

Haalbaarheidsstudie Fluorescerend Energiescherm

Silke Hemming
Nico van de Braak
Frank Kempkes
Leo Marcelis
Anne Elings

Report nr. 070

Colophon

Title	Haalbaarheidsstudie Fluorescerend Energiescherm
Author(s)	Silke Hemming, Nico van de Braak, Frank Kempkes, Leo Marcelis, Anne Elings
A&F number	Report nr. 070
ISBN-number	90-6754-750-6
Date of publication	Februari 2004
Confidentiality	No
Project code.	
Price	□

Agrotechnology and Food Innovations B.V.
P.O. Box 17
NL-6700 AA Wageningen
Tel: +31 317 475 024
E-mail: info.agrotechnologyandfood@wur.nl
Internet: www.agrotechnologyandfood.wur.nl

© 2003 Agrotechnology & Food Innovations B.V

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, hetzij mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

De uitgever aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele fouten of onvolkomenheden.

*All right reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system of any nature, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publisher.
The publisher does not accept any liability for the inaccuracies in this report.*

Abstract

Tuinders met energie-intensieve gewassen zoals tomaat, paprika, roos enz. kunnen bij lage buitentemperaturen energieschermen gebruiken om energie te besparen. Daarbij treden een aantal problemen op. Wanneer de schermen bijvoorbeeld overdag worden ingezet leiden ze tot lichtverlies en daarmee tot productieverlies. Introductie van schermmateriaal dat wel energie bespaart en niet leidt tot productieverlaging kan deze problemen wegnemen.

CIBA Speciality Chemicals in Basel, Zwitserland, heeft een nieuw fluorescerend pigment ontwikkeld, dat gebruikt kan worden in schermmaterialen voor kassen. Dit pigment transformeert licht, door absorptie in het ultraviolette en blauwe stralingsspectrum en emissie in het rode spectrum, waardoor de kwaliteit van de PAR wordt verbeterd en speciaal de rood:ver-rood verhouding wordt verhoogd. Door het pigment toe te voegen aan door Ludvig Svensson geproduceerd schermmateriaal en een energiescherm van dat materiaal zo veel mogelijk ook overdag te sluiten, wordt in feite een dubbel kasdek gecreëerd en kan een energiebesparingseffect gecombineerd worden met verbeterde groei en productie van de planten.

In deze haalbaarheidsstudie is in hoofdstuk 1 theoretisch onderzoek gedaan naar technische aspecten van dit nieuwe scherm. Zo is de PAR transmissie van het nieuw te ontwikkelen scherm onder verschillende stralingsomstandigheden vergeleken met een traditionele scherm. Vervolgens is het effect van dit scherm op de opbrengst van tomaat en paprika gesimuleerd en de energiebesparing voor deze twee gewassen is voor een aantal scenario's uitgerekend. Een kosten-baten-analyse bekijkt de economische kant van deze mogelijke ontwikkeling.

Keywords: fluorescentie, lichtspectrum, schermstrategie, tomaat, paprika

Contents

Abstract	3
1 Aanleiding	5
2 Technische aspecten	6
2.1 Globale straling	6
2.2 Spectrale stralingsverdeling en stralingsintensiteit onder verschillende schermmaterialen	10
2.3 Warmtetechnische eigenschappen van verschillende schermmaterialen	12
2.4 Verwerking pigmenten in schermmateriaal	13
2.5 Veroudering van het schermmateriaal	13
3 Energetische aspecten	14
3.1 Berekening energiebesparing van verschillende schermmaterialen	14
3.1.1 Materiaal en methoden	14
3.1.2 Resultaten en Discussie	15
4 Teeltkundige aspecten	18
4.1 Effecten van lichtkwaliteit en fluorescerende folies	18
4.2 Berekening plantgewicht en vers vruchtgewicht onder verschillende schermmaterialen	19
4.2.1 Materiaal en methoden	19
4.2.2 Resultaten en Discussie	20
5 Economische aspecten	22
6 Samenvatting	26
7 Conclusies	28
8 Literatuur	29
Annex	32
A.1 Results of CIBA field trials in Italy	32
A.2 Results of CIBA field trials in Thailand	34
A.3 Results of CIBA field trials in Zimbabwe	36
A.4 Effecten van materiaaleigenschappen op straling in de kas	37
A.5 Effecten van stralingskwaliteit op planten	39
A.6 Gebruikte setpoint instellingen voor energieberekeningen	48
A.6.1 Tomaat	48
A.6.2 Paprika	50

1 Aanleiding

Tuinders met energie-intensieve gewassen zoals tomaat, paprika, roos enz. kunnen bij lage buitentemperaturen energieschermen gebruiken om energie te besparen. Daarbij treden een aantal problemen op. Wanneer de schermen bijvoorbeeld overdag worden ingezet leiden ze tot lichtverlies en daarmee tot productieverlies. Introductie van schermmateriaal dat wel energie bespaart en niet leidt tot productieverlaging kan deze problemen wegnemen.

CIBA Speciality Chemicals in Basel, Zwitserland, heeft een nieuw fluorescerend pigment ontwikkeld, dat gebruikt kan worden in schermmaterialen voor kassen. Dit pigment transformeert licht, door absorptie in het ultraviolette en blauwe stralingsspectrum en emissie in het rode spectrum, waardoor de kwaliteit van de PAR wordt verbeterd en speciaal de rood:verrood verhouding wordt verhoogd. Bij onderzoek in Zimbabwe, Thailand en Italië is dit pigment toegevoegd aan het folie kasdek materiaal. Er trad een productieverhoging van 50%-60% op bij rozen. Ook werd de kwaliteit van rozen verbeterd door het vormen van grotere bloemen, dikkere stengels en een hoger drogestofgehalte (zie bijlage).

Door het pigment toe te voegen aan door Ludvig Svensson geproduceerd schermmateriaal en een energiescherm van dat materiaal (zo veel mogelijk) ook overdag te sluiten, wordt in feite een dubbel kasdek gecreëerd en kan een energiebesparingseffect gecombineerd worden met verbeterde groei en productie van de planten. Onderzoek is nodig om te bepalen of deze schermen in de Nederlandse situatie het bovengenoemde probleem van productieverlies bij het gebruik van schermen kan wegnemen of zelfs kan veranderen in productiewinst. De nieuwe scherm wordt vervolgens Smartlight scherm genoemd en wordt in deze haalbaarheidsstudie vergeleken met twee gebruikelijke Ludvig Svensson schermen, de LS-10 Ultra Plus en de LS-10 Ultra.

Voor een haalbaarheidsstudie is het belangrijk te weten hoeveel licht in de verschillende seizoenen onder de verschillende schermen de kas binnen komt en wat de spectrale samenstelling van dit licht is (hoofdstuk 2.1 en 2.2). Verder spelen warmtetechnische vraagstukken een rol bij de beoordeling van een schermmateriaal (hoofdstuk 2.3). Ook zijn de verwerking en veroudering van het nieuwe scherm voor de tuinbouwpraktijk belangrijk (hoofdstuk 2.4 en 2.5). In een groeimodel is het invloed van het nieuwe scherm op de teelt berekend (hoofdstuk 4). Het invloed van het nieuwe scherm op het gasverbruik is evenwel berekend, rekening houdend met verschillende schermregelstrategien (hoofdstuk 3). Ten slotte is een economische analyse uitgevoerd.

2 Technische aspecten

2.1 Globale straling

De zon geeft straling in de vorm van elektromagnetische golven af. Deze straling wordt door de atmosfeer van de aarde gefilterd en komt dan als globale straling aan op aarde. Deze globale straling omvat straling van de golflengtes 300-3.000 nm. Straling van 3.000-100.000 nm (3-100 μm) wordt niet direct geëmitteerd door de zon, maar is warmtestraling. Tabel 1 geeft een overzicht van de optische straling (CIE 106/5, 1993). De optische straling wordt gekarakteriseerd door de golflengte, die wordt aangegeven in nanometers (nm) of micrometers (μm), waarbij 1.000 nanometer gelijk is aan 1 micrometer.

De globale straling kan in verschillende grootheden worden uitgedrukt. Meteorologische data gebruiken vaak de energie-inhoud van de straling, uitgedrukt in Wm^{-2} . De fotosynthese van planten is niet zo zeer gerelateerd aan de totale energie-inhoud van de straling maar aan het aantal fotonen. De energie-inhoud van een 400 nm-foton (blauw) is bijvoorbeeld 1,75 maal hoger dan die van een 700 nm-foton (rood), maar voor het fotosynthesep proces zijn beide fotonen gelijkwaardig. Bij het uitdrukken van de globale straling in energie-eenheden, Wm^{-2} , wordt dus blauwe straling overgewaardeerd en rode straling ondergewaardeerd. Daarom wordt bij plantenfysiologische data meestal het aantal fotonen van de straling gebruikt, uitgedrukt in $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (CIE 106/8, 1993).

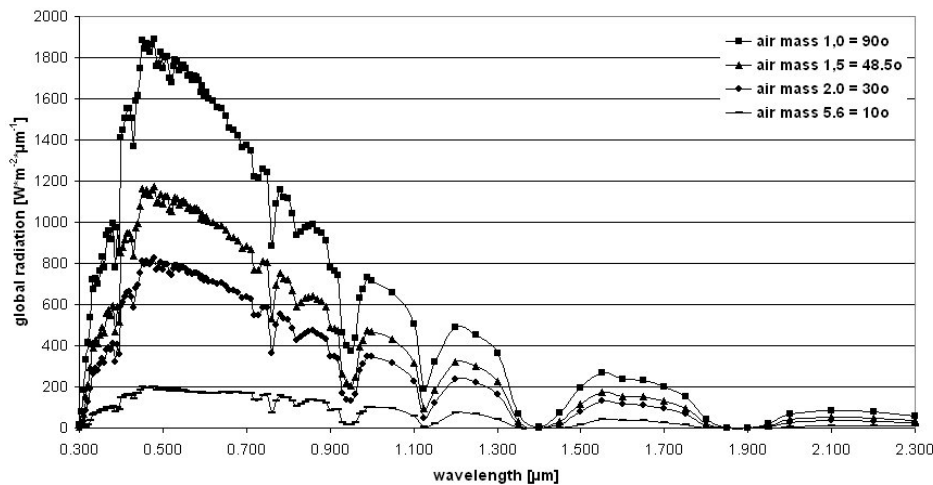
Tabel 1 Indeling van de optische straling

Naam	Afkorting	Golflengte (nm)	Opmerking
Ultraviolette straling	UV	UV-C	< 280
		UV-B	280-315
		UV-A	315-400
Fotosynthetisch actieve straling	PAR	B (blauw)	400-500
		G (groen)	500-600
		R (rood)	600-700
Nabij infrarode straling	NIR	FR (ver-rood)	700-800
		NIR	800-3.000
Verre infrarode straling	FIR		3.000 – 100.000

