheden al snel teveel productie inleveren, ten opzichte van geen scherm. Toepassing moet dan ook voornamelijk gezocht worden bij gewassen waar nu met zonwering en of krijt wordt gewerkt. Bij traditioneel telen, zal toepassing niet tot energiebesparing leiden, anders dan in geval van toepassing als een extra (tweede) scherm in de wintermaanden. Bij semi-gesloten telen zal de koelbehoefte met de stralingsbelasting afnemen en daarmee een energiebesparing kunnen opleveren.

Ventilatie:

Bij toepassing van deze materialen mag de ventilatiecapaciteit niet (teveel) beperkt worden. De gekozen opzet om toch voldoende ventilatie te behouden door het scherm gedeeltelijk open te trekken heeft wel gefunctioneerd maar is installatietechnisch vrij kostbaar en omslachtig in de regeling. Bij toepassing als buitenscherm zou in ieder geval een beter regelbare en eenvoudiger constructie mogelijk zijn, die financieel voordeliger uit zal pakken dan de in dit project gebruikte oplossing. Er zijn echter ook nadelen aan een buitenscherm.

Verbetering van het materiaal:

Verdere verbetering van de NIR-reflectie, zal de warmtebelasting van de kas verder verlagen. Echter, door de hoge reflectie van het gewas in de NIR-band, zal de maximale warmtereductie die bereikt kan worden significant minder zijn dan de theoretische cut-off van 50% van de globale straling. Er is geen reden om aan te nemen dat de gevonden richtingen van lagere kaslucht- en gewas-temperatuur, minder verdamping en minder ventilatie bij een verdere verbetering van de NIR-reflectie zal veranderen. De kas zal koeler blijven en het CO₂-niveau kan verder stijgen. Door de lagere verdamping en de drogere kaslucht zou de inzet van verneveling effectiever kunnen worden.

5 Literatuur

- Abdel-Ghany, A.M., Kozai, T. and Chun, C. 2001.
Evaluation of selected greenhouse covers for use in regions with a hot climate. *Japan. J. Tropic. Agric.* 45: 242-250.
- Adams, P. and Ho, L.C., 1993.
Effects of environment on the uptake and distribution of calcium in tomato and on the incidence of blossom-end rot. *Plant and Soil* 154: 127-132.
- Gonzalez-Real, M.M. and Baille, A. 2000.
Changes in leaf photosynthetic parameters with leaf position and nitrogen content within a rose plant canopy (*Rosa hybrida*). *Plant Cell Environment* 23: 351–363.
- Shin, H.K., Lieth, J.H. and Kim, S.H. 2001.
Effects of temperature on leaf area and flower size in rose. *Acta Hort.* 547: 185-191
- Hemming, S., van der Braak, N., Dueck, T., Elings, A. and Marissen, N. 2005.
Filtering natural light at the greenhouse covering - Better greenhouse climate and higher production by filtering out NIR? *Acta Hort.* 711: 105-110.
- Hemming, S., van der Braak, N., Dueck, T., Elings, A. and Marissen, N. 2005.
Het effect van NIR-filterende kasdek- en schermmaterialen op kasklimaat, energieverbruik en gewasproductie. *Agrotechnology & Food Innovations B.V. Rapport* 505.
- Hemming, S., Kempkes, F., van der Braak, N., Dueck, T., and Marissen, N. 2007.
Greenhouse Cooling by NIR-reflection. *Acta Hort.* 719: 97-105.
- Hemming, S., V. Mohammadkhani, T. Dueck. 2008.
Diffuse greenhouse covering materials - material technology, measurements and evaluation of optical properties. *Acta Hort.* 797: 469-475.
- Jong, de, T., 1990.
Natural ventilation of large Multi-span greenhouses. PhD dissertation, Agricultural University, Wageningen; 116 pp.
- Kool, M.T., and Van de Pol, P.A. 1996.
Long-term flower production of a rose crop. I. The influence of planting system and rootstock clone. *Journal of Horticulture Science* 71 (3): 435–443.
- Li, Y.L., L.F.M. Marcelis & C. Stanghellini, 2004.
Plant water relations as affected by osmotic potential of the nutrient solution and potential transpiration in tomato (*Lycopersicon esculentum L.*). *The Journal of Horticultural science & Biotechnology* 79 (2): 211-218.
- Ross, J., 1981.
The radiation regime and architecture of plant stands. Dr W. Junk Publishers, The Hague: 391 pp.
- Runkle, E.S., Heins, R.D., Jaster, P. and Thill, C. 2002.
Environmental conditions under an experimental near infra-red reflecting greenhouse film. *Acta Hort.* 578: 181-185.
- Tanaka, J. 1997.
A model experiment on reduction of greenhouse cooling load in the daytime using shading material against infrared radiation as covering. *Environment Control in Biology* 35 (1): 15-20.
- Verlodt, I. and Verschaeren, P. 1997.
New interference film for climate control. *Plasticulture* 115: 27-35.

Bijlage I.

Publicaties & presentaties

Binnen dit project zijn de volgende publicaties en presentaties gegeven.

Nationaal:

1. PAR-licht erin, warmte eruit. Vakblad voor de Bloemisterij 3 (2008)
2. NIR-scherm als bijdrage aan energiebesparing. Groenten + fruit 3 (2008)
3. Met scherm wel PAR-licht doorlaten, maar niet de warmte Onderglas september 2008
4. Kasproef schermmateriaal met NIR-reflectie. Presentatie t.b.v. themadag geconditioneerd telen 28 oktober 2008.

Internationaal:

1. NIR-screen as an energy saving measure. Fruit&veg tech 83 2008
2. Cover Materials Excluding Near Infrared Radiation: Effect on Greenhouse Climate and Plant Processes ? Proceedings of the International workshop on Greenhouse Environmental control and crop production in semi arid regions. Acta Horticulturae 797, p477-482, 2008
3. Cover materials excluding Near Infrared radiation: what is the best strategy in mild climates? Proceedings of the International Symposium on Strategies towards Sustainability of Protected Cultivation in Mild Winter Climate. Acta Horticulturae 807, p67-72, 2009
4. Reflective materials for Near Infra Red radiation: effect on climate and effect on crop. Flower&veg tech, March 2009. (in press)

Wageningen UR onderzoekt nabij-infraroodscherm

PAR-licht erin, warmte eruit

Behalve PAR-licht komt er ook UV- en NIR-licht in de kas. NIR (nabij-infrarood) levert warmte. In de winter is dat gunstig, maar in de zomer moet al die warmte weer worden afgevoerd via ventilatie of koeling. Er zijn verschillende mogelijkheden om NIR 's zomers weg te filteren. Komend voorjaar voert Wageningen UR Glas-tuinbouw een proef uit met een NIR-scherm om de gevolgen voor het gewas te bepalen.

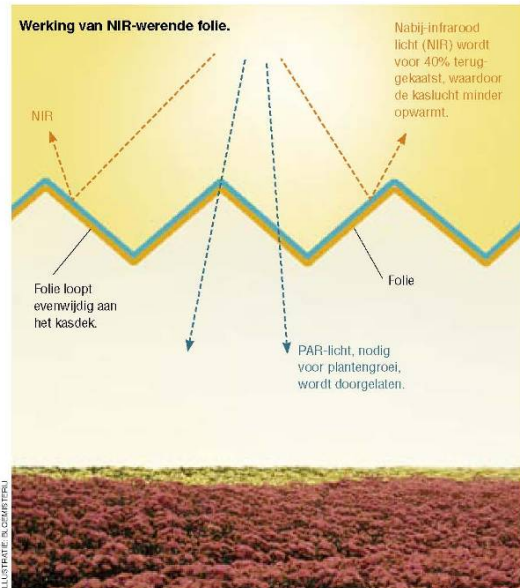
Frank Kempkes
WUR Glas-tuinbouw

Zonlicht bestaat uit verschillende golflengtes, namelijk ultraviolette straling (UV, 300-400 nanometer), fotosynthetisch actieve straling (PAR, 400-760 nm) en nabij-infrarode straling (NIR, 760-2.500 nm). De dampkring absorbeert vrijwel alle UV-straling, zodat ongeveer de helft van de energie uit de zonnestraling valt in het PAR- en de andere helft in het (brede) NIR-gebied. De verschillende golflengtes hebben op verschillende manieren gevolgen voor wat er zich in de kas afspeelt.

De laatste tijd is er veel belangstelling voor NIR. Deze straling is niet direct nodig voor de groei van de planten, maar zorgt wel voor opwarming van de kas

en van de planten. In de wintermaanden is de zon de goedkoopste energiebron. Door jaarrond alle NIR-straling volledig weg te filteren of te reflecteren zou het energiegebruik met meer dan 10% stijgen.

In de zomermaanden is de temperatuurverhoging door de NIR-straling ongewenst. Zonder voldoende luchtstroom of koelcapaciteit leiden hoge temperaturen tot stressverschijnselen in het gewas. Daarnaast gaat door het ventileren ook veel CO₂ verloren. Daardoor daalt de fotosynthese, met negatieve gevolgen voor de plantengroei. Een teler probeert om die reden de luchtstromen zoveel mogelijk gesloten te houden. Door in de zomer de NIR-transmissie te beperken zal het CO₂ niveau dan ook stijgen.



NIR beperken

Veel lichtminnende planten, zoals tomaat en roos, moeten tegen te veel warmte (NIR-straling) worden beschermd. Te veel PAR-licht is voor veel planten geen probleem; alleen voor schaduwplanten is dat anders. Voor de meeste gewassen in de glastuinbouw is een hoge PAR- en een lage NIR-transmissie (in de zomer) daarom ideaal.

Er zijn een paar mogelijkheden om NIR-licht weg te filteren:

- schermen (beweegbaar of krijt) binnen dan wel buiten;
- kasdek bestaande uit materiaal met verlaagde NIR-transmissie, bijvoorbeeld coating op het materiaal.

Binnenscherm

Het sluiten van een binnenscherm is een goede en flexibele mogelijkheid om ongewenste instraling van NIR tegen te gaan en op die manier de planten te beschermen tegen een te hoge de temperatuur. Het scherm houdt echter niet alleen het nabij-infrarood tegen, maar ook, afhankelijk van de eigenschappen van het scherm, de hoeveelheid PAR-licht in de kas. Schermen gaan dan ten koste van de plantengroei. Daarnaast kan een scherm ook invloed hebben op de ventilatiecapaciteit.

Buitenscherm

Voor een betere luchtuitwisseling zijn buitenschermen gunstiger dan binnenschermen. Buitenschermen hebben echter drie nadelen. Ten eerste zijn ze

Onderzoek

Welk effect heeft NIR-scherm op de teelt?

In het kader van het energie-onderzoek gaat Wageningen UR Glas-tuinbouw komend voorjaar/zomer een proef uitvoeren met een NIR-folie. Deze folie is qua licht eigenschappen vergelijkbaar aan de folie getoond in de figuur. Hij kan ongeveer 40% van de NIR-straling reflecteren en wordt als een scherm uitgevoerd, zodat de keus gemaakt kan worden om de NIR-straling in de kas te verminderen of niet.

Door het effect van het filter op zowel plant- als kasprocessen in kaart te brengen moet dit onderzoek uitsluitend geven over de potenties voor gebruik in de Nederlandse glastuinbouw.

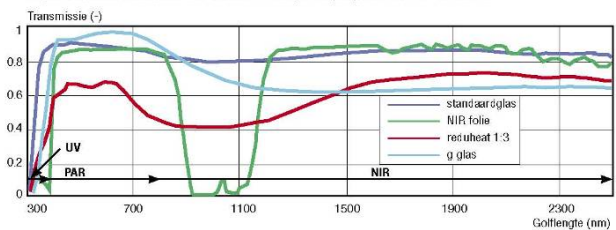
In twee proefatdelingen in de kassen in Bleiswijk wordt een rolbaar NIR-scherm evenwijdig aan het kasdek aangebracht. Omdat de kassen oost-west zijn georiënteerd kan het bovenscherm aan de zuidzijde lang gesloten blijven, terwijl aan de noordzijde wordt geventileerd. Zo wordt een optimaal rendement van de folie verkregen. In de kassen, en in de twee referentie-compartimenten, zullen verschillende metingen aan zowel het gewas, in dit geval roos, als aan het klimaat worden gedaan. De belangrijkste doelen van de

- proef zijn het in kaart brengen van:
 - het effect van de filter op de ventilatiebehoefte en CO₂-huishouding van de kas;
 - de gevolgen van een vermoedelijk lagere verdamping voor vocht- en energiehuishouding

- van het gewas;
 - het effect van de filter op gewas-temperatuur en DIF, en daarmee dus op de gewasontwikkeling;
 - vermindering CO₂-uitstoot door vermindering van ventilatie;

- verbeteren gewasmanagement en -productie in een NIR-arme kasomgeving. Het onderzoek gebeurt met financiële ondersteuning van het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en het Productschap Tuinbouw.