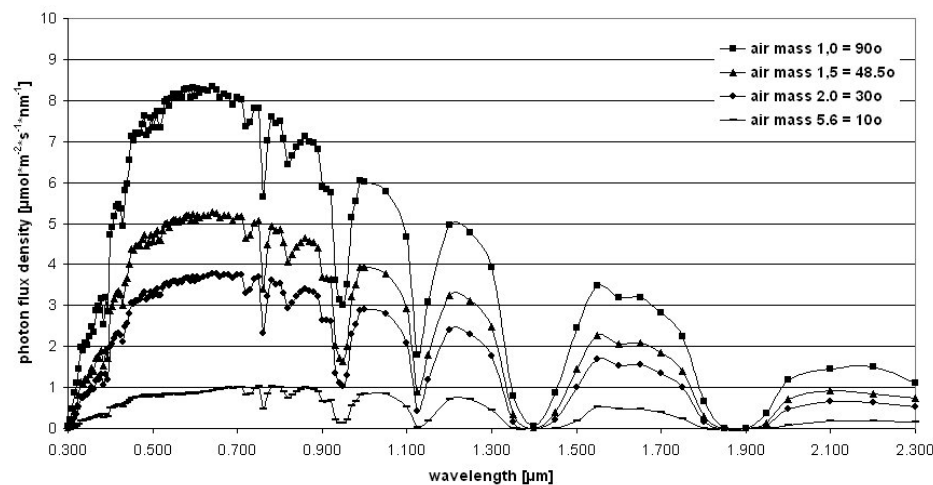
De globale straling varieert in de loop van het jaar, met veranderende bewolking en in de loop van de dag. In CIE 85 (Commission Internationale de l'Éclairage) wordt de spectrale zonnestraling voor verschillende situaties gedefinieerd. In Figuur 1 en Figuur 3 wordt de globale straling met en zonder bewolking en onder verschillende invalshoeken weergegeven in termen van energie-inhoud van de straling, in $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$. Een "air mass" van 1.5 is ongeveer equivalent met een zomerdag in Nederland, een "air mass" van 5.6 is ongeveer equivalent met een winterdag in Nederland.

Omdat de fotosynthese van planten is niet zo zeer gerelateerd is aan de energie-inhoud van de straling maar aan het aantal fotonen dat de kas binnenkomt, is de buitenstraling in Figuur 2 en Figuur 4 weergegeven in het aantal fotonen, in $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

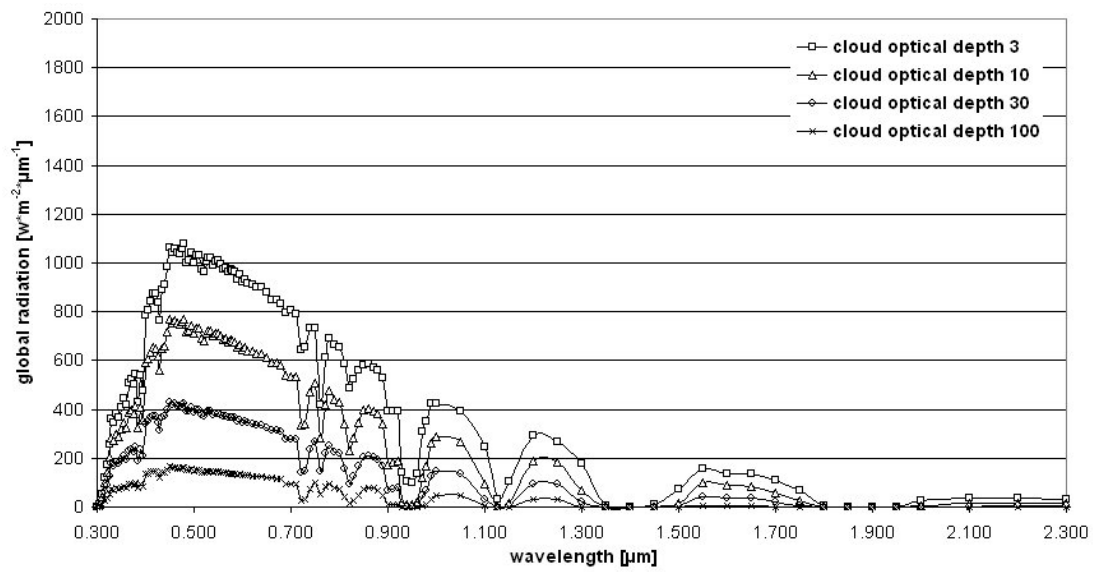
De spectrale verdeling van de globale straling varieert licht onder de verschillende omstandigheden. Zo is het aandeel UV straling (ultraviolette straling 300-400 nm) onder een grotere invalshoek tijdens de zomermaanden, absoluut en relatief gezien, hoger dan onder een kleinere invalshoek tijdens de wintermaanden (Figuur 1, Figuur 2, Figuur 5). Gelijktijdig is het aandeel NIR-straling (nabij infrarode straling 800 – 3000 nm) relatief gezien bij een kleinere invalshoek groter en bij een grotere invalshoek kleiner (Figuur 5). Met toenemende bewolking neemt het aandeel UV straling absoluut wel af (Figuur 3, Figuur 4) maar relatief gezien neemt het aandeel UV straling met een toenemende bewolking toe (Figuur 6). Het aandeel NIR straling neemt relatief gezien met een toenemende bewolking af (Figuur 6).



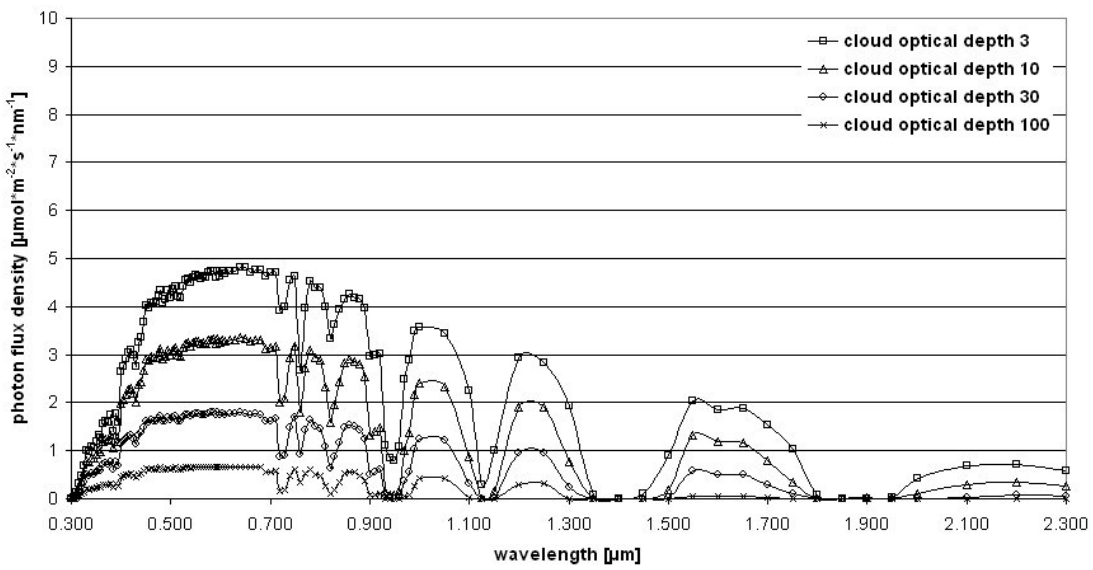
Figuur 1 Globale straling (energie-inhoud) als functie van de golflengte zonder bewolking bij verschillende zonnestanden tijdens het seizoen



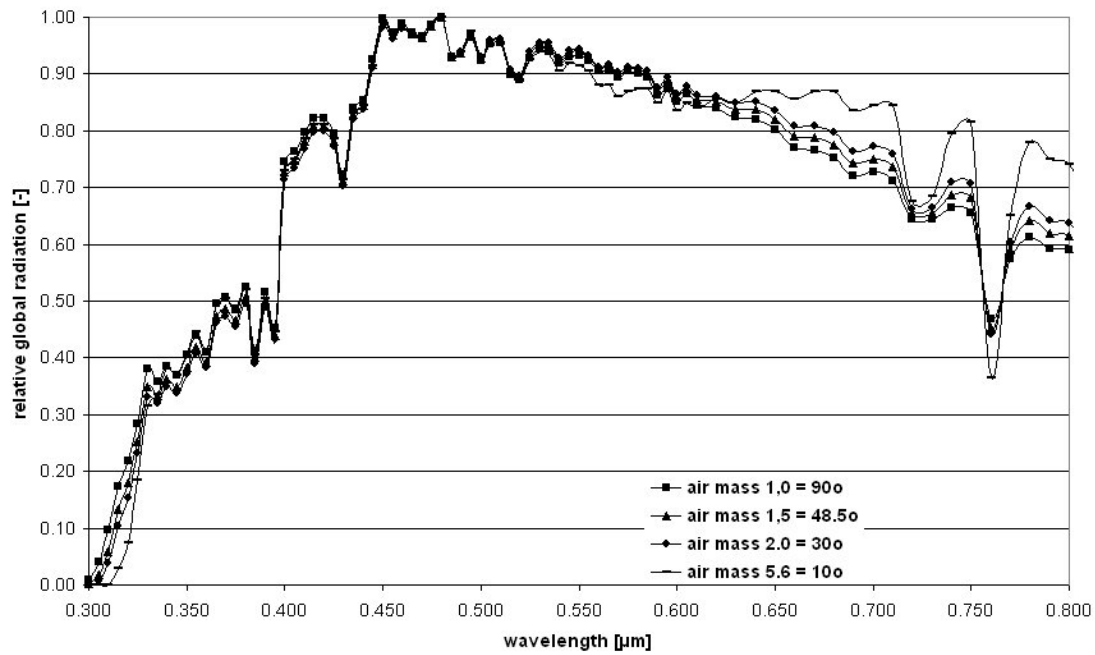
Figuur 2 Globale straling (fotonen) als functie van de golflengte zonder bewolking bij verschillende zonnestanden tijdens het seizoen uitgedrukt in aantal fotonen



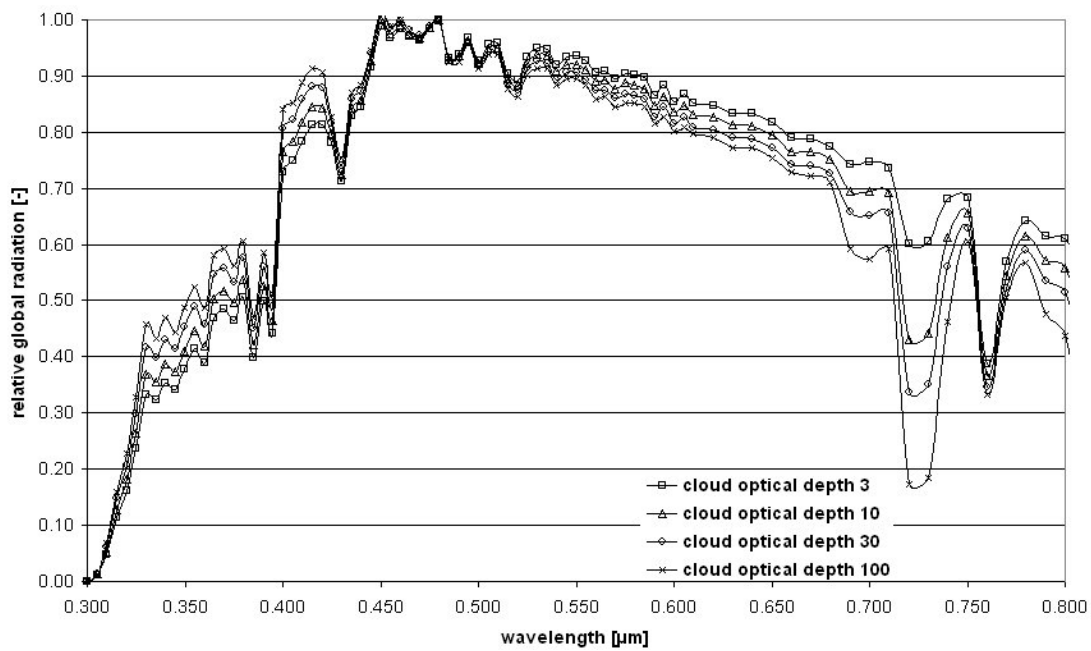
Figuur 3 Globale straling (energie-inhoud) als functie van de golflengte met verschillende bewolingsgraden



Figuur 4 Globale straling als functie van de golflengte met verschillende bewolingsgraden uitgedrukt in aantal fotonen



Figuur 5 Relatieve verdeling van de globale straling zonder bewolking bij verschillende zonnestanden tijdens het seizoen

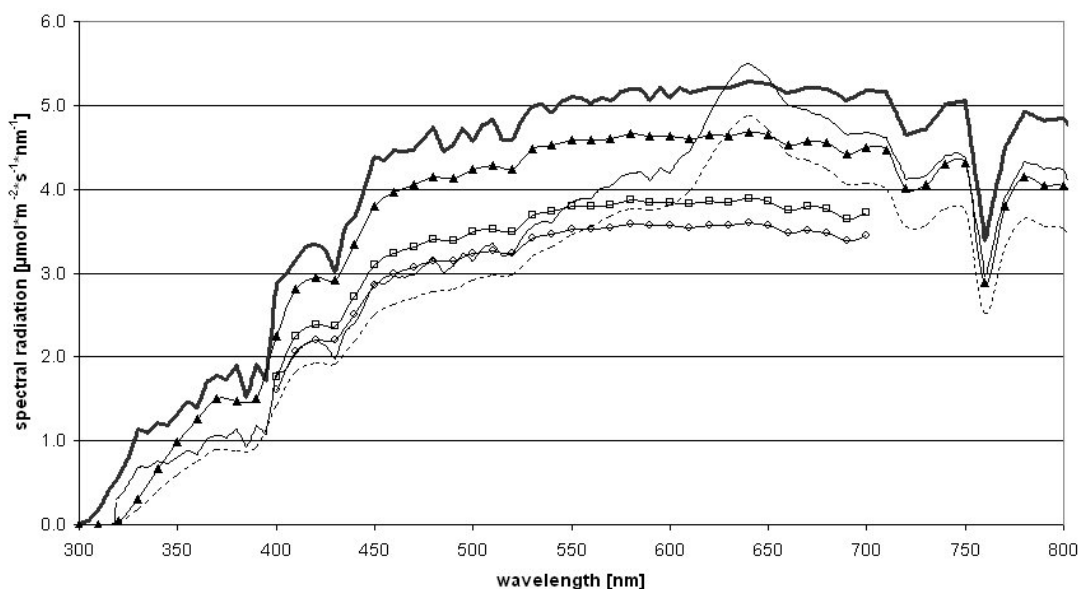


Figuur 6 Relatieve verdeling van de globale straling met verschillende bewolkinggraden

2.2 Spectrale stralingsverdeling en stralingsintensiteit onder verschillende schermmaterialen

In een eerste stap van het onderzoek is de lichttransmissie van de nieuwe CIBA Smartlight scherm vergeleken met twee gebruikelijke Ludvig Svensson energieschermen, de LS-10 Ultra Plus en de LS-10 Ultra, en tuinbouwglas. Hiervoor zijn folie monsters met het CIBA pigment Smartlight met drie verschillende concentraties onderzocht, Smartlight 1, Smartlight 2 en Smartlight 3. De lichttransmissie is gemeten bij Agrotechnolgy and Food Innovations B.V. in Wageningen.

Vervolgens kan de stralingsintensiteit en –verdeling onder de verschillende scherm- en dekmaterialen berekend worden. Dit is gedaan door vermenigvuldiging van de transmissie van een materiaal met de globale straling uitgedrukt in het aantal fotonen. De resultaten hiervan zijn weergegeven in Figuur 7 voor een heldere zomerdag zonder bewolking. In Tabel 11 in Annex A.4 zijn ook de getallen voor andere stralingssituaties weergegeven. Omdat deze weinig afwijken van de in Figuur 7 weergegeven resultaten, worden deze hier niet gedetailleerd beschreven.



*Figuur 7 Stralingsverdeling en –intensiteit onder verschillende materialen
Globale straling buiten (dikke lijn), glas (driehoek), Smartlight 1 (doorgetrokken lijn), glas & LS-10-Ultra-Plus (vierhoek), glas & LS-10-Ultra (cirkel) en glas & Smartlight 1 (gestippelde lijn)*

Tabel 2 PAR transmissie van verschillende scherm- en dekmaterialen en combinaties daarvan

Materiaal	PAR transmissie
Smartlight 1	80.1%
Smartlight 2	76.0%
Smartlight 3	73.6%
LS-10-Ultra-Plus	81.6%
LS-10-Ultra	75.5%
Glas zonder scherm	88.6%
Glas & Smartlight 1	70.7%
Glas & LS-10-Ultra-Plus	73.0%
Glas & LS-Ultra	67.6%

Glas laat ongeveer 88,6% van de buitenstraling door (Tabel 2). Dit getal neemt af met een lagere instralinghoek van de straling. De totale PAR transmissie van Smartlight 1 is 1.5% lager dan de PAR transmissie van de LS-10-Ultra-Plus, 4.6% hoger dan die van LS-10-Plus en 8.5% lager dan enkel glas (Tabel 2).

De combinatie glas & Smartlight 1 heeft een iets lagere PAR transmissie dan glas & LS-10-Ultra-Plus maar een hogere PAR transmissie dan glas & LS-10-Ultra. Echter is de PAR transmissie van glas & Smartlight 1 aanzienlijk lager dan de PAR transmissie van enkel glas zonder scherm.

In vergelijking met de neutrale schermen en glas laat Smartlight 1 minder blauwe straling (B, blauw 400-500 nm) maar meer rode straling (R, rood 600-700 nm) door (Figuur 7). Terwijl glas ongeveer ca. 88.5% van de rode straling doorlaat bij de verschillende stralingsomstandigheden, is dit ca. 83% bij LS-10-Ultra-Plus en ca. 77% bij LS-10-Ultra. Daar tegenover staat een doorlatendheid van ca. 95% onder Smartlight 1 (zie ook piek tussen 600nm en 700nm in Figuur 7). De rood:ver-rood verhouding van de straling is onder Smartlight 1 10% hoger dan buitenstraling, onder Smartlight 2 15% en onder Smartlight 3 17%.

De berekeningen laten ook zien dat de werking van het Smartlight pigment onder glas niet geremd wordt. Met andere woorden, de UV-doorlatendheid van glas belemmert niet de principiële werking van Smartlight, omdat glas doorlatend is voor UVA (320-380nm) en de werking van Smartlight afhankelijk is van de hoeveelheid UVA straling en blauwe straling.

Samenvattend is de lichtdoorlatendheid van het nieuwe Smartlight scherm maar 1.5% minder dan het traditionele LS-10 Ultra Plus. Het aandeel blauwe straling wordt gereduceerd terwijl het aandeel rode straling aanzienlijk verhoogd wordt. De rood:ver-rood verhouding van het nieuwe scherm is met 10% verbeterd. Echter leidt het sluiten van een scherm (Smartlight of LS-10 Ultra Plus) ook overdag tot een lichtverlies van meer dan 15%. Welke effecten dit op het gewas heeft wordt behandeld in hoofdstuk 4.

2.3 Warmtetechnische eigenschappen van verschillende schermmaterialen

Voor een energiescherm zijn vooral de doorlatendheid voor warmtestraling en de emissie van warmtestraling van belang. Energie kan uit een kas verloren gaan door straling (in dit geval transmissie van warmtestraling door het scherm), door opwarmen van het materiaal en emissie naar boven en door luchtuitwisseling als het scherm op een kier staat of niet goed afgedicht is. Uitgaande van een goed sluitend scherm, moet het materiaal dus een lage transmissie voor warmtestraling en een lage emissie aan de bovenkant hebben en zoveel mogelijk gesloten blijven.

Het pigment Smartlight kan in verschillende kunststofmaterialen worden verwerkt. Smartlight kan worden verwerkt in zogenoemde polyolifine, zoals polyethyleen (PE) en ethylvinylacetaat (EVA). Omdat de doorlatendheid van PE voor infrarode straling (IR), dus warmtestraling zeer hoog is, is het noodzakelijk om IR-absorberende pigmenten toe te voegen. Deze pigmenten zijn gebruikelijk in tuinbouwfolies en verlagen de IR-transmissie van het materiaal aanzienlijk, zodat deze zelfs lager is dan van gebruikelijke schermmaterialen, gemaakt van polyester. EVA heeft een lagere IR-transmissie dan PE. Ook bij EVA is het mogelijk om IR-absorberende pigmenten toe te voegen, om de IR-transmissie verder te verlagen.

De emissie van een schermmateriaal is afhankelijk van het gebruikte materiaal. Zo heeft polyester een lagere emissiewaarde dan PE of EVA.

Het pigment Smartlight zelf verandert deze eigenschappen niet. Een nieuw Smartlight scherm gemaakt van PE met IR-absorber heeft naar verwachting een lage IR-transmissie, maar een relatief hoge emissiewaarde. Het effect hiervan op de energiebesparing wordt weergegeven in hoofdstuk 3.

Tabel 3 geeft de IR-transmissie (τ_{IR}) en de emissie aan de bovenkant ($\epsilon_{IR\ up}$) en de onderkant ($\epsilon_{IR\ down}$) voor verschillende schermmaterialen weer.