Figuur. De transmissie van vier materialen in het golflengte gebied van 300-2.500 nm.



In de figuur is de spectrale lichtdoorlatendheid van diverse materialen en toepassingen weergegeven. Een glas (g) met een coating die in het PAR-gebied een hogere en in het NIR-gebied een lagere transmissie heeft, een NIR-filterende folie (geschikt voor toepassing in schermen) en een NIR-filterend krijt (Redu Heat 1.3). Daarnaast is voor het vergelijk ook een standaardglas in de figuur opgenomen.

De figuur laat ook de verschillende bandbreedten zien voor het UV-, PAR- en NIR-golflengtegebied. De materialen verschillen sterk in de doorlatendheid in het UV-gebied. De doorlatendheid voor

PAR is min of meer gelijk (met uitzondering van het krijt) en de materialen verschillen vooral in hun vermogen om onnodige NIR-straling tegen te houden. De energie-inhoud van de straling is het grootst bij kortere golflengtes, het relatief kleine gebied tussen 800 en 1.100 nm, waar de NIR-folie heel effectief is, bevat al circa 35% van de 'onnuttige' zonne-energie in de gehele NIR-spectrum. Het gevolg is dat materialen, die selectief straling van 800-1.100 nm tegenhouden, een temperatuurverhoging in de kas effectiever kunnen bestrijden dan materialen die selectief straling tegenhouden tussen 1.100 en 1.400 nm.

technisch veel gecompliceerder. Ten tweede reduceren ze de totale lichtdoorlatendheid van de kassen omdat de constructie altijd aanwezig is. Tot slot zijn deze schermen gevoeliger voor schade door weersinvloeden.

Krijten is in feite ook een vorm van (buiten) schermen, maar dan niet beweegbaar. Traditioneel krijt neemt veel licht weg. Het is bovendien slecht aanpasbaar aan het buitenklimaat. Het krijt scherm ook op donkere zomerdagen en dagdelen wanneer eigenlijk al het natuurlijke zonlicht nodig zou zijn. Een selectief krijt dat voornamelijk het NIR deel van het licht spectrum weert te weren, zou al een aanzienlijke verbetering zijn.

Nieuwe materialen

Een materiaal dat zoveel mogelijk PAR-licht doorlaat voor een optimale plantengroei, maar NIR-straling tegenhoudt, zou een stap in de goede richting zijn. Als een dergelijk materiaal wordt gevonden, moet vervolgens de keus worden gemaakt hoe dit materiaal toe te passen.

Er zijn verschillende NIR-filterende materialen op de markt die mogelijkheden zouden kunnen bieden. De optische eigenschappen van deze materialen moeten eerst worden onderzocht. Heel veel NIR-filterende materialen hebben namelijk ook in het PAR-gebied een fors lagere transmissie. <

Samenvatting

In de zomer is schermen of krijten een manier om oververhitting van het gewas te voorkomen. Dit houdt echter ook het nuttige PAR-licht tegen, zeker op donkere dagen. WUR Glas-tuinbouw onderzoekt een schermsoort die PAR-licht doorlaat en warmte tegenhoudt.

ACHTERGROND

NIR-scherm als bijdrage aan

In de zomer moet een kas door invallende NIR-straling extra worden geventileerd en/of gekoeld. Er zijn echter mogelijkheden om die straling uit de kas te weren. Wageningen UR Glastuinbouw wil in een proef met een NIR-scherm achterhalen wat de gevolgen hiervan zijn voor het gewas.

DOOR FRANK KEMPKE
WUR Glastuinbouw

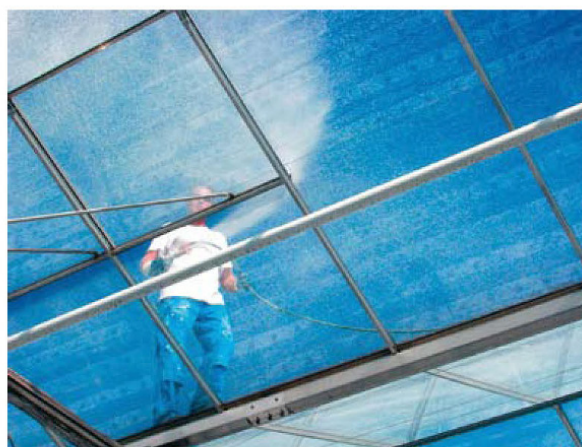
Zonnestraling bestaat uit licht met verschillende golflengten: ultraviolette straling (UV), fotosynthetisch actieve straling (PAR) en nabij infrarode straling (NIR). UV bevindt zich in de golflengte tussen 300 en 400 nanometer, PAR tussen 400 en 760 nanometer en NIR tussen 760 en 2.500 nanometer. De dampkring absorbeert vrijwel alle UV-straling en bij een toenemende golflengte bevat de straling minder energie. Ongeveer de helft van de energie-inhoud van de zonnestraling die op aarde terecht komt, valt in het PAR-gebied en de andere helft in het NIR-gebied. De diverse golflengten hebben op verschillende manieren gevolgen voor wat zich in een kas afspeelt.

NIR-straling is niet direct nodig voor de groei van planten, maar de energie van deze straling zorgt wel voor opwarming van de kas en van planten. Omdat de zon de goedkoopste energiebron is, is die opwarming in de meeste gevallen bijzonder gewenst. Wageningen UR Glastuinbouw berekende dat jaarrond NIR-straling weren uit de kas energie kost. Het energieverbruik stijgt daardoor met meer dan 10 procent.

In de zomer is de temperatuurverhoging in een kas door NIR-straling ongewenst. Zonder voldoende luchttings- of koelcapaciteit leiden hoge temperaturen tot stressverschijnselen in het gewas. Daarnaast gaat door het ventileren ook veel CO₂ verloren. Daardoor daalt de fotosynthese, met negatieve gevolgen voor de groei van de planten. Een teler probeert om die reden de luchtramen zoveel mogelijk gesloten te houden. Door in de zomer de transmissie van NIR-straling naar de kas te beperken zal het CO₂-niveau dan ook stijgen.

NIR-LICHT BEPERKEN

Veel lichtminnende planten, zoals tomaat en roos, moeten tegen teveel warmte (NIR-straling) worden beschermd. Teveel PAR-straling is voor veel planten geen probleem, alleen schaduwplanten vormen daarop een uitzondering. Voor de meeste gewassen in de glastuinbouw is een hoge PAR- en een lage NIR-transmissie (in de



Een buitenscherm dat NIR-licht filtert (hier met gewoon scherm) kan positief werken, maar de totale lichtdoorlatendheid van de kas neemt er wel door af.

Foto: Bloemisterij

zomer) daarom de meest ideale situatie.

Hoeveel NIR-straling door een bepaald materiaal gaat, hangt af van de eigenschappen van dat materiaal. Daarnaast is er, afhankelijk van de uitvoeringsvorm, de keus om het materiaal te gebruiken of niet. Er zijn verschillende mogelijkheden om NIR-straling weg te filteren. Dit kan via schermen (beweegbaar of krijt) binnen of buiten én via een kasdek dat bestaat uit materiaal met een verlaagde NIR-transmissie, bijvoorbeeld door een coating op het materiaal.

BINNENSCHERM EN BUITENSCHERM

Een binnenscherm sluiten is een goede en flexibele mogelijkheid om ongewenste NIR-straling tegen te gaan en op die manier planten te beschermen tegen een te hoog oplopende tempera-

energiebesparing



Een selectief krijt dat voornamelijk het NIR-deel van het lichtspectrum weet te weren, is al een aanzienlijke verbetering.

tuur. Het scherm beperkt echter vaak niet alleen de hoeveelheid stralingsenergie, maar ook, afhankelijk van de eigenschappen van het scherm, de hoeveelheid PAR-straling in een kas. Schermen gaat dan ten koste van de plantengroei. Daarnaast zal een scherm, afhankelijk van de opbouw ervan, ook de ventilatiecapaciteit kunnen beïnvloeden.

Voor een betere uitwisseling van lucht zijn buitenschermen gunstiger dan binnenschermen, alleen zijn ze technisch veel gecompliceerder. Buitenschermen reduceren bovendien de totale lichtdoorlatendheid van een kas door de altijd aanwezige constructie van de schermen én ze zijn gevoeliger voor schade door weersinvloeden. Krijten is in feite ook een vorm van (buiten)schermen, maar dan niet beweegbaar. Traditioneel krijt neemt veel licht weg. Krijt is

bovendien slecht aanpasbaar aan het buitenklimaat (te vroeg of te laat). Het krijt schermt ook op donkere zomerdagen en dagdelen wanneer eigenlijk al het natuurlijke zonlicht nodig is. Een selectief krijt, dat voornamelijk het NIR-deel van het lichtspectrum weet te weren, is al een aanzienlijke verbetering.

Een nieuw materiaal dat zoveel mogelijk PAR-straling doorlaat, maar NIR-straling tegenhoudt, zou een stap in de goede richting zijn. Als een dergelijk materiaal wordt gevonden, moet vervolgens de keus worden gemaakt hoe dit materiaal toe te passen. Er zijn verschillende NIR-filterende materialen die mogelijkheden bieden. De optische eigenschappen van deze materialen moeten echter eerst worden onderzocht, want heel veel van deze materialen hebben ook in het PAR-gebied een fors lagere transmissie.

ONDERZOEK

In het kader van het energie-onderzoek gaat Wageningen UR-Glastuinbouw met financiële ondersteuning van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en het Productschap Tuinbouw komend voorjaar/zomer een proef uitvoeren met een NIR-folie. De gebruikte folie is wat betreft lichteigenschappen vergelijkbaar met de folie die in de *figuur op de website* is te vinden, waarin de spectrale lichtdoorlatendheid van vier materialen is weergegeven: standaard glas, NIR-filterende folie, Reduheat 1:3 en g-glas. De folie kan ongeveer 40 procent van de NIR-straling reflecteren en wordt als een scherm uitgevoerd, zodat de keus kan worden gemaakt om de NIR-straling in de kas te verminderen of niet.

Door het in kaart brengen van het effect van deze filter op zowel processen in de plant als in de kas moet dit onderzoek uitsluitend geven over de potenties van deze folie voor gebruik in de Nederlandse glastuinbouw.

De proef wordt uitgevoerd in vier afdelingen van de onderzoekslocatie van WUR Glastuinbouw in Bleiswijk, waarvan in twee afdelingen een rolbaar NIR-scherm evenwijdig aan het kasdek wordt aangebracht. In de twee controle-afdelingen wordt met dezelfde constructie een scherm aangebracht met dezelfde eigenschappen voor wat betreft PAR-straling. Omdat de kassen een oost-westligging hebben, kan het bovenscherm aan de zuidkant lang gesloten blijven, terwijl aan de noordkant wordt geventileerd. Zo wordt een optimaal rendement van de folie verkregen. In de kassen zullen verschillende metingen in zowel het gewas, in dit geval roos, als aan het klimaat worden gedaan.

De belangrijkste vijf doelen van de proef zijn het in kaart brengen van: het effect van de filter op de ventilatiebehoefte en CO₂-huishouding in de kas; de gevolgen van een vermoedelijk lagere verdamping voor vocht- (en energie)huishouding van het gewas; het effect van de filter op gewastemperatuur en DIF (de verlaging van de gewastemperatuur is immers slechts overdag aanwezig) en daarmee dus op de gewasontwikkeling; vermindering van de CO₂-uitstoot door vermindering van ventilatie en verbetering van het gewasmanagement en tenslotte de productie in een NIR-arme kasomgeving. ■

 Op www.weekbladgroentenfruit.nl/verwijzingen vindt u een overzicht en beschrijving van de spectrale lichtdoorlatendheid van vier verschillende materialen

Nog geen NIR-folie beschikbaar die alle NIR-straling wegfiltert

Met scherm wel PAR-licht doorlaten,



Onderzoeker Frank Kempkes (in de kas met NIR-folie) doet dit groeiseizoen onderzoek naar het effect van folie die een deel van de NIR-straling tegenhoudt. Hij kijkt daarbij vooral naar de effecten op de gewasontwikkeling en het klimaat.