Tabel 3 IR-transmissie (τ_{IR}) en emissie ($\epsilon_{IR\ up}$ en $\epsilon_{IR\ down}$) van verschillende schermmaterialen

Materiaal	LS-10-Ultra-Plus Polyester + weefsel	XLS-15 Polyester + weefsel + aluminium strips	Smartlight PE + IR-absorber
τ_{IR}	0.4693	0.1499	0.1953
$\epsilon_{IR\ up}$	0.5025	0.6132	0.7676
$\epsilon_{IR\ down}$	0.4978	0.7267	0.7676

Het nieuwe pigment Smartlight heeft zelf geen invloed op de warmtetechnische eigenschappen van het nieuw te produceren schermmateriaal. Deze eigenschappen zijn alleen afhankelijk van het kunststofmateriaal waarin het pigment verwerkt wordt. Het lijkt aantrekkelijk het nieuwe pigment in PE met IR-absorber te verwerken. Dan heeft het nieuwe scherm betere eigenschappen dan traditionele schermmaterialen gemaakt van polyester.

2.4 Verwerking pigmenten in schermmateriaal

Er bestaan twee mogelijkheden om een Smartlight scherm te produceren:

- a. een platte folie gebruikt als scherm
- b. foliestrippen in een soort weefsel als scherm

In het eerste geval is de PAR transmissie van het scherm hoger dan in het tweede geval. Ook kunnen anti-drop eigenschappen worden toegevoegd aan het materiaal. Ludvig Svensson heeft een voorkeur voor het tweede geval, het scherm zou dan op het SLS-10-Ultra scherm lijken, het Smartlight pigment wordt dan in de foliestrippen geïntegreerd. De mechanische eigenschappen zouden in beide gevallen door Ludvig Svensson moeten worden geoptimaliseerd.

Het scherm moet bestaan uit een PE (polyethyleen) polymeer, omdat er volgens Ludvig Svensson en CIBA moeilijkheden zijn Smartlight in een PET (polyester) polymeer te integreren met een goede werking van het pigment.

2.5 Veroudering van het schermmateriaal

CIBA heeft al ervaring opgedaan met de duurzaamheid van het Smartlight pigment ingebracht in een PE folie en gebruikt als kasdekmateriaal, dus onder buitenomstandigheden. Een Smartlight folie heeft in Zuid-Afrika een levensduur van ongeveer 18 tot 20 maanden buiten. Dit komt overeen met een levensduur van ongeveer 3 jaar onder Nederlandse omstandigheden buiten. Als het pigment in een scherm onder glas, dus binnen, wordt gebruikt verwacht CIBA een langere levensduur, omdat het dan niet wordt aangetast door UV-B straling. Dit zou in praktijktests moeten worden aangetoond.

De levensduur van een scherm moet minimaal 8 tot 10 jaar bedragen in Nederland. Ludvig Svensson geeft een garantie van 5 jaar op een scherm.

3 Energetische aspecten

3.1 Berekening energiebesparing van verschillende schermmaterialen

3.1.1 Materiaal en methoden

Voor een tweetal gewassen, paprika en tomaat zijn er berekeningen uitgevoerd voor 5 verschillende cases.

- Case 1 (standaard met LS-10 Ultra Plus → std): Een standaardteelt met een eenvoudige schermregeling, waarbij het scherm op een vaste kier wordt gezet bij een overschrijding van het RV setpoint (87% bij paprika en 85% bij tomaat), en indien het RV niveau te lang (meer dan een half uur) boven het setpoint blijft, wordt het scherm geopend. Het gebruikte schermmateriaal is LS-10 Ultra Plus. In de periode vanaf het planten (25 november) tot 5 december en vervolgens van 5 december tot 15 januari, wordt in de paprikateelt het scherm alleen geopend (dus onafhankelijk van de buitentemperatuur) indien de globale straling boven een niveau van resp. 1000 en 100 W/m² komt. Na 15 januari wordt het scherm geopend en gesloten afhankelijk van een combinatie van straling en buitentemperatuur, zie Tabel 4. Bij de tomatenteelt gaat het scherm in deze case overdag altijd open zodra de globale straling boven de 1 W/m² komt. Als 's nachts de buitentemperatuur kleiner dan 10°C is, gaat het scherm bij paprika en tomaten dicht. In tijden waar de buitentemperatuur hoger is, wordt bij deze case bij beide teelten niet geschermd.
- Case 2 (standaard plus met LS-10 Ultra Plus → plus_sls): Als Case 1, maar met dit verschil dat er bij een RV setpoint overschrijding geen vaste kier, maar een variabele kier wordt getrokken en het scherm niet automatisch door een te hoog RV niveau geopend kan worden (het half uur van case 1). Daarnaast wordt in deze case ook bij tomaat het scherm geopend en gesloten afhankelijk van een combinatie van straling en buitentemperatuur, zie Tabel 4.
- Case 3 (standaard plus met Smartlight → plus_sml): De regeling voor beide gewassen is identiek aan case 2 maar nu wordt er gebruik gemaakt van het Smartlight1 schermdoek.
- Case 4 (maximaal schermen met LS-10 Ultra Plus → max_sls): In tegenstelling tot de plus regeling, wordt het scherm hier alleen geopend op te hoge temperatuur en of een te hoog RV niveau in de kas, of als de globale straling boven de 400 W/m² uitkomt. In de nacht blijft het scherm dus in principe onafhankelijk van de buitentemperatuur gesloten, er wordt allen op een te hoge RV of te hoge T gekierd. Het scherm wordt bij een blijvende overschrijding van de RV of van de kasluchttemperatuur met stappen van 2% verder geopend totdat het scherm eventueel geheel geopend is. Bij een schermstand van < dan 90% wordt het raam vrijgegeven, zodat er ook geventileerd kan worden.
- Case 5 (maximaal schermen met Smartlight → max_sml): De regeling is gelijk aan die van case 4, echter nu is het schermmateriaal Smartlight1.
- Alle setpoints en instelling voor deze berekeningen zijn ook weergegeven in Annex A.6.

Tabel 4 Grenswaarden voor combinaties van buitentemperatuur en stralingsniveau voor het openen van het scherm.

paprika		tomaat	
buitentemperatuur [°C]	globale straling waarbij scherm geopend wordt [W/m ²]	buitentemperatuur [°C]	globale straling waarbij scherm geopend wordt [W/m ²]
-15	500	-15	500
-10	400	-10	300
-5	200	-5	150
0	100	0	50
5	50	5	25
7	10	10	1
10	1	15	1
15	1	50	1
50	1		

In de bijlage is een overzicht gegeven met alle gebruikte setpoints voor beide gewassen. In Tabel 5 zijn de gebruikte schermeigenschappen weergegeven.

Tabel 5 Overzicht van de gebruikte optische eigenschappen van de 2 schermmaterialen.

	SLS 10-UltraPlus	Smartlight1
$\epsilon_{IR\ up}$	0.5025	0.7676
$\epsilon_{IR\ down}$	0.4978	0.7676
τ_{IR}	0.4693	0.1953
$\tau_{PAR\ diffuus}$	0.6984	0.6854
$\tau_{PAR\ direct}$	0.8161	0.8009

3.1.2 Resultaten en Discussie

Door de verschillende schermeigenschappen zal er een combinatie van effecten optreden. In Tabel 6 en Tabel 7 is een overzicht gegeven van een aantal relevante kasparameters, waarbij onderscheid is gemaakt tussen de jaarrond situatie, scherm gesloten (meer dan 90% dicht) overdag (het is licht) en scherm gesloten (meer dan 90% dicht) in de nacht (het is donker). Ook alle tussenstanden van het scherm (tussen 1% en 90% dicht) zijn weergegeven.

Tabel 6 Overzicht van de gerealiseerde RV, schermstand, gasverbruik en aantal schermuren voor 5 cases met het gewas tomaat

	alle uren					uren scherm geheel geopend				
	std	+ sls	+sml	max sls	max sml	std	+ sls	+sml	max sls	max sml
RV [%]	81.0	82.0	81.9	84.0	83.8	82.8	83.5	83.5	84.9	84.9
Schermin [-]	0.2	0.2	0.2	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Gas verbruik [m3/m2]	47.6	45.6	44.8	41.4	40.1	33.4	29.3	29.3	15.0	15.2
Uren [-]	8760	8760	8760	8760	8760	6786	6367	6368	3513	3543

	scherm > 90% en het is licht					1% < scherm =< 90% en het is licht				
	std	+ sls	+sml	max sls	max sml	std	+ sls	+sml	max sls	max sml
RV [%]	76.8	78.8	78.7	81.1	80.8	73.3	79.6	79.3	89.0	88.8
Schermin [-]	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.3	0.5	0.5	0.4	0.4
Gas verbruik [m3/m2]	1.0	3.3	3.2	6.1	5.8	1.5	1.7	1.7	4.9	4.9
Uren [-]	81	385	388	766	754	117	175	170	872	871

	scherm > 90% en het is donker					1% < scherm =< 90% en het is donker				
	std	+ sls	+sml	max sls	max sml	std	+ sls	+sml	max sls	max sml
RV [%]	75.2	77.8	77.3	81.3	80.9	72.7	76.1	75.8	86.1	86.0
Schermin [-]	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6
Gas verbruik [m3/m2]	9.8	10.2	9.5	12.5	11.4	0.5	0.2	0.2	0.2	0.2
Uren [-]	1360	1440	1441	2482	2469	108	50	49	312	327

Tabel 7 Overzicht van de gerealiseerde RV, schermstand, gasverbruik en aantal schermuren voor 5 cases met het gewas paprika

	alle uren					uren scherm geheel geopend				
	std	+ sls	+sml	max sls	max sml	std	+ sls	+sml	max sls	max sml
RV [%]	80.6	80.8	80.5	82.1	81.8	82.6	82.7	82.7	81.7	81.7
Schermin [-]	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Gas verbruik [m3/m2]	46.2	45.9	44.5	42.4	40.5	23.7	23.2	23.3	11.2	11.3
Uren [-]	8760	8760	8760	8760	8760	5208	5141	5140	2927	2907

	scherm > 90% en het is licht					1% < scherm =< 90% en het is licht				
	std	+ sls	+sml	max sls	max sml	std	+ sls	+sml	max sls	max sml
RV [%]	73.1	73.5	72.8	79.9	79.6	78.8	79.1	78.6	88.8	88.7
Schermin [-]	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4
Gas verbruik [m3/m2]	4.2	4.3	4.0	8.9	8.6	2.5	2.5	2.5	5.2	5.0
Uren [-]	541	557	557	1173	1199	283	280	277	934	921

	scherm > 90% en het is donker					1% < scherm =< 90% en het is donker				
	std	+ sls	+sml	max sls	max sml	std	+ sls	+sml	max sls	max sml
RV [%]	77.0	77.8	77.0	79.5	78.9	78.5	76.1	76.0	87.3	87.1
Schermin [-]	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6
Gas verbruik [m3/m2]	14.7	14.8	13.5	14.9	13.5	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1
Uren [-]	2265	2352	2352	2810	2819	77	43	45	250	253

Bij het lezen van Tabel 6 en Tabel 7 moet altijd rekening gehouden worden met het aantal uren waarover een gemiddelde waarde is berekend. Het aantal uren is altijd aangegeven in de laatste alinea. In totaal zijn het 8760 uren per jaar. Bij tomaat worden in de standaard situatie rond 2000 uur geschermd, bij paprika zijn dit 3500 uur. Veronderstelt dat een nieuwe schermstrategie wordt gekozen waarbij het scherm ook overdag wordt gesloten, wordt bij tomaat overdag 400-750 uur het scherm dicht getrokken, bij paprika zijn dit 550-1200 uur waarbij het scherm overdag volledig is gesloten. De meeste schermuren worden tijdens de donkere periode gemaakt. Bij tomaat zijn dit 1400-2400 uur afhankelijk van de gekozen schermstrategie, bij paprika zijn dit 2300-2800 uur.

Uit Tabel 7 valt op te maken het energieverbruik bij paprika afhankelijk is van de schermstrategie. Bij de max-regeling wordt ca. 8-12% minder energie verbruikt dan bij de std-regeling. Het gebruik van het Smartlight1 scherm bespaard ca. 4% energie op jaarbasis ten opzichte van het LS-10 Ultra Plus bij dezelfde regeling. De energiebesparing van Smartlight1 ten opzichte van LS-10 Ultra Plus is vooral te zien in verschillen in gasverbruik in de nacht ($13.5 \text{ m}^3/\text{m}^2$ bij max_sml ten opzichte van $14.9 \text{ m}^3/\text{m}^2$ bij max_sls). Dit komt omdat de thermische eigenschappen van Smartlight 1 gunstiger zijn, de doorlatendheid voor warmtestraling is kleiner (Tabel 5). Op jaarbasis treden in totaal zeer geringe verschillen in RV bij de verschillende schermregelingen en materialen op (ca. 1.5%). Het maximaal sluiten van een scherm (max-regeling) zorgt ervoor dat de RV in de nacht maximaal ca. 2.5% stijgt. Overdag kan dit onder een gesloten scherm oplopen tot ca. 10%. Er is geen verschil tussen de materialen bij dezelfde schermregeling.

Tabel 6 laat zien dat het energieverbruik ook bij tomaat vooral afhankelijk is van de schermstrategie. Bij de max-regeling wordt ca. 13-16% minder energie verbruikt dan bij de std-regeling. Het gebruik van het Smartlight1 scherm bespaard ca. 2% energie op jaarbasis ten opzichte van het LS-10 Ultra Plus bij dezelfde regeling. Ook bij tomaat is de energiebesparing van Smartlight1 ten opzichte van LS-10 Ultra Plus vooral te zien in verschillen in gasverbruik in de nacht ($11.4 \text{ m}^3/\text{m}^2$ bij max_sml tov $12.5 \text{ m}^3/\text{m}^2$ bij max_sls). De verschillen in RV bij een andere schermregeling is bij tomaat licht groter dan bij paprika (ca. 3% op jaarbasis). Het zo veel mogelijk sluiten een scherm overdag laat de RV tot 15% stijgen ten opzichte van de traditionele situatie waarin overdag geen scherm gebruikt wordt. Er is geen verschil tussen de materialen bij dezelfde schermregeling.

In het algemeen is het aantal uren dat het scherm dicht gaat volgens de boven beschreven plus- of max-regeling bij paprika groter dan bij tomaat, omdat bij paprika ook de eerste weken van de teelt het scherm standaard gesloten wordt.

Samenvattend kan worden geconcludeerd dat het energieverbruik onder het nieuwe fluorescerende scherm ca. 3% gereduceerd is ten opzichte van een traditioneel scherm bij dezelfde schermregeling, omdat de doorlatendheid voor warmtestraling minder is. Een andere schermregeling waarin het fluorescerend scherm zo veel mogelijk ook overdag gesloten wordt, kan tot een energiebesparing van ca. 8-12% leiden bij paprika en 13-16% bij tomaat.

4 Teeltkundige aspecten

4.1 Effecten van lichtkwaliteit en fluorescerende folies

In Annex A.5 is algemeen het invloed van verschillende lichtkleuren op de plantengroei en ontwikkeling gedetailleerd beschreven. Hoe de planten reactie op licht eruit ziet is sterk afhankelijk van de licht intensiteit, de licht richting, de instralingduur en de lichtkwaliteit. Veelvuldige informatie over de invloed van lichtkwaliteit op de plantenfysiologie en plantenmorfologie kan in de literatuur worden verzameld (zie Tabel 12 in Annex A.5). Echter deze resultaten zijn meestal onder kunstmatige omstandigheden in klimaatruimtes en onder gebruik van kunstlicht verkregen. Zulk onderzoek is belangrijk om kennis over de fysiologische basis op te bouwen, desondanks zijn conclusies over de plantreactie onder natuurlijke omstandigheden in de praktijksituatie meestal moeilijk. Tabel 12 in Annex A.5 geeft een overzicht van de fysiologische en morfologische effecten die door verschillende golflengtes van het licht worden veroorzaakt. De meeste fysiologische effecten kunnen direct vertaald worden in zichtbare morfologische veranderingen bij de plant. Als een effect door een verhoging een bepaalde lichtkleur veroorzaakt wordt, betekent dat echter niet altijd dat hetzelfde effect bereikt kan worden door de andere lichtkleuren te verminderen. De totale samenstelling van alle lichtkleuren zal in de praktijk bepalen welk effect dit heeft op de plant en het gewas. Ook worden veel effecten in de literatuur beschreven, zo zijn is de vertaling naar de praktijk vaak nog onduidelijk. Er zou meer onderzoek verricht moeten worden naar effect van een andere samenstelling van het natuurlijke licht op de teelt.

Naast deze algemene opmerkingen over lichtkwaliteit zoals samengevat in Annex A.5, is er ook specifiek onderzoek verricht naar fluorescerende pigmenten ingebracht in kunststoffolies. In het verleden is er in meerdere landen de werking van fluorescerende pigmenten in kunststoffolies gebruikt als kasdek materiaal aangetoond. Het effect op verschillende teelten is in praktijktests onderzocht. Tot op heden is er echter nog geen ervaring met het toepassen van fluorescerende pigmenten in schermmaterialen.

In het verleden zijn in Israël strategieën ontwikkeld om de rood:ver-rood verhouding te beïnvloeden. Sommige fluorescerende pigmenten absorberen delen van de groene straling en emitteren deze weer in vorm van rode straling met een langere golflengte. Erez heft deze fluorescerende pigmenten in PVC kunststoffolies ingebracht (ZARKA en ZARKA 1985). De Hebrew Universiteit van Jeruzalem heeft het gebruik van PE kunststoffolies in co-operatie met Ginegar onderzocht.

De fluorescerende kunststoffolies werden vervolgens in praktijktesten vergeleken met een standaard kunststoffolie. Sommige groenten reageerden met een tot en met 40% hogere opbrengst (meloenen) bij de hoge lichtintensiteit in Israel, een productiestijging van tot en met 20% werd bij snijrozen gevonden (SHOSHANY 1991, ZARKA en ZARKA 1985). PEARSON et al. (1995) en KITTAS en BAILLE (1998) geven aan dat de PAR transmissie gereduceerd is in vergelijking met standaard PE folies. Blijkbaar leidt de hogere roo:ver-rood verhouding tot de hogere opbrengsten in landen met hoge stralingsintensiteit. Het effect van deze materialen in gebieden met een lagere instraling, zoals Nederland, is dus nog niet duidelijk.

Ook CIBA heeft al ervaring met het Smartlight pigment ingebracht in kunststoffolie gebruikt als kasdek materiaal. In praktijktests bij tuinders is de productie van rozen onder deze Smartlight folie in meerdere landen onderzocht. De productie van snijrozen kon bijvoorbeeld aanzienlijk verhoogd worden in Thailand en Italië (zie annex).

Sommige fluorescerende pigmenten absorberen uitsluitend ultraviolette straling (geen blauw of groen) en emitteren deze weer in vorm van zichtbaar licht. Ongeveer 5% van de energie van de globale straling wordt in het ultraviolette gebied emitteerd. Producenten van deze pigmenten geven aan, dat een groot deel van deze ultraviolette energie in rood-oranje straling omgezet wordt (Ranita 2000). Materialen welke UV-fluorescerende pigmenten bevatten zouden een positief effect op de opbrengst en biomassa productie van verschillende groenten hebben. De productieperiode van rozen en tulpen wordt verkort (Ranita 2000). Echter is het fluorescerend effect sterk afhankelijk van de pigment concentratie in de folie. Met dit soort folies kan een 1-2% hogere lichttransmissie gerealiseerd worden.

4.2 Berekening plantgewicht en vers vruchtgewicht onder verschillende schermmaterialen

4.2.1 Materiaal en methoden

Voor een tweetal gewassen, paprika en tomaat, is de productie berekend voor situaties waarbij gebruik gemaakt wordt van een nieuw fluorescerend scherm en een standaardscherm. Dit is uitgevoerd voor verschillende schermstrategieën. Dit resulteerde voor elk gewas in 5 cases, welke nader toegelicht worden in hoofdstuk 3.1.1.

Er is uitgegaan van de standaardteelten tomaat en rode paprika. Het plantdatum was dag 345. De plantdichtheid was bij tomaat 2.5 planten per m²; aanhouden van zijscheuten tot totale scheutdichtheid van 2.84 m⁻². De plantdichtheid bij paprika was 3.1; met 2 stengels per plant. Met een standaard gewasgroei model van Plant Research International is het totaal drooggewicht van de plant en het versgewicht van de geogoste vruchten berekend. In het model is verdisconteerd dat de spectrale verschuiving onder het Smartlight1 scherm, resulteert in 1% meer fotosynthese dan wanneer er geen verschuiving zou zijn (zoals bij het LS10 ultra plus scherm); deze 1% winst geldt wanneer de intensiteit van zichtbare straling (in molen) bij de plant gelijk is. Naast dit effect op spectrale verschuiving moet rekening gehouden worden met de totale transmissie van het zichtbare licht. De 1% hogere fotosynthese is op basis van de volgende uitgangspunten geschat:

De spectrale verdeling van straling onder glas, onder Smartlight1 scherm & glas en LS-10 Ultra Plus scherm & glas is gemeten (Figuur 7). Uit deze figuur is de straling per klasse van 50 nm (in het traject 400-700nm) afgeleid. Vervolgens is per golflengte traject de straling vermenigvuldigd met het actie spectrum (relatieve fotosynthese per eenheid inkomende quanta); Hierbij is gebruik gemaakt van data van McCree (1972) zoals bewerkt door Inada (1976). Hieruit ontstaat de relatieve fotosynthese onder glas in combinatie met de twee type schermen. De relatieve fotosynthese bleek aldus 1% hoger voor het Smartlight1 scherm dan voor het LS-10 Ultra Plus scherm, als de lichtintensiteit onder de schermen gelijk zou zijn. Echter de gewogen transmissie van glas&Smartlight1 was 70.7% en van glas&LS-10 Ultra Plus 73.0%.