Zonlicht bestaat uit straling met verschillende golflengten: ultraviolette straling (UV), fotosynthetisch actieve straling (PAR) en nabij infrarode straling (NIR). Wat is er idealer dan een folie die de PAR-straling doorlaat en NIR-straling tegenhoudt? De eerste onderzoeksstappen zijn gezet. De praktijktoepassing in deze vorm laat nog even op zich wachten.

TERST EN BEELD: WARLEEN ARKESTEIJN

WUR Glastuinbouw onderzoeker Frank Kempkes doet dit groeiseizoen onderzoek naar het effect van folie die een deel van de NIR-straling tegenhoudt. Bij dit onderzoek in de proefkassen in Bleiswijk in het kader van het energiebesparingsprogramma van LNV en PT, kijkt hij vooral naar de effecten op de gewasontwikkeling en het klimaat.

MOEST
VERMINDEREN

"Het idee achter de proef is de koellast verminderen en CO₂ in de kas te houden. Maar wat gebeurt er rondom het gewas en het klimaat als je een dergelijk materiaal toepast? Als er minder warmtestraling is,

zal er ook minder verdamping zijn. En wat is het effect van een andere temperatuur?"

PAR-licht is ook warmte

Als gewas viel de keuze op roos. Kempkes: "Warmte speelt een belangrijke rol bij de kwaliteit van rozen. In de praktijk zijn telers bezig met krijten, schermen en koelen. Het gewas is goed te beoordelen op kwalitatieve aspecten als dikke en dunne stelen en knoppen. Het verwachte effect is een lagere gewas temperatuur en daardoor rozen met dickere knoppen en stelen."

Voordat de onderzoeker begint, geeft hij uitleg over licht. Licht is energie. De golflengte van zonnestraling loopt van 1 tot 2500 nm. Ultraviolet licht heeft een golflengte tussen 1 en 400 nm en wordt vrijwel volledig weg gefilterd door de dampkring. PAR-licht heeft een golflengte tussen 400 en 700 nm en infrarood licht tussen 700 en 2500 nm. In het infrarode gedeelte van 700 tot 2500 nm zit ongeveer 50% van de energie van het zonlicht. In het zichtbare licht, dat ongeveer gelijk valt met het PAR-licht, zit 45 tot 50% van de energie.

...energie van
zonlicht

Een moderne kas laat ongeveer 80% straling door, waarvan ongeveer de helft in het PAR- en de helft in het NIR-gebied. PAR- en NIR-straling zorgen beiden voor opwarming en verdamping. Van het PAR-licht wordt 5% gereflecteerd en 95% opgenomen in het gewas. Het gewas reflecteert 45% van het NIR-licht en 55% wordt gebruikt voor opwarming en verdamping.

Daarnaast zorgt straling met de juiste golflengte (PAR) ook voor fotosynthese. Zeker in de zomer, als een teler vaak moet luchten om warmte te verwijderen en er zo ook CO₂ uit de kas verdwijnt, is het een voordeel als een selectief filter een deel van de warmte - de NIR-straling - buiten houdt.

...fotosynthese

Modelberekeningen

Voorafgaand aan de proef zijn modelberekeningen gemaakt van de potentiële effecten op het kasklimaat van een dek dat geen (referentie) en dat 50 of 100% NIR-licht tegenhoudt in een modeljaar in Noord-Europa. Kempkes geeft aan dat 50% NIR-reflectie 25% minder warmtebelasting betekent. Volgens het model heeft dit gevolgen voor de temperatuur en verdamping.

De onderzoeker: "Het temperatuurverschil tussen wel en geen NIR-reflectie scheelt hooguit één tot twee graden. Dat lijkt weinig, maar heeft toch grote gevolgen. Jaarrond een graad warmer opstoken, betekent 10% extra energieverbruik. Andersom kan afscherming van NIR-straling bij semi-gesloten telen een hele investering aan koelcapaciteit schelen."

...temperatuur-
verschil

Volgens de modelberekening is sprake van een aanzienlijke vermindering van de verdamping bij 50 en 100% NIR-reflectie

maar niet de warmte

Horti Fair
 14 tot en met 17 oktober 2008

NIR-STRALING
 SCHERMEN

ten opzichte van de situatie zonder NIR-reflectie. Om de negatieve gevolgen in de winter (extra stoken) en positieve kanten in de zomer te benutten, is gekozen voor een beweegbaar scherm in de proef.

Proefkas

Sinds maart 2008 ligt in de proefkassen in Bleiswijk een proef met rozen van het ras 'Passion' met een 40% NIR-schermbaan van 3M. Er zijn twee afdelingen met NIR-schermen en twee referentiekassen met ILS-ultraschermbaan van Svensson met een vrijwel gelijk PAR-doorlatendheid.

PAR-
 doorlatendheid

"Het testmateriaal houdt weinig PAR-licht tegen (transmissie 81%) en reflecteert ongeveer 40% van de NIR-energie, dus warmte. De golflengte van het tegengehouden licht ligt ongeveer tussen 840 en 1120 nm." Het is volgens Kempkes de beste folie die op dit moment voorhanden is, waarbij er nog zoveel PAR wordt doorgelaten. Meestal loopt de transmissie in het PAR-gebied namelijk bijna net zo snel terug als in het NIR-gebied.

setpoint-
 ventilatie

Tijdens de proef regelt de onderzoeker de schermen op het setpoint ventilatie en straling. Als overdag het setpoint ventilatie wordt bereikt, gaan de schermen dicht. In deze situatie komt er immers teveel energie in de kas. De kassen hebben doorlopende nokkluchting. De schermen lopen langs het dek en bestaan uit drie delen: onder het raam, voor het raam aan de noordzijde en voor het raam aan de zuidzijde.

Alle schermen gaan gelijktijdig dicht, maar de ventilatie start met het raam op de noordzijde. Het onderste scherm blijft altijd dicht en het scherm voor het lucht-raam aan de zuidzijde gaat pas langzaam open als er ook aan de zuidzijde geventileerd moet worden. Van die kant komt de meeste straling. Er is geen gevelschermbaan met NIR folie.

NIR-schermbaan niet negatief

conclusies

Halverwege de proefperiode kan Kempkes al een paar conclusies trekken. "Allereerst ontstaat het inzicht dat het scherm geen negatief effect heeft op de plant. De complete oogst is bij een rozenteler door de sorteermachine gehaald. De gegevens van lengte, gewicht, rijpheid en knop zijn daarmee vastgelegd. Wat betreft oogst en productie is er tot half juli geen verschil op



Een van de twee referentiekassen met een ILS-ultraschermbaan van Svensson.

productie en kwaliteit. De eerste oogst was begin mei. Begin juli was de derde snede." Verder zag de onderzoeker weinig effect van het NIR-schermbaan op het kasklimaat. Hij berekende een gemiddeld dagverloop op basis van 100 dagen (5 mei tot 3 augustus). "De kaslucht in de afdelingen met NIR-schermbaan is een paar tienden graden kouder. Dit komt doordat de ventilatie-regeling de verschillen vereffent."

Minder ventilatie

Overdag bleek dan ook minder ventilatie nodig. "Nachts wordt het CO₂-setpoint van 1000 ppm gehaald in alle afdelingen. "Midden op de dag ontstaat een verschil van 40 tot 50 ppm meer in de kas met het NIR-schermbaan, doordat we daar minder hoeven te ventileren."

"Nachts is de verdamping ongeveer gelijk. Als er overdag meer licht is, verdampen de rozen onder het NIR-schermbaan minder. Het verschil is groter, naarmate er meer straling is. Volgens Kempkes heeft de verminderde verdamping geen effect op de planten. "Daaruit blijkt ook dat de gedachte dat verdamping groei oplevert, nergens op slaat. Een plant verdampt om te koelen. Als wij de koelbehoefte aanpassen, is het logisch dat de verdamping omlaag gaat. Verdamping heeft in het algemeen géén effect op de nutriëntenopname. De calciumopname is één van de uitzonderingen. Deze wordt wel passief

met de verdamping mee opgenomen. Dit kan bij een gewas als tomaat problemen opleveren echter bij veel lagere verdampingsniveaus dan het hier betreft."

De onderzoeker kan zich voorstellen dat de herfstperiode winst zou kunnen opleveren doordat er minder ontvochtiging nodig is en er daardoor minder energie verloren gaat.

Verder plaatst hij de kanttekening dat de proefomstandigheden nog niet optimaal zijn: de kasafdelingen zijn klein, er zit geen NIR scherm in de gevels en als belangrijkste er is geen folie beschikbaar, dat alle NIR-straling wegfiltert.

minder
 ontvochtiging

Het selectief wegfilteren van NIR-straling zou kunnen zorgen voor minder warmte in de zomer en dus minder ventilatie en verlies van CO₂. Volgens modelberekeningen blijft de temperatuur met een NIR-schermbaan enkele graden lager. In een proef is het verschil slechts enkele tienden van graden bij een scherm dat 40% van de NIR-straling tegenhoudt. Er is wel minder ventilatie nodig en het CO₂-niveau is overdag 40 tot 50 ppm hoger. Een scherm dat 100% van de NIR-straling tegenhoudt is er nog niet, maar dat zal naar verwachting grotere effecten hebben.

SAMENVATTING

Invloed op klimaat en gewas van een beweegbare NIR-reflecterend scherm

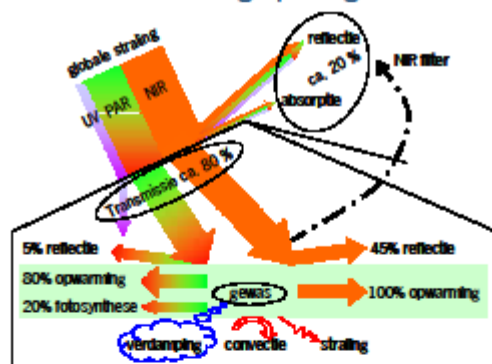
Frank Kempkes, Cecilia Stanghellini, Dai Jianfeng, Silke Hemming

Probleem

In de kas kan het erg warm worden. Dit heeft gevolgen voor het gewas, de CO₂-concentratie en bij koeling voor de koellast. Slechts de helft van de zonne-energie kan worden gebruikt voor de assimilatie.

Het "onzichtbare" gedeelte, de straling met golflengtes in het Nabij InfraRood (NIR), draagt bij aan de verwarming van gewas en kas, en de gewasverdamping. Door het wegfilteren (reflectie) van het NIR gedeelte van de zonnestraling zal een koeler en droger klimaat in de kas ontstaan, zonder consequenties voor de assimilatie.

Effect zonnestraling op het gewas



Figuur 1: Schematische weergave van straling op het gewas

Het materiaal en de regeling

Het gebruikte materiaal is een folie van 3M. In de referentieafdeling is een doek (ILS Ultra Ludvig Svenson) gemonteerd met gelijke eigenschappen voor de PAR transmissie. Het scherm wordt gesloten als de kasluchttemperatuur het setpoint ventilatie tot op 0.3 °C is genaderd. Dan is de warmtebelasting immers te groot. Dan wordt altijd eerst aan de noordkant geventileerd omdat bij ventilatie het scherm langzaam geopend moet worden. Het scherm zit immers voor de luchtramen.

Eerste resultaten

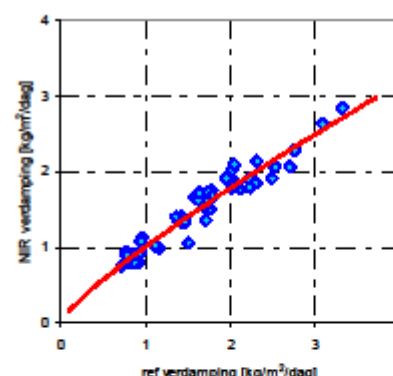
Geen verschil in productie en productkwaliteit gevonden.