In de modelberekeningen zijn alleen effecten van spectrale verschuiving op plantgroei die via fotosynthese lopen, in beschouwing genomen. Morfogenetische effecten van lichtkleur zijn in deze berekeningen niet in beschouwing genomen.

4.2.2 Resultaten en Discussie

- De totale drogestofproductie en vers vruchtgewicht bij zowel tomaat als paprika zijn vergelijkbaar voor beide schermen bij dezelfde schermstrategie.
- De plus-regeling (openen van het scherm op basis van temperatuur, RV en straling) geeft vrijwel dezelfde productie als de standaard-regeling zowel bij tomaat als ook bij paprika.
- Maximaal schermen ten opzichte van de plus regeling, resulteert in een enigszins lagere productie bij paprika. Dit is voor beide typen scherm het geval. Deze reductie is het gevolg van een afname van de hoeveelheid licht als gevolg van een toename van het aantal schermuren overdag (ca. 1200 ten opzichte van ca. 550 schermuren, zie Tabel 7). De iets lagere versoogst van paprika bij maximaal schermen onder Smartlight 1 ten opzichte van LS-10 Ultra Plus scherm is toe te schrijven aan wekelijkse fluctuaties in de productie bij paprika. Als het einddatum wat eerder of later gekozen was, dan zou het verschil veel kleiner zijn geweest. Dat productiever schillen tussen beide schermen miniem is, is niet verwonderlijk als in ogenschouw wordt genomen dat de lichtsom onder beide schermen weinig verschilt omdat slechts gedurende een relatief beperkt aantal uren de schermen dicht zijn (zie Tabel 6 en Tabel 7) terwijl er veel instraling is en omdat de transmissieverschillen gering zijn (2.3%). Er is wel een significant verschil tussen de maximaal-regeling ten opzichte van de standaard-regeling.
- Er zijn geen verschillen tussen Smartlight 1 scherm en LS-10 Ultra Plus scherm bij dezelfde schermstrategie in de loop van de tijd te constateren.
- Effecten van temperatuur, CO₂ concentratie en luchtvochtigheid worden in de berekeningen van het gewasgroeimodel meegenomen. De verschillen tussen deze klimaatfactoren waren echter gering waardoor ze nauwelijks de berekende productie beïnvloed hebben. Temperatuur en luchtvochtigheid zouden mogelijk ook enkele processen kunnen beïnvloeden waarmee in het model geen rekening is gehouden. Hier verwachten we geen additionele effecten van omdat de klimaatverschillen gering waren. Weliswaar nam zowel de temperatuur als de relatieve luchtvochtigheid iets toe als het scherm gesloten werd, maar deze toenames waren beperkt (zie hoofdstuk 3.1.2) en echt te hoge waarden werden voorkomen door openen van scherm bij the hoge RV. Bovendien gemiddeld over het jaar waren temperatuur en relatieve luchtvochtigheid vrijwel gelijk voor alle schermbehandelingen.
- Eventuele effecten van lichtkleur op morfogenese en/of plantontwikkeling zijn in deze modelberekeningen niet meegenomen, omdat de kwantitatieve kennis hierover te beperkt is.

Tabel 8 Overzicht van het cumulatief drooggewicht van de plant en de cumulatieve verschoot van tomaten en paprika bij de twee schermmaterialen en verschillende schermregelingen.

	Schermtypen en regelingen	Cumulatieve droogstofproductie (g m⁻²)	Geogst versgewicht vruchten (kg m⁻²)
Tomaat	standaard	4682	60.4
	plus SLS	4677	60.4
	plus SML	4676	60.4
	max SLS	4597	60.7
	max SLM	4582	60.5
Paprika	standaard	4141	32.1
	plus SLS	4131	31.4
	plus SML	4132	31.2
	max SLS	4052	31.0
	max SLM	4043	29.6

5 Economische aspecten

Tabel 9 en Tabel 10 geven een overzicht van de besparingen op energiekosten door het gebruik van het nieuwe fluorescerende schermmateriaal ten opzichte van de meerkosten door de hogere materiaalprijs voor het scherm en een mogelijke opbrengstenreductie.

Berekeningen zijn gemaakt op basis van getallen uit de KWIN 2000-2001 en informatie van Ludvig Svensson en CIBA.

Voor de kosten van het schermmateriaal zelf wordt uitgegaan van 2-3 keer hogere kosten van het nieuwe materiaal ten opzichte van bestaande schermmaterialen (CIBA). Omdat verwacht wordt dat de pigmenten in het nieuwe scherm een korter levensduur hebben dan het schermmateriaal zelf wordt de technische levensduur van het nieuwe scherm met 3-5 jaar aangenomen.(CIBA). In Tabel 9 wordt een optimistisch scenario berekend met 2 keer hogere materiaalkosten en een levensduur van 5 jaar, in Tabel 10 wordt een pessimistisch scenario berekend met 3 keer hogere materiaalkosten en een levensduur van 3 jaar. Omdat de levensduur van de scherminstallatie ca. 10 jaar is zou het schermmateriaal tijdens deze 10 jaar moeten worden vervangen. Hiervoor is extra arbeid nodig met daaraan verbonden kosten. De technische levensduur en de daaraan verbonden hogere kosten zijn meegenomen in de berekening van de afschrijving. Een onderhoudspercentage van 5% en een rentepercentage van 3% komen overeen met KWIN 2000-2001.

Om de kosten en opbrengsten van de teelt te berekenen zijn zowel veranderingen in de versoogst door het schermmateriaal en de schermstrategie als ook veranderingen in de energiekosten en andere teeltkosten meegenomen. Vergeleken wordt de standaard situatie in een glazen kas met alleen in de nacht het scherm dicht met het maximaal ook overdag dicht trekken van een fluorescerend scherm. De jaarlijkse opbrengst van tomaat of paprika is bepaald uit de versoogst zoals berekend in paragraaf 4.2.2 en een gemiddelde prijs zoals aangegeven in KWIN 2000-2001 voor tomaten en paprika. Het gasverbruik zoals berekend in paragraaf 3.1.2 is vermenigvuldigd met een gemiddelde gasprijs en resulteert in de jaarlijkse energiekosten. Omdat er een verschil in opbrengst ontstaat veranderen ook de variabele kosten toerekenbaar aan de teelt, dit is meegenomen in de berekening van de jaarlijkse teeltkosten. Deze bestaan uit kosten voor plantmateriaal, gewasbescherming, bemesting, substraat, folie en andere materialen, koeling, fust en verpakking, veilingkosten, rente over omlopend vermogen en arbeidskosten voor de teelt.

Aan de investeringskant ontstaan verschillen in de jaarlijkse kosten van het schermmateriaal op grond van meerkosten door het pigment en arbeidskosten door een korter levensduur van het materiaal. Omdat een traditionele scherminstallatie kan worden zijn de jaarlijkse kosten van de installatie voor een traditioneel en fluorescerend scherm vergelijkbaar (Tabel 9). De opbrengst van tomaten verandert niet door het nieuwe scherm ook overdag te sluiten ten opzichte van de traditionele teelt waarin het energiescherm (als aanwezig) alleen 's nachts wordt dicht gehouden. De opbrengst van paprika daalt als het nieuwe scherm zoveel mogelijk wordt gesloten (Tabel 8). Het zo veel mogelijk sluiten van het nieuwe scherm ook overdag resulteert in een lichte besparing op jaarlijkse energiekosten voor tomaat en paprika (Tabel 6, Tabel 7 en Tabel 9).

Na de kosten- en batenanalyse in het optimistische scenario zoals uitgevoerd in Tabel 9, met de randvoorwaarden zoals boven beschreven, wordt een zeer klein economisch voordeel door het gebruik van het nieuwe fluorescerend scherm bij tomaat verwacht (€0.45 voordeel per m² per

jaar). Het gebruik van het scherm in de paprikateelt heeft ondanks de te behalen energiebesparing nadelige economische gevolgen (€-2.53 nadeel per m² per jaar). Dit komt met name door het productieverlies onder het scherm. In het pessimistische scenario zoals uitgevoerd in Tabel 10, geeft het gebruik van het nieuwe fluorescerend scherm zowel bij tomaat als ook bij paprika geen economisch voordeel meer (€-1.14 bij tomaat en €-4.12 bij paprika).

Bij de ontwikkeling van het nieuwe scherm is het belangrijk om de gevoeligheid van de kosten en baten analyse voor verschillende factoren te weten. Daarom is het *break-even point* van de maximale materiaalprijs voor verschillende scenario's uitgerekend.

Uitgaande van een levensduur van het schermmateriaal van 5 jaar, mag het nieuwe fluorescerende scherm maximaal € 5.60 kosten voor een tomatenteelt en is het niet rendabel voor een paprikateelt. Als de levensduur van het schermmateriaal korter is, namelijk maar 3 jaar, mag het nieuwe fluorescerende scherm maximaal € 3.20 kosten voor een tomatenteelt en is het niet rendabel voor een paprikateelt.

Als de gasprijs tot € 0.20 per m³ zou stijgen mag het nieuwe fluorescerende scherm met een levensduur van 5 jaar in een tomatenteelt maximaal €7.20 kosten. De gasprijs zou boven de €0.50 moeten stijgen voordat het nieuwe scherm voor een paprikateelt rendabel wordt.

Omdat het effect een hogere rood:ver-rood verhouding onder het nieuwe pigment op de opbrengst niet door bekende modellen kan worden berekend is nog gekeken hoe hoog de productiestijging zou moeten zijn voordat het nieuwe fluorescerend scherm rendabel is.

Uitgaande van de pessimistische aannames in Tabel 10 moet de opbrengst van tomaat minimaal 3% ten opzichte van de traditionele productiewijze stijgen voordat het nieuwe fluorescerende scherm rendabel wordt. De opbrengst van paprika zou ca. 1% moeten stijgen ten opzichte van de traditionele productiewijze in plaats van 7-8% afnemen.

Tabel 9 Economische analyse van de meeropbrengsten door het nieuwe fluorescerende scherm ten opzichte van de meerkosten – optimistisch scenario

	traditioneel scherm, traditionele schermregeling	fluorescerend scherm, maximaal schermen
investering scherm¹		
kosten schermmateriaal [€ * m ⁻²]	2	4
meerkosten arbeid vervanging schermmateriaal € 0.40 *m ⁻²		0,40
technische levensduur schermmateriaal [a]	10	5
economische levensduur schermmateriaal [a]	5	5
afschrijving [€ * m ⁻² * a ⁻¹] ²	0,40	0,88
onderhoud 5% [€ * m ⁻² * a ⁻¹]	0,10	0,20
rente 3% [€ * m ⁻² * a ⁻¹]	0,06	0,12
jaarlijkse kosten schermmateriaal [€ * m⁻² * a⁻¹]	0,56	1,20
kosten scherminstallatie [€ * m ⁻²]	5	5
economische levensduur scherminstallatie [a]	8	8
afschrijving [€ * m ⁻² * a ⁻¹] ²	0,63	0,63
onderhoud 5% [€ * m ⁻² * a ⁻¹]	0,25	0,25
rente 3% [€ * m ⁻² * a ⁻¹]	0,15	0,15
jaarlijkse kosten scherminstallatie [€ * m⁻² * a⁻¹]	1,03	1,03
tomaat		
versoogst [kg * m ⁻² * a ⁻¹]	60,4	60,5
prijs [€ * kg ⁻¹ * a ⁻¹] ³	0,74	0,74
jaarlijkse opbrengst [€ * m⁻² * a⁻¹]	44,95	45,02
gasverbruik [m ³ * m ⁻² * a ⁻¹]	47,6	40,1
gasprijs [€ * m ³]	0,14	0,14
jaarlijkse energiekosten [€ * m⁻² * a⁻¹]	6,66	5,61
jaarlijkse teeltkosten [€ * m⁻² * a⁻¹]	21,86	21,89
Tomaat: jaarlijkse netto meeropbrengsten [€ * m⁻² * a⁻¹]		0,45
paprika		
versoogst [kg * m ⁻² * a ⁻¹]	32,1	29,6
prijs [€ * kg ⁻¹ * a ⁻¹] ³	1,56	1,56
jaarlijkse opbrengst [€ * m⁻² * a⁻¹]	49,96	46,07
gasverbruik [m ³ * m ⁻² * a ⁻¹]	46,2	40,5
gasprijs [€ * m ³]	0,14	0,14
jaarlijkse energiekosten [€ * m⁻² * a⁻¹]	6,47	5,67
jaarlijkse teeltkosten [€ * m⁻² * a⁻¹]	21,54	20,34
Paprika: jaarlijkse netto meeropbrengsten [€ * m⁻² * a⁻¹]		-2,53

¹ kosten scherm materiaal en installatie, afschrijving, onderhoud en rente percentages volgens KWIN 2000-2001

² afschrijving over economische levensduur van het scherm, tenzij technische levensduur korter

³ KWIN 2000-2001 Tomaat rond, steenwol, hoge draad (G52) gemiddelde prijs

⁴ KWIN 2000-2001 Paprika rood, steenwol (G22) gemiddelde prijs

Tabel 10 Economische analyse van de meeropbrengsten door het nieuwe fluorescerende scherm ten opzichte van de meerkosten – pessimistisch scenario

	traditioneel scherm, traditionele schermregeling	fluorescerend scherm, maximaal schermen
investering scherm¹		
kosten schermmateriaal [$\text{€} * \text{m}^{-2}$]	2	6
meerkosten arbeid vervanging schermmateriaal $\text{€} 0.40 * \text{m}^{-2}$		0,93
technische levensduur schermmateriaal [a]	10	3
economische levensduur schermmateriaal [a]	5	5
afschrijving [$\text{€} * \text{m}^{-2} * \text{a}^{-1}$] ²	0,40	2,31
onderhoud 5% [$\text{€} * \text{m}^{-2} * \text{a}^{-1}$]	0,10	0,30
rente 3% [$\text{€} * \text{m}^{-2} * \text{a}^{-1}$]	0,06	0,18
jaarlijkse kosten schermmateriaal [$\text{€} * \text{m}^{-2} * \text{a}^{-1}$]	0,56	2,79
kosten scherminstallatie [$\text{€} * \text{m}^{-2}$]	5	5
economische levensduur scherminstallatie [a]	8	8
afschrijving [$\text{€} * \text{m}^{-2} * \text{a}^{-1}$] ²	0,63	0,63
onderhoud 5% [$\text{€} * \text{m}^{-2} * \text{a}^{-1}$]	0,25	0,25
rente 3% [$\text{€} * \text{m}^{-2} * \text{a}^{-1}$]	0,15	0,15
jaarlijkse kosten scherminstallatie [$\text{€} * \text{m}^{-2} * \text{a}^{-1}$]	1,03	1,03
tomaat		
versoogst [$\text{kg} * \text{m}^{-2} * \text{a}^{-1}$]	60,4	60,5
prijs [$\text{€} * \text{kg}^{-1} * \text{a}^{-1}$] ³	0,74	0,74
jaarlijkse opbrengst [$\text{€} * \text{m}^{-2} * \text{a}^{-1}$]	44,95	45,02
gasverbruik [$\text{m}^3 * \text{m}^{-2} * \text{a}^{-1}$]	47,6	40,1
gasprijs [$\text{€} * \text{m}^3$]	0,14	0,14
jaarlijkse energiekosten [$\text{€} * \text{m}^{-2} * \text{a}^{-1}$]	6,66	5,61
jaarlijkse teeltkosten [$\text{€} * \text{m}^{-2} * \text{a}^{-1}$]	21,86	21,89
Tomaat: jaarlijkse netto meeropbrengsten [$\text{€} * \text{m}^{-2} * \text{a}^{-1}$]		-1,14
paprika		
versoogst [$\text{kg} * \text{m}^{-2} * \text{a}^{-1}$]	32,1	29,6
prijs [$\text{€} * \text{kg}^{-1} * \text{a}^{-1}$] ³	1,56	1,56
jaarlijkse opbrengst [$\text{€} * \text{m}^{-2} * \text{a}^{-1}$]	49,96	46,07
gasverbruik [$\text{m}^3 * \text{m}^{-2} * \text{a}^{-1}$]	46,2	40,5
gasprijs [$\text{€} * \text{m}^3$]	0,14	0,14
jaarlijkse energiekosten [$\text{€} * \text{m}^{-2} * \text{a}^{-1}$]	6,47	5,67
jaarlijkse teeltkosten [$\text{€} * \text{m}^{-2} * \text{a}^{-1}$]	21,54	20,34
Paprika: jaarlijkse netto meeropbrengsten [$\text{€} * \text{m}^{-2} * \text{a}^{-1}$]		-4,12

¹ kosten scherm materiaal en installatie, afschrijving, onderhoud en rente percentages volgens KWIN 2000-2001

² afschrijving over economische levensduur van het scherm, tenzij technische levensduur korter

³ KWIN 2000-2001 Tomaat rond, steenwol, hoge draad (G52) gemiddelde prijs

⁴ KWIN 2000-2001 Paprika rood, steenwol (G22) gemiddelde prijs

6 Samenvatting

Tuinders met energie-intensieve gewassen zoals tomaat, paprika, roos enz. kunnen bij lage buitentemperaturen energieschermen gebruiken om energie te besparen. Daarbij treden een aantal problemen op. Wanneer de schermen bijvoorbeeld overdag worden ingezet leiden ze tot lichtverlies en daarmee tot productieverlies. Introductie van schermmateriaal dat wel energie bespaart en niet leidt tot productieverlaging kan deze problemen wegnemen.

CIBA Speciality Chemicals in Basel, Zwitserland, heeft een nieuw fluorescerend pigment ontwikkeld, dat gebruikt kan worden in schermmaterialen voor kassen. Dit pigment transformeert licht, door absorptie in het ultraviolette en blauwe stralingsspectrum en emissie in het rode spectrum, waardoor de kwaliteit van de PAR wordt verbeterd en speciaal de rood:ver-rood verhouding wordt verhoogd. Door het pigment toe te voegen aan door Ludvig Svensson geproduceerd schermmateriaal en een energiescherm van dat materiaal zo veel mogelijk ook overdag te sluiten, wordt in feite een dubbel kasdek gecreëerd en kan een energiebesparingseffect gecombineerd worden met verbeterde groei en productie van de planten.

In deze haalbaarheidsstudie is in hoofdstuk 1 theoretisch onderzoek gedaan naar technische aspecten van dit nieuwe scherm. Zo is de PAR transmissie van het nieuw te ontwikkelen scherm onder verschillende stralingsomstandigheden vergeleken met een traditionele scherm. Vervolgens is het effect van dit scherm op de opbrengst van tomaat en paprika gesimuleerd en de energiebesparing voor deze twee gewassen is voor een aantal scenario's uitgerekend. Een kosten-baten-analyse bekijkt de economische kant van deze mogelijke ontwikkeling.

De PAR transmissie van het nieuwe fluorescerende scherm is licht kleiner dan de transmissie van een traditioneel energiescherm. De PAR transmissie van het nieuwe Smartlight 1 schermdoek is op basis van het aantal fotonen 80.1%, de PAR transmissie van een LS-10 Ultra Plus schermdoek is 81.6%. De PAR transmissie in een glazen kas waar het nieuwe scherm ook overdag zo veel mogelijk gesloten wordt, is echter minder dan in de traditionele situatie, waar in een glazen kas 's nachts een traditioneel scherm dicht getrokken wordt. In de eerste situatie (glas & Smartlight 1 maximaal overdag en 's nachts dicht) is de PAR transmissie 70.7%, in de tweede situatie (glas overdag en LS-10 Ultra Plus 's nachts dicht) is deze 88.6%. In het nieuwe Smartlight 1 scherm vindt een spectrale verschuiving plaats van ultraviolette en blauwe straling naar rode straling. Deze spectrale verschuiving onder het Smartlight1 scherm leidt tot een verhoging van de relatieve fotosynthese met 1%, als dezelfde lichtniveaus bij de plant vergeleken worden. Het nieuwe fluorescerende scherm heeft een ca. 10% verbeterde rood:ver-rood verhouding. Morfogenetische en plantontwikkelingseffecten hiervan zijn met de huidige modellen niet kwantificeerbaar. Dit kan alleen door het uitvoeren van praktijktests.

De gesimuleerde productie van tomaat is onder het nieuwe fluorescerende scherm vrijwel gelijk aan de traditionele situatie, namelijk 60.4 versus 60.5 kg/m² versgewicht vruchten. De productie van paprika is ca. 7-8% gereduceerd als ook overdag het nieuwe Smartlight 1 scherm zo veel mogelijk wordt gesloten (29.6 kg/m²) ten opzichte van de traditionele situatie waarin in een glazen kas alleen 's nachts een traditioneel scherm dicht wordt getrokken. (32.1 kg/m²). Het energieverbruik is ca. 8-12% bij paprika en 13-16% bij tomaat als het nieuwe fluorescerend scherm zo veel mogelijk ook overdag wordt gesloten in vergelijking met de traditionele situatie. Onder een fluorescerend scherm wordt ca. 3% meer energie bespaard dan onder een traditioneel

scherm bij dezelfde schermstrategie. De RV is op jaarbasis vrijwel gelijk. Optredende verschillen in energieverbruik, RV en temperatuur komen vooral door een andere schermstrategie, het gebruik van een ander schermmateriaal heeft hier maar een kleine invloed. De kosten en baten analyse laat geen of geringe economische voordelen van het nieuwe fluorescerende scherm bij tomaat zien. De kosten en baten analyse is negatief voor een paprikateelt.