Het materiaal verlaagt de warmtebelasting van de kas waardoor er minder geventileerd wordt om de zelfde temperatuur te handhaven.



Figuur 2. Gemiddelde raamstanden tussen 1 juli en 13 augustus

Ook de verdamping neemt in deze periode met ca. 11% af.



Figuur 3. Gemeten dagsom van de verdamping in de NIR afdeling ten opzichte van de referentieafdeling.

Voorlopige conclusies

1. Significante verlaging ventilatiebehoefte
2. Door verlaging van de verdamping minder behoefte aan vochtsturing
3. Geen negatief effect op de plant
4. Materiaal is nog te verbeteren.

Greenhouse

NIR-screen as an energy saving measure

As well as PAR-light, UV and NIR light also penetrate greenhouses. In months with cold weather, NIR helps to warm the greenhouse. However, during the summer the incidence of NIR light means that greenhouses require extra ventilation or cooling. There are various methods of filtering NIR from the greenhouse in the summer. In the coming year, Wageningen UR Greenhouse Horticulture will be running a trial with a NIR-screen to test the effects this type of screen has on the plants.

By Frank Kempkes, Wageningen UR Greenhouse Horticulture

Solar radiation consists of light of varying wavelengths, namely ultra-violet radiation UV (300 - 400 nm), photosynthetically active radiation PAR (400 - 760 nm) and near infra-red radiation NIR (760 - 2500). As the wavelength increases, the radiation loses energy and virtually all the UV radiation is absorbed by the earth's atmosphere, so that approximately half of the energy content of the solar radiation falls in the PAR range and the other half in the NIR range. The various wavelengths have different effects on what subsequently happens in the greenhouse.

Much attention has been paid recently to near infra-red radiation (NIR). NIR is not necessarily required for plant growth, but the energy created by this form of radiation does contribute to heating the greenhouse

and therefore the plants.

During the summer, the extra temperature increase caused by NIR light is unwelcome. Without sufficient ventilation or cooling capacity, the high temperatures quickly cause symptoms of heat stress in the crops. In addition, the extra ventilation extracts a lot of CO₂. This causes the rate of photosynthesis to fall with all the negative results for plant growth. For this reason, growers try to keep the air vents closed as much as possible. By limiting NIR transmission in the summer, the CO₂ level will rise. In the winter, the sun is the cheapest energy source. By filtering (reflecting) infra-red radiation completely all year round, the energy consumption will rise by more than 10%.

Limiting NIR

Many light loving plants, such



Using outdoor screens is one of the ways to filter NIR from entering the greenhouse.

as tomatoes and roses need to be protected from too much heat (infra-red radiation). Too much PAR light is not a problem for most plants, with the exception of shade loving plants. For the majority of plants cultivated in greenhouses, a high PAR and a low NIR transmission (in the summer) is therefore the optimal situation.

The amount of NIR that passes through a material depends on the properties of the material in question. In addition, depending on how the screen is constructed, there is a choice of whether the material is used or not. Various options can be used to reflect NIR light:

- screening (retractable or whitewash) inside or outside the greenhouse
- a greenhouse roof made of a material with a lowered NIR transmission, for example

specially coated material.

Indoor screens

Closing indoor screens is a good, flexible way of preventing unwanted irradiance of NIR and of protecting plants against excessively high temperatures. However, screens not only limit the amount of radiated energy, but also the amount of PAR light that reaches the plants in the greenhouse. Screens can have a negative impact on plant growth. Depending on the screen construction, they can also influence the ventilation capacity.

Outdoor screens

For a better air exchange, outdoor screens are more efficient than indoor screens. But this type of screen has three disadvantages. Firstly, they are technically more complicated. Secondly, they reduce the total

Greenhouse

transmission of the greenhouse due to the (heavy), permanent construction. And finally, these screens are more susceptible to damage caused by the weather conditions.

Painting the panes of the greenhouse with whitewash is also a method of (outdoor) screening, but then in an immobile form. Traditional whitewash cuts out a lot of light. Whitewash is also difficult to adapt correctly to the outside climate (too early or too late). A layer of whitewash also cuts out light on cloudy days in the summer and during other times of the day when the natural sunlight is actually needed. A selective whitewash that mainly reflects the NIR part of the light spectrum is already a considerable improvement.

New materials

Materials that let through as much PAR light as possible for optimal plant growth, but limits NIR to prevent the greenhouse from heating up too much, would be a step in the right direction.

Once such a material has been found, an effective way of using it has to be chosen. There are various types of NIR reflecting materials on the market that offer such possibilities. The optical properties of these materials require investigation first.

Many NIR-reflecting materials also greatly reduce the transmission in the PAR range.

Figure 1. The transmission of the 4 materials in the wavelength range of 300-2500 nm

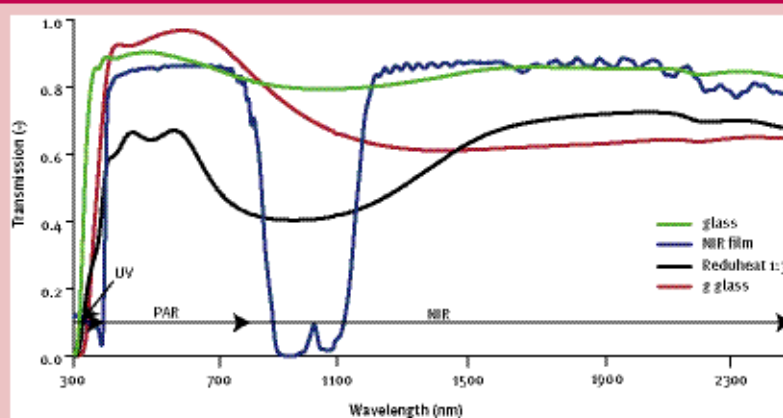


Figure 1 illustrates the spectral transmission of various materials and applications. A type of glass (g glass) with a coating with higher levels in the PAR range and lower transmission in the NIR range, a film that reflects NIR (suitable for use in screens) and a NIR reflecting whitewash (Reduheat 1:3). For the purposes of comparison, standard glass panes were also included in the figure.

The figure also shows the various bandwidths for the UV, PAR and NIR wavelength range. The transmission of the various materials differs greatly in the UV range. The level of PAR light transmitted is more or less equal (with the exception of whitewash). The main difference between the materials was their capacity to reflect unwanted NIR radiation. The energy content of the radiation is the greatest with shorter wavelengths, the relatively small range between 800 and 1100 nm, where the NIR film is highly effective, already contains approx. 35% of the "useless" solar energy in the entire NIR spectrum. The result is that materials that reflect selective radiation of 800 – 1100 nm, are better able to contain a temperature increase in the greenhouse than materials that reflect selective radiation between 1100 and 1400 nm.

Research

In the framework of the energy studies, Wageningen UR Greenhouse Horticulture, with funding from the Ministry of Agriculture, Nature and Food Quality and the Product Board Horticulture, will be running a trial using NIR film in the coming spring/summer. By measuring the effects of the filter on the plant response and processes in the greenhouse, this experiment should provide more answers as to the potential application of the film in the Dutch horticultural sector.

In two trial sections in the experimental greenhouses in Bleiswijk, a retractable NIR-screen as wide as the roof will be installed. As the greenhouse

has an east-west orientation the upper screen on the south side can stay closed for longer while ventilation takes place on the north side. This approach obtains the maximum effect from the film. Various measurements will be made of both the plants (roses) and the climate in the greenhouse.

The light properties of the film used are comparable to the film shown in figure 1. This film can reflect about 40% of the NIR light. The film will be made into a screen so the researchers can choose whether to reduce the NIR in the greenhouse or not.

The main objectives of the study are to identify and register

- The effect of the filter on the ventilation need and CO₂ management in the greenhouse;
- The consequences of a probably lower evaporation on the humidity (and energy) balance in the crop;
- The effect of the filter on crop temperature and DIF (difference between day and night) (the reduction in crop temperature is only present in the daytime), and consequently crop development.
- Reduction of CO₂ emission through less ventilation.
- Improved crop management and production in a NIR-poor greenhouse environment. ■

Cover Materials Excluding Near Infrared Radiation: Effect on Greenhouse Climate and Plant Processes

Frank Kempkes¹, Cecilia Stanghellini¹, Silke Hemming¹ and Jianfeng Dai^{1, 2}

¹ Wageningen UR Greenhouse Horticulture, Wageningen, The Netherlands, E-mail: frank.kempkes@wur.nl

² College of agriculture, Nanjing Agricultural University, Nanjing, China

Keywords: light management, NIR filter, water use efficiency, greenhouse temperature

Abstract

Only about half of the energy that enters a greenhouse as sun radiation is in the wavelength range that is useful for photosynthesis (PAR, Photosynthetically Active Radiation). Nearly all the remaining energy fraction is in the Near InfraRed range (NIR) and warms the greenhouse and crop and does contribute to transpiration, none of which is necessarily always desirable. Materials or additives for greenhouse covers that reflect or absorb a part of the NIR radiation have recently become commercially available. Besides lowering greenhouse temperature (which is the primary aim), a NIR-excluding cover has quite a few side-effects, that may become relevant in the passive or semi-passive greenhouses typical of high-energy climates. For instance, the ratio of assimilation to transpiration (the water use efficiency) should increase. By lowering the ventilation requirement, such a cover may hinder in-flow of carbon dioxide, thereby limiting the photosynthesis rate. A previous desk study has shown that in cooler climates such as The Netherlands, a permanent NIR filter may increase year-round energy requirement up to 10%. In this work we present the first results of a rose crop glasshouse experiment with an internal movable, NIR-reflecting screen. We analyse the effect on greenhouse temperature, carbon dioxide management and humidity, and on crop transpiration. We then discuss the most appropriate application of a NIR-selective filter, in view of the prevailing climate and the available ambient management option.

Introduction

Global radiation that enters the greenhouse can be divided into ultraviolet radiation (UV, 300-400 nm), photosynthetically active radiation (PAR, 400-700 nm) and near infrared radiation (NIR, up to 2500 nm). PAR is almost completely (95%) absorbed by the crop and is the source for photosynthesis and thereby crop growth. NIR is partly (50%) reflected by the crop but it is absorbed by installations and construction elements of the greenhouse and increases air (and crop) temperature, as well as does the energy in the PAR range not used for photosynthesis (more than 80% of PAR energy). The heating effect caused by global radiation in greenhouses is desirable during cold periods, but in warm periods the temperature in the greenhouse can increase to undesirable levels so that crop growth and production will be affected or even become impossible. By developing solid materials with NIR-filtering, like plastic films or glass for greenhouses (Verlodt and Verschaeren, 1997; Abdel-Ghany et al., 2001) or sheets to be used as moveable screens (Runkle et al., 2002; Tanaka, 1997) the heat load of the greenhouse can be reduced (Hemming et al., 2005). Also NIR-filtering 'whitewash' has been developed (von Elsner and Xie, 2003).

A desk study of Hemming (Hemming et al., 2007) found that permanent NIR filtering in the cover would increase energy consumption in the Dutch climate by 10%, and concluded that movable screens would be more suitable in such conditions. In the experiment whose preliminary results we present here, we compare the effect on the greenhouse climate and crop water use of a NIR reflecting material and a standard material with similar PAR transmission, both installed as movable screens.

Materials and methods

The experiment is being carried out in 4 compartments (144 m²) of a Venlo-type glasshouse, located in Bleiswijk (52°N, 4.5°E), western part of Holland. The greenhouse is E–W oriented. Each compartment is composed of 2 spans each with north-south width of 4.8 m and east-west length of 15 m. The height of the gutter is 5.5 m and the roof angle is 22°. The soil surface of each compartment is covered with anti-weed sheet, with the exception of a 1.2 m wide, concrete path situated along the entrance of the compartment. Each span is equipped with continuous roof vents, over the whole length and 1.3 m wide, fitted with insect nets, located on both sides of each ridge. Internal movable screens have been installed in the four compartments, two compartments fitted with near infrared (NIR) reflective material (3M, USA) and two with an energy screen (ILS ultra, Ludvig Svensson) of comparable PAR transmittance, for reference. The transmittance of the NIR-reflecting material for diffuse and perpendicular light was measured through an Ulbricht integrating sphere in the range 400 to 1000 nm. Above that range up to 2500 nm we could only measure perpendicular transmittance with a spectrophotometer (Perkin & Elmer). The reference screen selected was the one with the most similar properties in the PAR range, among what is commercially available, Figure 1. As the ILS ultra is woven, there is a relatively large error in the measurement of perpendicular properties.

In order to reduce maximally the heat load, yet make ventilation possible, 8 rolls of the material were installed internal to each compartment, parallel to the roof, four along the non-opening North (N) and South (S) slopes, and four along the vents. Operation of the screen is controlled as 3 segments: A. in front of the N vent; B. in front of the S vent and C. the rolls facing the fixed part of the roof. All screens are open during night and at daytime whenever greenhouse air temperature is more than 0.3°C below the ventilation set point. When that value is reached, all screens are closed at once to reduce the heat load. When greenhouse air temperature increases above the ventilation set point, the A screens and the N vents are gradually open (P-control). The B screens and the S vents are similarly operated whenever the maximum opening of the N vents is reached and the temperature still exceeds the set point. When ventilation may be reduced, the S vents and screens B are closed first. When greenhouse air temperature decreases to 0.3°C below the ventilation set point all screens are open. The purpose is to maximize effectiveness by keeping the S facing screens closed as long as possible, so as to exclude most (direct) light and energy.

The overall transmittance at crop level for both PAR and global radiation was determined as the average of several spatial samples (taken under diffuse light conditions), with all screens closed, A and B open, and full open. The NIR radiation flux was determined as the difference between global and PAR of each sample, and the transmittance determined accordingly. We measured similarly the reflectance of the full grown crop in both wavelength ranges.

Rooted cutting of cut roses (*Rosa hybrida* cultivar 'Passion') were planted on March 11th 2008 in rockwool slabs (Grodan) placed on E–W oriented gutters, with a plant density of 5.77 plants/m². The plants were grown following the 'bending' technique, which consists in bending over the primary stem and all stems that are not considered useful to flower production. The plants were irrigated by means of a drip system, which was automatically controlled by a fertigation computer, water supply scheduling being based on outside solar radiation and crop age. The nutrient solution pH was adjusted to 5.2 and the EC value was maintained around 1.4-1.6 dS/m. Inside air relative humidity was controlled by a fogging system, the set point decreasing from 85% right after transplanting, to 75%. In the period we discuss here the system was switched off. Inside CO₂ concentration was controlled to 800 ppm (1000 ppm after April 24th) by CO₂ injection during daytime. Artificial lights (100 μmol/m²/s) were used when there was not enough natural light, and a photoperiod of 17 hours maintained. In order to ensure initially similar crop development, the screening treatments were not applied until the end April. Throughout the growth period, the following climatic data were recorded each minute by the greenhouse control computer system:

- 1 The inside air temperature, relative humidity, water vapour deficit and CO₂ concentration were recorded by means of a measuring box, located 1.3 m above ground.
- 2 The inside PAR light was measured with a PAR sensor (Quantum sensor) located above the canopy.
- 3 The outside air temperature, RH, solar radiation, wind speed and wind direction were recorded automatically by means of a weather station.
- 4 The canopy temperature was measured with an IR thermometer above the canopy.

- 5 Position of the screens and ventilators, the valves of the humidification and CO₂ supply, status of the artificial lighting and pipe temperatures were recorded.

Six load cells (model STC-250 kg, Celtron, USA) were installed in each compartment, supporting two coupled gutters, each a half-row long, for a total of 60 plants. The trend of weight decrease allowed determining crop transpiration. As an additional check, the drain from the weighed gutters was recorded through a tipping spoon counter. The cells were logged each minute by a dedicated system.

Besides overall harvest weighing and grading per compartment, of 10 pre-selected plants per compartment we monitored the number of days for each shoot from bud break to harvest, and the number, length and width of harvested shoots. In addition, 3 plants per compartment (except roots) were destructively sampled at 4-week intervals, and leaf area and fresh and dry weight of leaves and shoots were determined. Since the experiment is in progress, we discuss here only the climate and water use data.

Results and discussion

As shown in Figure 1, the transmission of the 3M material has a sharp cut-off in the wavelength between 840 and 1120 nm for perpendicular light. Transmission for diffuse light starts decreasing after 650 nm. The diffuse transmission measured in the compartment at flower level for 3 screen positions (open, closed and screens C closed) are shown in table 1. The direct PAR transmission is 87 and 84%, respectively, for the 3M and ILS screen. From these data we have calculated that the NIR screen reduces the NIR energy load by 40% for diffuse and 30% for direct light.

Figure 2 shows relevant climate variables and actuators for two consecutive days (July 3rd, cloudy and July 4th, sunny). The observed differences in climate between the two treatments are small. The main reason for this is that the climate controller, by managing the ventilators, heating and CO₂ supply, is bound to correct any difference that may appear. This means that the actions of the actuators are a better indicator of the effect of the treatment than the climate itself. The opening of the N vent during daytime is proportionally controlled in the range between the set point ventilation 21°C (start opening) and 28°C (100% open). As Figure 2 shows, there is hardly any difference in the greenhouse air temperature (T_{air}) during the 2 days. The mean difference in daytime air temperature between the two treatments is less than 0.2°C and in plant temperature (T_{plant}) less than 0.1°C. This was the result of an increase of the ventilation by controlling the North vent (shown as Window North). Both days, during daytime, the N vents of the reference compartment were 5 to 10% more open than in the NIR compartment. The transpiration data (see below) have been used to calculate the ventilation flow rate from the vapour balance. The results indicate that the mean ventilation flow is about 4% higher in the reference compartments, against a difference of energy load of up to 20%.

During the first day the CO₂ concentration (CO₂, Figure 2) could be controlled around the set point of 1000 ppm. The CO₂ capacity of the supply system was too small to enrich the greenhouse air with CO₂ up to the set point, in view of the increased ventilation of the second day. In both cases the set point was not achieved, though the average daytime CO₂ level is around 50 ppm lower in the reference compartment. As shown in Figure 2, there is a slightly (but constantly) higher vapour deficit (VD) in the NIR compartments, which must follow from the lower transpiration rate.

Indeed, the crop transpiration in all 4 compartments, calculated from the load cells data for the same two days, is shown in Figure 3 (left), please refer to global radiation in Figure 2. Night-time transpiration in all compartments was the same, around 25 g/m²/h. However, in daytime there were obvious differences, getting larger as the radiation increases. As the same amount of irrigation was given, and drain fraction was in all instances above 30%, the differences in transpiration cannot be caused by water stress, and must be related to the lower amount of energy available in the NIR compartments. This is shown by Figure 3 (right), where half-hourly averages of transpiration *v* sun radiation (as measured by the weather station) are shown for the period of July 1st – 13th. The difference in slope among the linear best fits is highly significant. In this stage there were no significant differences in Leaf Area Index (LAI) between the treatments. One may wonder why no differences were detected in plant temperature, following

such a difference in transpiration. It seems that the lower amount of energy available has been converted fully into less release of latent heat, so that plant temperature (and sensible heat exchange) has been largely the same under the two screens. Additional plant measurements will tell more about possible morphological adaptations.

With respect to yield it is too early to say anything, since the crop is very young and flowering is still in waves. The present results refer to the end of the 2nd and start of the 3rd harvest, and there has been hardly any yield in this period. Although harvest in the reference compartments started a few days in advance of the NIR compartments, till now no significant differences have been detected in harvest data, or in fresh weight of shoot, stem diameter, stem length and percentage of blind shoots, nor in any of the destructive measurements.

Conclusion

It is too early to draw conclusions about the effect of filtering out NIR radiation on yield and quality of yield and crop. The quality of the climate control –and some thermal feedback at plant level –have ensured that there were no relevant differences in the measured climate, and indeed some difference in the ventilation rate has been observed. An accurate energy balance of the compartments would have to be based on information about the ventilation rate, which is not measured. The tendency to lower plant transpiration under the NIR screen seems significant and, if the present absence of effect on yield is confirmed, may result in a significant increase in water use efficiency. This would make such a screen most suitable for arid regions.

The lower humidity caused by reduced crop transpiration does create a potential application for decreasing the costs of energy caused by humidity management in temperate regions, such as the Netherlands.

Acknowledgements

This research is funded by the Dutch Ministry of Agriculture, Nature and Food Quality (LNV) and the Dutch Product Board for Horticulture (PT proj. 13287). The NIR screen material was kindly provided and shipped by 3M, (St. Paul, MN) with 'no strings attached'

Literature cited

- Abdel-Ghany, A.M., Kozai, T. and Chun, C. 2001.
Evaluation of selected greenhouse covers for use in regions with a hot climate. *Japan. J. Tropic. Agric.* 45: 242-250.
- Hemming, S., Kempkes, F., van der Braak, N., Dueck, T., and Marissen, N. 2007.
Greenhouse Cooling by NIR-reflection. *Acta Hort.* 719: 97-105.
- Hemming, S., van der Braak, N., Dueck, T., Elings, A. and Marissen, N. 2005.
Filtering natural light at the greenhouse covering - Better greenhouse climate and higher production by filtering out NIR? *Acta Hort.* 711: 105-110.
- Runkle, E.S., Heins, R.D., Jaster, P. and Thill, C. 2002.
Environmental conditions under an experimental near infra-red reflecting greenhouse film. *Acta Hort.* 578: 181-185.
- Tanaka, J. 1997.
A model experiment on reduction of greenhouse cooling load in the daytime using shading material against infrared radiation as covering. *Environment Control in Biology* 35 (1): 15-20.
- Verlodt, I. and Verschaeren, P. 1997.
New interference film for climate control. *Plasticulture* 115: 27-35.
- von Elsner, B. and Xie, J. 2003.
Effects of interference pigments in shading paint for greenhouses. *Proceedings of the Thirty-first Agricultural Plastics Congress, August 16-19, 2003 in Grand Rapids, Michigan, USA, 6-16.*

Table 1. Average transmission properties and crop reflection [%] for diffuse light, of the materials themselves, and overall properties of the installations. Properties in the PAR and global range were measured, the NIR flux density was calculated as the difference of the two, and the properties in the NIR range were estimated accordingly (* estimated)

		Material	Open	C closed	All closed	Crop reflection
NIR	PAR	81	43	43	39	5
	NIR	71*	44	42	30	45
	Global	71*	44	43	35	24
	PAR/global		51	53	59	
ILS	PAR	73	45	40	37*	5
	NIR	72*	47	43	40*	45
	Global	72*	46	41	38*	24
	PAR/global		52	51	51*	

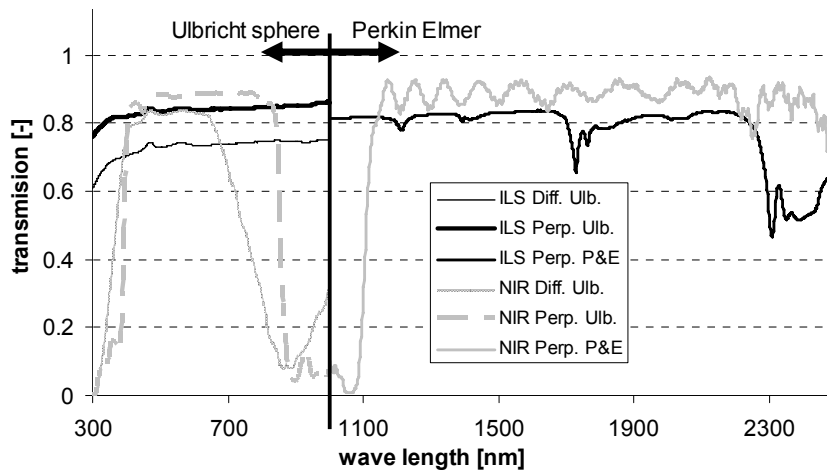


Figure 1. Diffuse (Diff.) and perpendicular (Perp.) transmission of the ILS ultra (ILS) and 3M NIR (NIR) screen measured in the range of 300 – 1000nm with an Ulbricht integrating sphere (Ulb.) and above 1000 nm with a Perkin and Elmer (P&E).

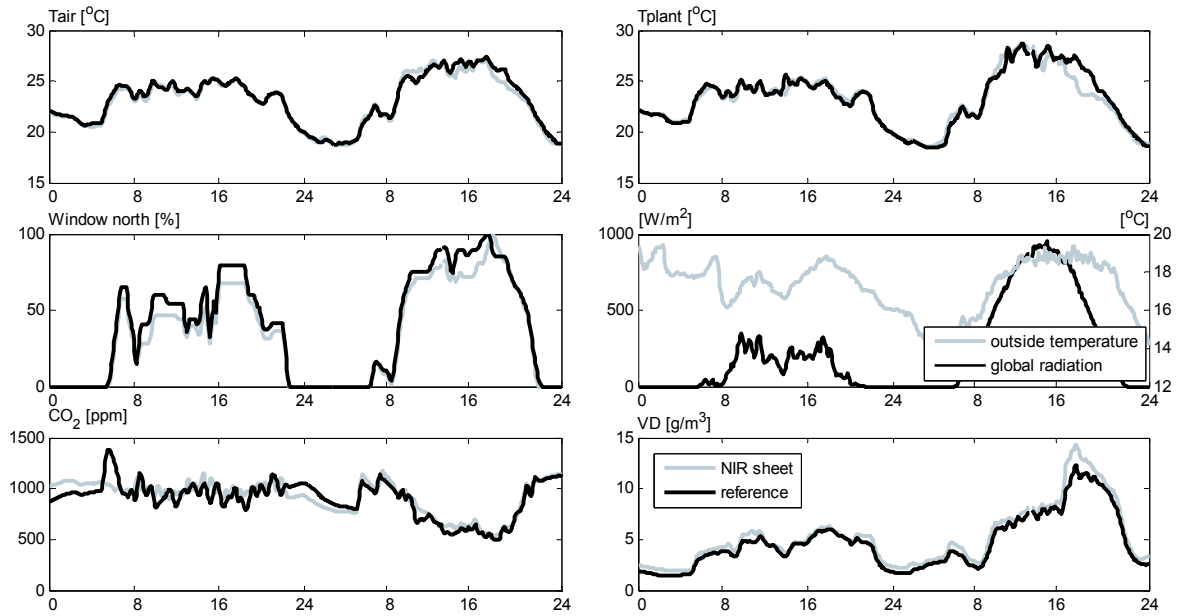


Figure 2. The air and plant temperature, opening of the North ventilator, global radiation and outside temperature, the CO₂ concentration in the greenhouses and the vapour deficit for July 3^d (cloudy) and 4th (sunny) 2008.

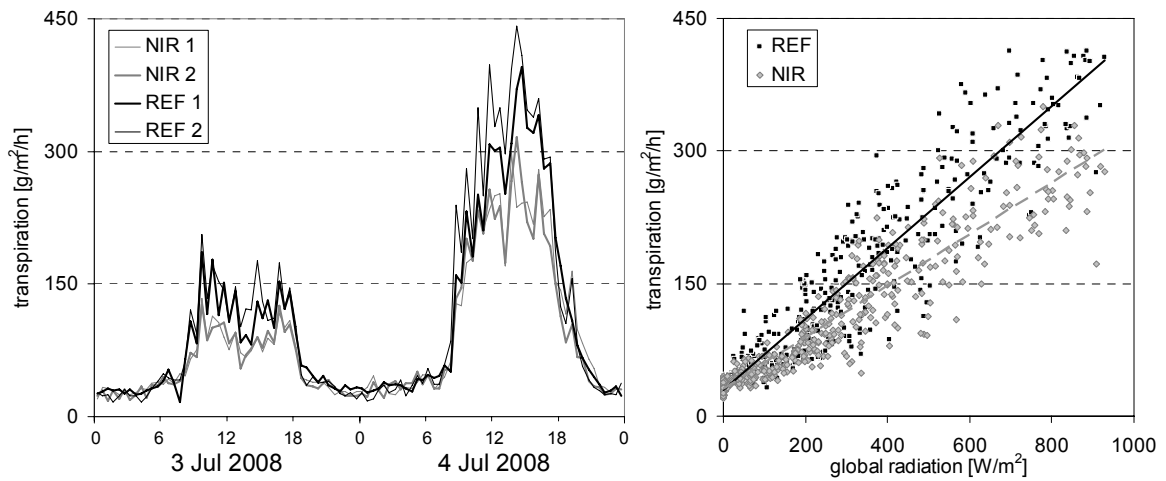


Figure 3. Left: Transpiration for July 3^d and 4th day for all 4 compartments and Right: half-hourly transpiration versus mean half-hourly global radiation outside, period July 1st – 13th.

Cover Materials Excluding Near Infrared Radiation: What is the Best Strategy in Mild Climates?

F. Kempkes, C. Stanghellini & S. Hemming

Wageningen UR Greenhouse Horticulture, Wageningen, The Netherlands, E-mail: frank.kempkes@wur.nl

Keywords: NIR, whitewash, shadow screen, greenhouse temperature, assimilation

Abstract

Only about half of the energy that enters a greenhouse as sun radiation is in the wavelength range that is useful for photosynthesis (PAR, Photosynthetically Active Radiation). Nearly all the remaining energy fraction is in the Near InfraRed range (NIR) and only warms the greenhouse and crop and does contribute to transpiration, none of which is necessarily always desirable. Materials or additives for greenhouse covers that reflect a fraction of the NIR radiation have recently become commercially available.

Besides lowering greenhouse temperature, a NIR-excluding cover has quite a few side-effects that may become quite relevant in the passive or semi-passive greenhouses typical of mild climates. For instance, the ratio of assimilation to transpiration (the water use efficiency) should increase. On the other hand, by lowering the ventilation requirement, such a cover may hinder in-flow of carbon dioxide, thereby limiting the photosynthesis rate. In addition, there are obviously conditions where the warming up caused by NIR may be desirable rather than a nuisance.

NIR-reflecting materials are becoming available in forms that are suitable for various types of applications, such as permanent, seasonal or mobile. By means of a simulation study, we discuss in this paper the best form of application in relation to the external climate and climate management options available.

Introduction

Global radiation that enters the greenhouse can be divided into ultraviolet radiation (UV, 300-400nm), photosynthetic active radiation (PAR, 400–700nm) and near infrared radiation (NIR, 800–2500nm). PAR is almost completely absorbed by the crop and is the source for photosynthesis and thereby crop growth. NIR is partly reflected by the crop but it is absorbed by installations and construction elements of the greenhouse and increases air (and crop) temperature, as well as the energy in the PAR range not used for photosynthesis. The heating effect in greenhouses caused by global radiation is desirable during cold periods, but in warm periods the temperature in the greenhouse can increase to undesirable levels so that crop growth and production will be affected or even become impossible. To prevent high temperatures the heat load of the greenhouse has to be reduced or the cooling capacity has to be increased.

Research focus is now more on developing solid materials with NIR-filtering, like plastic films or glass for greenhouses (Verlode and Verschaeren, 1997; Hemming et al., 2006; Abdel-Ghany et al., 2001) or sheets to be used as moveable screens (Runkle et al., 2002). Also NIR-filtering white wash has been developed (von Elsner and Xie, 2003).

It seems reasonable that it is the combination of external climate conditions and type of greenhouse that determines the most appropriate form of application in a given place. All these factors have been taken into account in the simulation study that we present here, where we quantify the expected benefits (in terms of productivity, water use efficiency and lengthening of the growing season) of each of the three forms of application of the NIR-filter in a semi-

passive greenhouse in the Mediterranean basin. We compare such analysis with the results obtained for a highly controlled greenhouse under Dutch climate conditions to determine a strategy for selecting the most appropriate application of a NIR-selective filter, in view of the prevailing climate and the available ambient management option.

Materials and methods

The use of models makes comparison of the effect of several types and levels of NIR reflection on the greenhouse climate possible. For the Dutch greenhouses the climate model KASPRO (de Zwart, 1996), which has been validated for the Venlo type greenhouse was used to analyze the effects of NIR-filtering materials on greenhouse climate parameters, while Vanthoor's (2008) model for a simpler, passive greenhouse, has been used for the Mediterranean calculation. Calculations have been done with a simulated NIR reflection coefficient of 0, 0.5 and 1 is introduced where 0 is non reflective, assumed to be the reference. We have assumed that the PAR transmission is not affected by the NIR filtering. The reflection reduces the heat load of the greenhouse. Calculation of the indoor climate, temperature, humidity, transpiration and CO₂ concentration for a tomato crop is presented. For the Dutch case it has been assumed that the climate control system is able to deliver the desired set-points of (minimum) temperature and CO₂ concentration (1000 PPM), whereas the 'Mediterranean' greenhouse is fully passive. The results have been grouped for a typical winter period (December 1th – March 1th) and a spring-summer period (April 15th July 15th), comparing the effects of NIR reflection on indoor climate parameters of northern Europe to Mediterranean. In the calculations for the Mediterranean basin a white wash is introduced during the summer, in accord to common practice there.

Results and discussion

NIR-reflection influences the greenhouse air temperature. In Figure 1 the course of the average air temperature (T_{air}) during the day in a winter period (December 1st – March 1st) of a greenhouse in the Mediterranean basin is showed. The average maximum temperature decreases at a NIR-reflection of 100% with 3.6 °C in relation with no NIR reflection at all. At a NIR-reflection of 50% the decrease is 1.4 °C. It is important to observe the decrease also of the minimum temperature with 1.1 °C at 100% NIR-reflection, which is the result of a lower day time temperature, hence a lower heat release by 'warm' structures (mainly the soil) in the night. The lower air temperature will lower the ventilation requirement, which will affect the CO₂ level. During day time the CO₂ concentration decreases with higher NIR-reflection, since outside air entering the greenhouse via the opened ventilators is the only CO₂ source. The opposite effect of 'keeping inside' the CO₂ released by respiration at night will be offset by assimilation soon after sunrise, so it will not compensate for the much larger opposite effect at daytime (Figure 1-CO₂).

The reduced heat load at high NIR-reflection rates decreases the transpiration (Figure 1-transpiration), substantially in wintertime. The transpiration is reduced by 20 and 50% with a NIR-reflection of respectively 50 and 100%. The reason for non linearity is the difference in ventilation and therefore in humidity (Figure 1-RH).

In summer the reference is a whitewash reflecting equally NIR and PAR by 40%. The overall transmission decreases with whitewash more than with the NIR-reflecting covers of 50 and 100%. For this reason the air temperature of the white washed greenhouse is the lowest of all (Figure 2-T_{air}). The average maximum air temperature decrease from 31.6 °C for the greenhouse with a NIR reflection of 0% to 29.1, 26.1 and 25.0 °C for respectively the greenhouse with NIR reflection of 50 and 100% and the white washed. In the night differences in minimum temperature are. The differences in ventilation requirement of the greenhouses due to the differences in heat load affect the CO₂-levels in the greenhouse as well (Figure 2-CO₂). During daytime (08:00-18:00) with a NIR-reflection of 100% the CO₂-level decreases down to an average level of 320 ppm which is about 40 ppm below outside level. It's clear that limitation of the ventilation influences the CO₂-concentration in a negative way. The comparable CO₂ concentration of the white washed greenhouse with the reference and the greenhouse with 50% NIR-reflection will also be a consequence of the lower CO₂ uptake by the crop due to the reduced PAR-transmission of the white washed greenhouse.

The transpiration decreases when NIR-reflection increases (Figure 2-transpiration). The decrease of transpiration at noon with a NIR reflection of 50 and 0% is a consequence of the introduction in Vanthoor's model of a crop stress factor when air temperature goes beyond a given level. Transpiration of the whitewashed greenhouse is reduced by 36%. Because the stress factor influences the transpiration at a NIR reflection of 50% the transpiration decreases only with 6% in relation to the reference while the reduction is 26% with 100% NIR-reflection. The combination of lower transpiration and higher temperatures has consequences for the humidity (Figure 2-RH). The minimum RH is 25% lower at a NIR reflection of 0 than the whitewashed greenhouse and 20% with a NIR-reflection of 100%. Because whitewashing affects the PAR-transmission, the PAR radiation sum of the summer period decrease from 650 MJ of the NIR-reflecting greenhouses back to 250 MJ for the white washed one. This will affect the crop production in a negative way.

In Figure 3 and 4 the results for the north European area are shown. Main difference with the Mediterranean basin is the heating which is required in winter time. While there is no lack of CO₂ during winter time, in Figure 3 gas use is shown instead of CO₂-concentration. Because of the heating system during night time the air temperature is on the set point temperature (Figure 3-T air). During daytime only small temperature differences occur. Because set point ventilation is 23 °C the ventilators are open seldom. Also the humidity (Figure 3-RH) is in this period hardly affected by NIR-reflection. Please observe that the scale of the humidity graph is half of the scale of Figure 1. Humidity levels are low because of the young crop and the lack of light, so that crop growth is low. Only at the end of this winter period will first fruits be harvested. Main differences in energy use are shown in Figure 3-gas use. During night there are hardly any differences because the NIR-reflection has no influence on the greenhouse climate when there is no NIR radiation. Beside avoiding heat loss during night-time or even during daytime if outside temperatures are too low a transparent screen is closed. During day time the NIR-reflection reduces the heat load of the greenhouse and often this reduction of heat load has to be added by the heating system. The energy use increases during winter with 4.5 and 9.8% compared to the reference for respectively 50 and 100% NIR-reflection. Because of the young crop absolute transpiration levels are low. Transpiration is decreased by 6 and 11% for respectively NIR-reflection of 50 and 100%.

In summer differences in greenhouse air temperature are much smaller than in the Mediterranean basin (Figure 4-Tair). Outside climate is unstable and cooler so on some days ventilators are hardly open. This decrease of ventilation influences the CO₂-concentration in the greenhouse (Figure 4-CO₂), which the injection system is able to maintain higher. The CO₂-concentration increases during daytime by 100 PPM from 670 PPM (reference) up to 770 PPM at a NIR-reflection of 100%. This increase can partly be explained by the increase of the gas use which means more CO₂ from flues is available. Even during summer increase of NIR-reflection leads to an increase of the gas use. This increase is not only caused by the decrease of NIR energy into the greenhouse but by the increase of de-humidification as well. The decrease in ventilation leads into an increase of humidity (Figure 4-RH). At a humidity level of 85% (set point) active de-humidification is started. In spite of this during summer the number of hours with a humidity level of over 90% increases from 360 (reference) up to 810 at a NIR-reflection of 100%. Differences in heat load humidity and ventilation leads to a decrease of transpiration by 16 and 33% (Figure 4-transpiration).

Conclusion

There is a good potential for application of NIR-reflective filters in greenhouse covers. However, this desk-study shows that a permanent filter may be unsuitable both for the heated greenhouse of Northern regions and for the passive greenhouses of mild-winter conditions. A year-round screen is bound to increase the [fossil] energy requirement of heated greenhouses and lower the winter-time mean temperature in passive greenhouses. In addition, the reduced ventilation requirement may affect negatively CO₂ concentration (hence productivity) in this latter case. Application of a NIR filter (whether movable or seasonal) should be coupled to a CO₂ fertilization facility, to be profitable.

Acknowledgements

This research is co-funded by the Dutch Ministry of Agriculture, Nature and Food Quality (LNV); the Dutch Product Board for Horticulture (PT) and the European Commission, under contract 211457 (EUPHOROS). Sincere thanks to Bram Vanthoor who provided his model for the calculations referring to the Mediterranean basin.

Literature cited

- Abdel-Ghany, A.M., Kozai, T. and Chun-Changhoo. 2001.
Plastic films vs fluid-roof cover for a greenhouse in a hot climate: a comparative study by simulation. *Journal of Society of High Technology in Agriculture* 13 (4): 237-246.
- Hemming, S., Kempkes, F., van der Braak, N., Dueck, T. and Marissen, N. 2006.
Greenhouse Cooling by NIR-reflection. *Acta Hort* 719: 97-105.
- Runkle, E.S., Heins, R.D., Jaster, P. and Thill, C. 2002.
Environmental conditions under an near infra-red reflecting greenhouse film. *Acta Hort*. 578: 181-185.
- Verlodt, I. and Verschaeren, P. 1997.
New interference film for climate control. *Plasticulture* 115: 27-35.
- Vanthoor, B.H.E., Stanghellini, C., Cazquez Garrido, J.C. and Van Henten, E.J. 2008. The combined effect of cover design parameters on production of a passive greenhouse. *Acta Hort* 801, in press.
- Von Elsner, B. and Xie, J. 2003.
Effects of interference pigments in shading paint for greenhouses. *Proceedings of the Thirty-first Agricultural Plastics Congress, August 16-19, 2003 in Grand Rapids, Michigan, USA*, p. 6-16.
- Zwart, H.F. de, 1996.
Analyzing energy-saving options in greenhouse cultivation using a simulation model /-PhD-. Thesis Wageningen University.

Figures

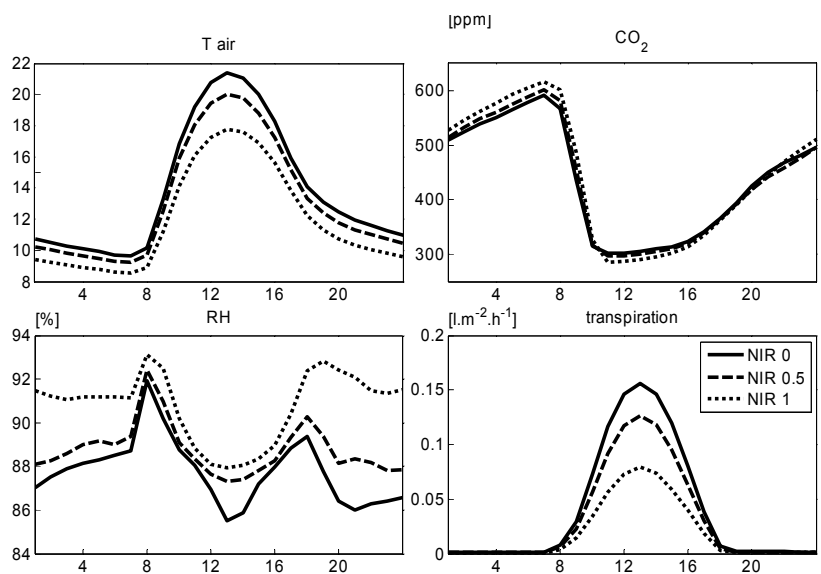


Figure 1. Cycle mean of the greenhouse air temperature (T_{air}), CO_2 level (CO_2), relative humidity (RH) and the crop transpiration (transpiration) of the winter period in the Mediterranean basin.

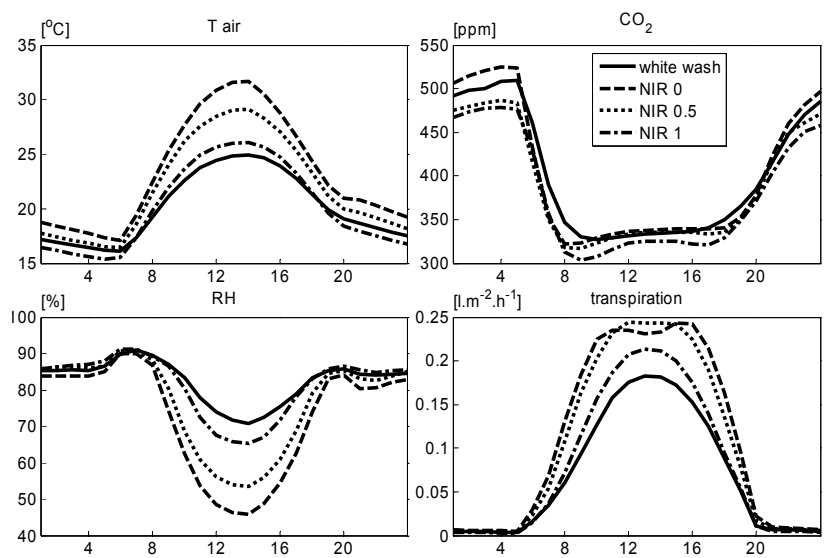


Figure 2. Cycle mean of the greenhouse air temperature (T_{air}), CO_2 level (CO_2), relative humidity (RH) and the crop transpiration (transpiration) of the summer period in the Mediterranean basin.

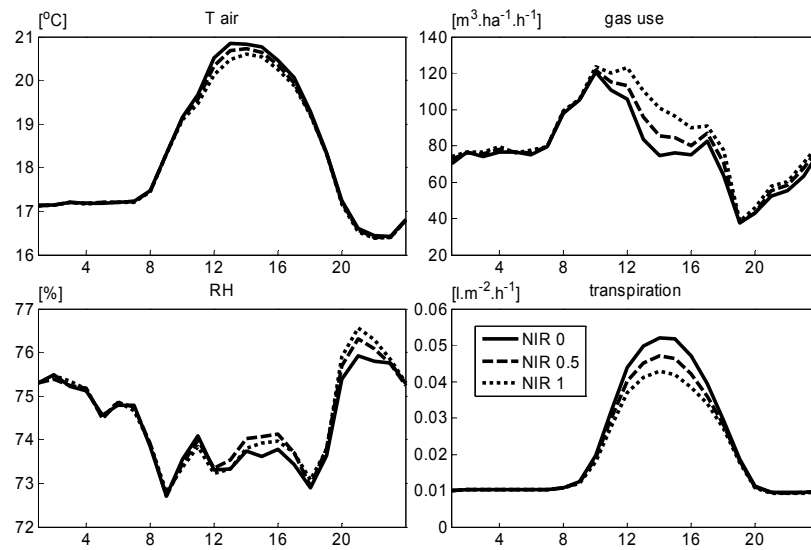


Figure 3. Cycle mean of the greenhouse air temperature (T_{air}), natural gas input for heat demand ($gas\ use$), relative humidity (RH) and the crop transpiration ($transpiration$) of the winter period in the Netherlands.

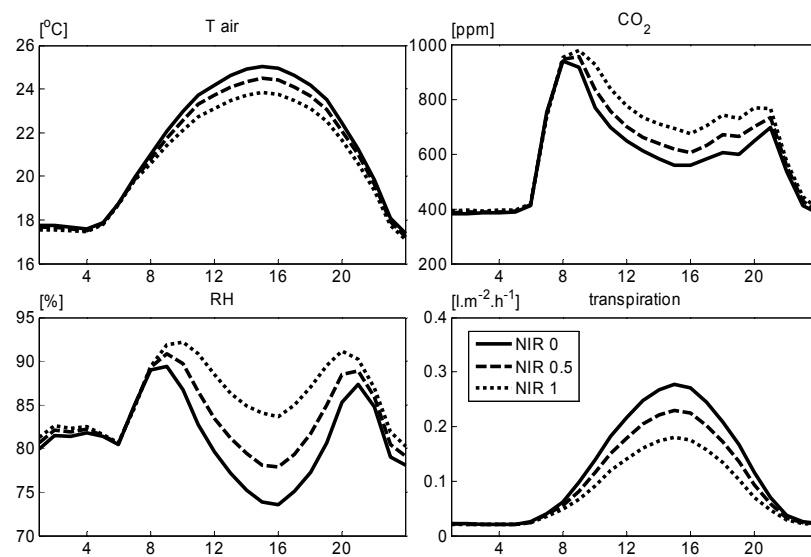


Figure 4. Cycle mean of the greenhouse air temperature (T_{air}), CO_2 level (CO_2), relative humidity (RH) and the crop transpiration ($transpiration$) of the summer period in the Netherlands.

Reflective materials for Near Infra Red radiation: effect on climate and effect on crop


[flower&veg tech, March 2009, in press]

Materials or additives for greenhouse cover that reflect or absorb a part of the NIR radiation can decrease the cooling requirement for the greenhouse and increase water use efficiency of the crop. By reducing ventilation requirement, it might even decrease emissions of carbon dioxide from greenhouses with CO₂ fertilization.

Cecilia Stanghellini, Frank Kempkes & Silke Hemming, Wageningen UR Greenhouse Horticulture, The Netherlands
Dai Jianfeng, College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, P.R. China

Sunlight is more than meets the eye. Only about half of the energy that enters a greenhouse as sun radiation has wavelengths ('colours') that we can see, and that the plants can use in the photosynthesis process (Photosynthetic Active Radiation, PAR). Nearly all the remaining sun energy is in the Near InfraRed wavelength range (NIR) and warms as well the greenhouse and crop and does contribute as well to transpiration. Materials that filter NIR more than PAR have recently become commercially available. We discuss here the results of a first trial of such a material, installed as a movable screen on a rose crop (cv Passion). The experiment was carried out from May to October 2008.

Table 1. The wavelength ranges of sun radiation. The fraction of sun energy is approximate, since weather conditions may affect it. The last column gives the major effects relevant for greenhouse crops.

wavelength (nm)	colour	name	fraction of sun energy	effect on...
300–400	ultra-violet	UV	4%	Plant morphology Insect orientation
400–700		PAR	48%	Photosynthesis Warming Transpiration Plant morphology
700–2500	near infrared	NIR	48%	Warming Transpiration

Movable screen. Through a previous desk study we had determined that in all places where the warming up of the greenhouse caused by sun radiation is desirable, at least for a fraction of the time, a NIR-reflecting cover should not be permanent. In addition, any reduction in ventilation capacity brought about by the filter, would counter its effectiveness. The most selective material available at the time (end 2007) was a sheet that reflects about 50% of the NIR radiation (that is, about 25% of the energy content of sun radiation, see table) and about 10% of the PAR. The sheet is manufactured and was kindly provided free of charge, no strings attached, by the 3M company, St Luis, USA. We implemented it as a rolling screen in two compartments (two spans each), sliding parallel to each slope, and segmented so that the section in front of an open window (zenithal, on both sides of the roof) could be open (Figure 1).

The purpose of the experiment was determining the effect of a NIR-selective, movable screen on crop production, so that indirect effects (through greenhouse temperature, PAR interception and CO₂ concentration) had to be excluded. Hence our reference was a crop grown in exactly the same conditions, except the selective filtering of the NIR

radiation. Therefore in the two similar compartments used as reference, we installed in the same way a screen material that is non selective and filters about 10% of NIR as well as PAR (ILS ultra, Ludwig Svensson). At night no screening was applied, and all screen segments were closed as soon as the greenhouse temperature approached the daylight ventilation set point. When this was not enough and ventilation was still required, the North-facing windows and the screen segment facing them were open first, the opening of both windows and screens regulated by a proportional controller. In the very few instances when a full opening was not yet enough, the same was done with the South facing windows and screens. The settings for greenhouse temperature and CO₂ concentration were the same in all compartments, which did bring about equal climate factors, so that we use the recorded actions of the climate actuators (particularly the control of the windows) as indicators of the effect of the NIR-selective screen on greenhouse climate.

Climate Indeed, whereas the number of hours that ventilation was required was almost exactly the same in the two treatments, the average opening angle was 5% less in the NIR-screened compartments. Through a model accounting also for wind speed, we have determined that the NIR-filter decreased the mean air exchange rate by about 7%. As the capacity of the CO₂ injection system was not always enough to warrant the desired 1000 ppm under high ventilation rates, the mean daytime CO₂ concentration was 30 ppm higher (911 vs 881) under the NIR filter, though this difference is comparable with the accuracy of the CO₂ meters.

Crop transpiration. There was quite an effect on crop transpiration (Figure 2). Obviously the effect increases as the transpiration gets higher. These are the conditions when sunshine is the main driving force for transpiration, and in such conditions were the screen closed. At night-time there was no treatment (the screens weren't closed) and the transpiration was indeed the same in all compartments. In the range in-between (little sun radiation), the effect of the NIR-selective screen on transpiration is limited, since transpiration is [partly] driven by the humidity deficit of the air. In this respect, a word of caution is required: we had a misting system operating until July 4th. After it was discontinued, the difference in transpiration between the two treatments became smaller, as it should be expected, because of the feed-back effect: less transpiration → drier greenhouse air → more transpiration.

Crop production. No differences were ever detected in crop morphology and development. Production (dry matter and number of stems) was nearly the same in all compartments. In the NIR-screened compartments stems were 0.5 cm longer and a few grams heavier (fresh weight). Indeed, the time from bud break to harvest was longer (29.0 days vs 27.9 days in the reference), which may be caused by the fact that under the NIR screen the crop was slightly cooler.

NIR filtering: where and when? The perfect NIR-selective filter does not exist yet. Nevertheless, we can learn something from this experiment. The most interesting result by far is the significant decrease in crop transpiration, without any effect on crop production and quality. There is, therefore, a good potential for increasing water use efficiency wherever good quality irrigation water is scarce or expensive.

In such well regulated greenhouses as we had, a NIR-selective filter may be worthwhile whenever the weather conditions would exceed the temperature controlling capacity of ventilation and/or misting, or when the required ventilation would exceed the capacity of the CO₂ supply system. Unfortunately, such conditions hardly happened in the period of our experiment.

In more passive greenhouses, such as in the Mediterranean region, where the limited ventilation capacity shortens the growing period, and whitewash is mandatory in late spring and early autumn, a good NIR-filter may significantly improve productivity, both in terms of length of cropping and increased crop assimilation with respect to whitewash. Besides obvious financial cost/benefits considerations, the choice whether installing it as movable or seasonal screen must account for the fact that a permanent screen lowers also nighttime temperature, since less sun energy is harvested (and stored in the soil) during daytime.

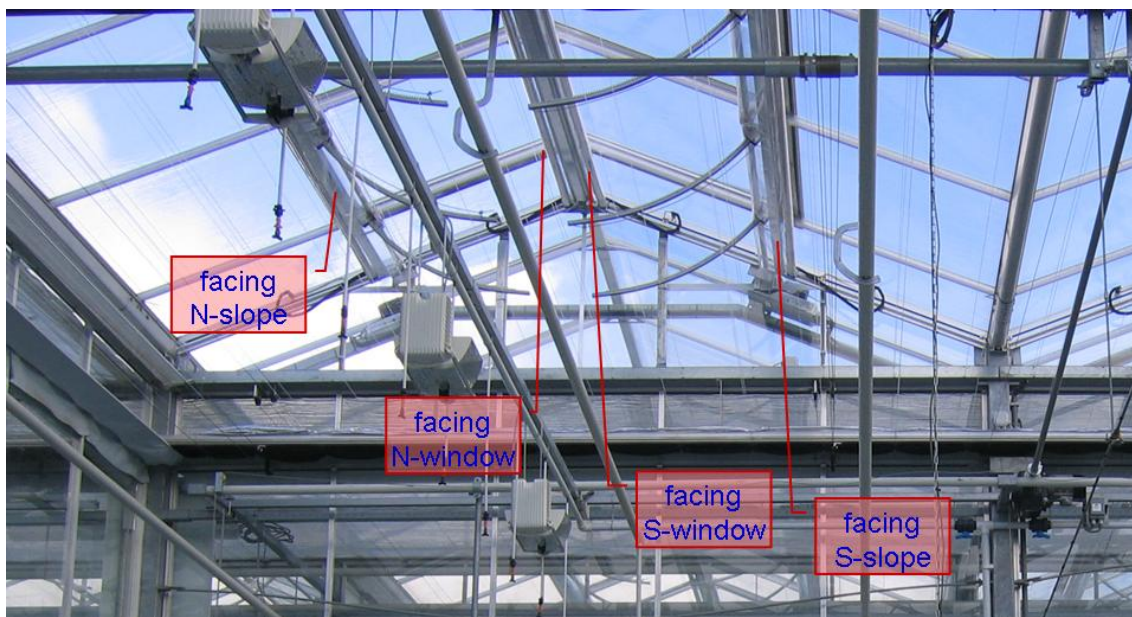


Figure 1. The screen installations visible. For each span there were 4 rolls, each sliding parallel to the roof slope, two in front of the continuous zenithal windows and two in front of the lower slopes.

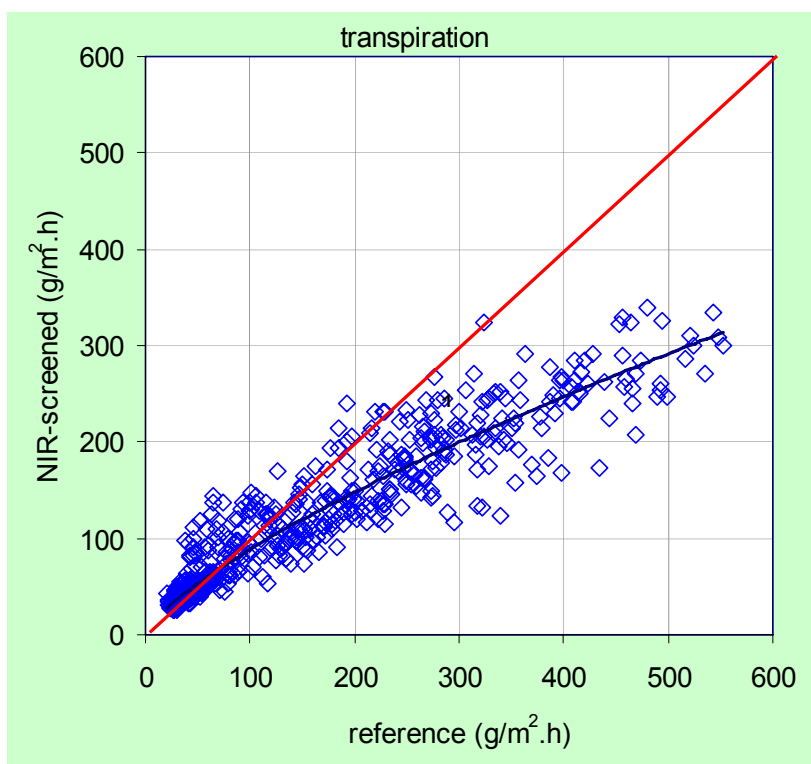


Figure 2. Transpiration in the NIR-screened compartments vs the transpiration in the reference. Each point is the hourly mean of two compartments. Data are from May 16th until July 4th, 2008.

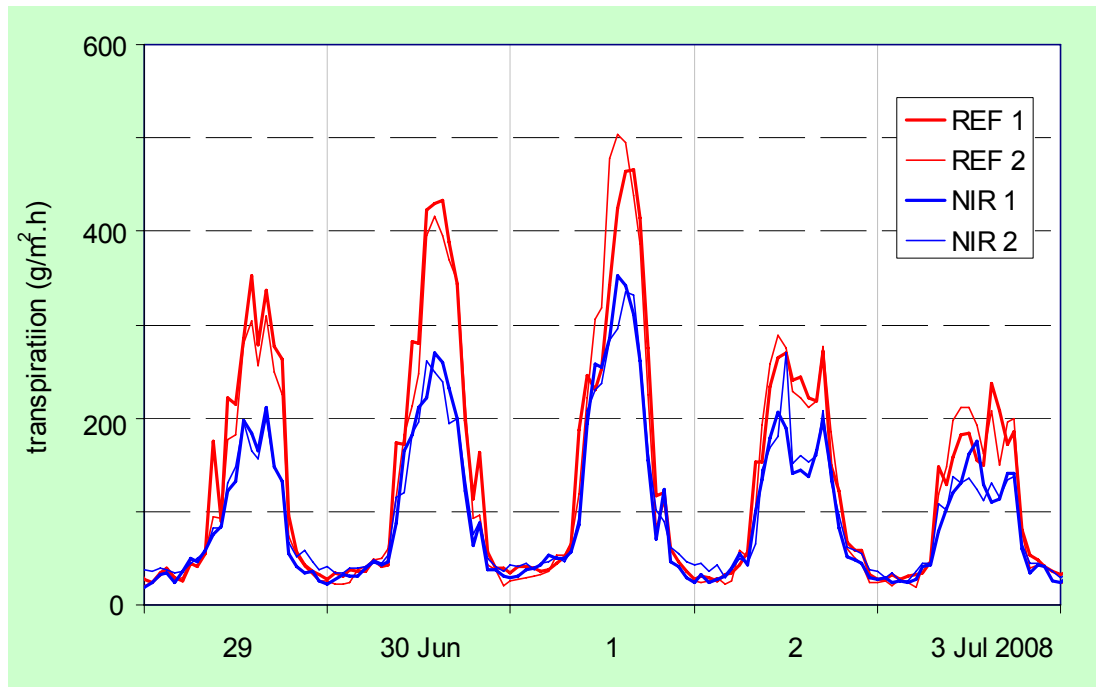


Figure 2. (alternative).

Transpiration in the four compartments, from June 29th to July 3rd. Data are hourly means of each compartment.