Het gebruik van een dergelijk fluorescerend scherm in de paprikateelt kan op grond van de economische berekeningen niet geadviseerd worden. In de tomatenteelt zou een dergelijk fluorescerend scherm voordelig kunnen zijn. Door in de tomatenteelt een andere schermstrategie te kiezen, zullen ca. 15% meer energie kunnen worden bespaard. Als deze schermstrategie gecombineerd wordt met het nieuwe fluorescerende scherm, kan bij tomaat ca. 2% extra energie worden bespaard, zonder productieverlies. Misschien kan in de praktijk zelfs een productieverhoging worden bereikt op grond van fotomorfogenetische effecten, welke met huidige groeimodellen niet kwantificeerbaar zijn. Ook in het project “Optimale lichtomstandigheden bij de transitie naar een energiezuinige kasuinbouw” is gebleken dat het verminderen van blauwe straling vooral bij een jong gewas voordelig is, omdat dit een snelle bladontwikkeling bevordert. Omdat dit fluorescerend scherm blauwe straling omzet naar rode straling wordt aanbevolen, om kasexperimenten met tomaat met verschillende schermregelingsstrategieën uit te voeren.

7 Conclusies

- De PAR transmissie van het nieuwe fluorescerende schermdoek is licht gereduceerd ten opzichte van de transmissie van een traditioneel energieschermdoek (1.5%punten verschil op basis van fotonen). De PAR transmissie in een glazen kas waar het nieuwe scherm overdag gesloten wordt, is echter veel minder dan in een glazen kas zonder scherm (17.9%punten verschil op basis van fotonen). Overdag schermen betekent dus een lichtverlies.
 - In het nieuwe fluorescerende scherm vindt een spectrale verschuiving plaats van ultraviolette en blauwe straling naar rode straling. Het nieuwe fluorescerende scherm heeft een verbeterde rood:ver-rood verhouding. Morfogenetische en plantontwikkelingseffecten hiervan zijn met de huidige modellen niet kwantificeerbaar. Dit kan alleen door het uitvoeren van praktijktests.
 - De productie wordt alleen beïnvloed door het kiezen van een andere schermstrategie. De productie onder het nieuwe fluorescerende scherm, als dit zo veel mogelijk ook overdag gesloten wordt, is gelijk voor tomaat (60.4-60.5 kg/m²) en gereduceerd voor paprika (29.6 kg/m² ten opzichte van 32.1 kg/m²). Effecten op productie waren vergelijkbaar voor het nieuwe fluorescerende scherm en een traditioneel scherm.
 - Het energieverbruik onder het nieuwe fluorescerende scherm is ca. 3% gereduceerd ten opzichte van een traditioneel scherm, omdat de doorlatendheid voor warmtestraling minder is. Een andere schermregeling waarin het fluorescerend scherm zo veel mogelijk ook overdag gesloten wordt, kan tot een energiebesparing van ca. 8-12% leiden bij paprika en 13-16% bij tomaat
 - De kosten en baten analyse is negatief voor een paprikateelt en laat geen of geringe economische voordelen van het nieuwe fluorescerende scherm bij tomaat zien.
- ➔ **Het gebruik van een dergelijk fluorescerend scherm in de paprikateelt kan op grond van de economische berekeningen niet geadviseerd worden. In de tomatenteelt zou een dergelijk fluorescerend scherm voordelig kunnen zijn. Door in de tomatenteelt een andere schermstrategie te kiezen, zullen ca. 15% meer energie kunnen worden bespaard. Als deze schermstrategie gecombineerd wordt met het nieuwe fluorescerende scherm, kan bij tomaat ca. 2% extra energie worden bespaard, zonder productieverlies. Misschien kan in de praktijk zelfs een productieverhoging worden bereikt op grond van fotomorfogenetische effecten, welke met huidige groeimodellen niet kwantificeerbaar is.**
- ➔ **Het nieuwe fluorescerend scherm zet blauwe straling om in rode straling. In het project “Optimale lichtomstandigheden bij de transitie naar een energiezuinige kastuinbouw” is gebleken dat het verminderen van blauwe straling vooral in de eerste fase van de teelt bij een jong gewas voordelig is, omdat dit een snelle bladontwikkeling bevordert.**
- ➔ **Aanbevolen wordt om kasexperimenten met tomaat met verschillende schermregelsstrategieën uit te voeren.**

8 Literatuur

- ATTRIDGE, T. H. 1990: Light en plant response. Edward Arnold: A division of Hodder & Stoughton, London, New York, Melbourne, Auckland.
- Blom-Zandstra M., Pot C.S, Maas F.M., en Schapendonk, A.H.C.M., 1995: Effects of different light treatments on the nocturnal transpiration en dynamics of stomatal closure of two rose cultivars. *Scientia Hort.* 61, 251-262.
- CALDWELL, M. M. 1981: Plant response to solar ultraviolet radiation. In: Encyclopedia of plant physiology, vol. 12 A, PIRSON, A. en M. H. ZIMMERMANN (eds.), Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 169-197.
- CIE, 1989: Solar spectral irradiance, Publication no. 85, ISBN 3 900 734 22 4.
- DOWNES, R. J. en H. W. SIEGELMANN 1963: Photocontrol of anthocyanin synthesis in milo seedlings. *Plant Physiology* 38, 25-30.
- DRUMM, H. en H. MOHR 1978: The mode of interaction between a blue (UV) light photoreceptor en phytochrome in anthocyanin formation in the sorghum seedling. *Photochemistry en Photobiology* 27, 241-248.
- DUTHIE G.G.; DUTHIE S.J. en KYLE J.A.M., 2000: Plant polyphenols in cancer en heart disease: implications as nutritional antioxidants. *Nutr. Res. Rev.* 13, 79-106.
- GEUTLER, G. en J. KROCHMANN 1978: Die Messung der für die Photosynthese wirksamen Bestrahlungsstärke. *Gartenbauwissenschaft* 43, 271-280.
- INADA, K. 1976: Action spectra for photosynthesis in higher plants. *Plant & Cell Physiol.* 17: 355-365.
- KASPERBAUER M.J. en HAMILTON J.L., 1984: Chloroplast structure en starch grain accumulation in leaves that received different red en far-red levels during development (*Nicotiana tabacum*, tobacco). *Plant Physiol.* 74, 967-970.
- KITTAS, C. en A. BAILLE 1998: Determination of the Spectral Properties of Several Greenhouse Cover Materials en Evaluation of Specific Parameters Related to Plant Response. *Journal of Agricultural Engineering Research* 71, 193-202.
- KLEIN, W. H.; R. B. WITHROW; V. ELSTAD en L. PRICE 1957: Photocontrol of growth en pigment synthesis in the bean seedling as related to irradiance en wavelength. *American Journal of Botany* 44, 15-19.
- KLEIN, R. M. 1978: Plants en near-ultraviolet radiation. *The Botanical Review* 44, 1-127.
- KWIN 2000-2001: Kwantitatieve informatie voor de glastuinbouw. Groenten – Snijbloemen – potplanten. Proefstation voor Bloemisterij en Glasgroente. ISSN 1387-2527.
- MANCINELLI, A. L.; P. K. KU-TAI en R. SUSINNO 1974: Photocontrol of anthocyanin synthesis: Phytochrome, chlorophyll en anthocyanin synthesis. *Photochemistry en Photobiology* 20, 71-79.
- MANCINELLI, A. L. en I. RABINO 1978: Photocontrol of anthocyanin synthesis. IV. Dose dependence en reciprocity relationships. *Plant Physiology* 56, 351-355.

- MANCINELLI, A. L. 1983: The photoregulation of anthocyanin synthesis. In: Photomorphogenesis, SHROPSHIRE, W. en H. MOHR (eds.), Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, 640-661.
- MANCINELLI, A. L. 1994: The physiology of phytochrome action. In: Photomorphogenesis in plants, KENDRICK,
- MCCREE, K.J. 1972: The action spectrum, absorptance and quantum yield of photosynthesis in crop plants. *Agric Meteorol.* 9: 191-216.
- MOHR, H. 1972: Lectures on photomorphogenesis. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- MOHR, H. en P. SCHOPFER 1978: Lehrbuch der Pflanzenphysiologie. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- MOHR, H. 1987: Mode of coaction between blue/UV light en light absorbed by phytochrome in higher plants. In: Blue light responses: Phenomena en occurrence in plants en micro-organisms, SENGER, H. (ed.), CRC Press, 133-144.
- MOHR, H. 1994: Coaction between pigment systems. In: Photomorphogenesis in plants, KENDRICK, R. E. en G. H. M. KRONENBERG (eds.), 2nd Edition, Kluwer Academic Publishers, 353-373.
- PEARSON, S., A. E. WHELDON en P. HADLEY 1995: Radiation transmission en fluorescence of nine greenhouse cladding materials. *Journal of Agricultural Engineering Research* **62**, 61-70.
- RANITA 2000: Productinformation of Ranita Ltd., Burdenko Str. 11, office 3A, Moscow, RUS-119121, <http://www.ranita.ru/en/>.
- RICHTER, G. 1988: Stoffwechselfysiologie der Pflanzen. 5. Auflage, Thieme Verlag, Stuttgart, New York, 71-236.
- RÜDIGER, W. en F. THÜMLER 1994: The phytochrome chromophore. In: Photomorphogenesis in plants, KENDRICK, R. E. en G. H. M. KRONENBERG (eds.), 2nd Edition, Kluwer Academic Publishers, 51-69.
- SACHS, J. 1864: Wirkungen des farbigen Lichts auf Pflanzen. *Botanische Zeitung*, 353-358.
- SCHÄFER, E. en W. HAUPT 1983: Blue-light effects in phytochrome-mediated responses. In: Photomorphogenesis, SHROPSHIRE, W. en H. MOHR (eds.), Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, 723-744.
- SENGER, H. en W. SCHMIDT 1994: Diversity of photoreceptors. In: Photomorphogenesis in plants, KENDRICK, R. E. en G. H. M. KRONENBERG (eds.), 2nd Edition, Kluwer Academic Publishers, 301-325.
- SHOSHANY, H. 1991: Morphogenetische Signale durch Gewächshausfolien, die zu Ertragssteigerungen führen. KTBL-Arbeitspapier: Einsatz von Kunststoffen bei umweltschonenden Kulturverfahren.
- SIEGELMANN, H. W. en S. B. HENDRICKS 1957: Photocontrol of anthocyanin formation in turnip en red cabbage seedlings. *Plant Physiology* **32**, 393-394.

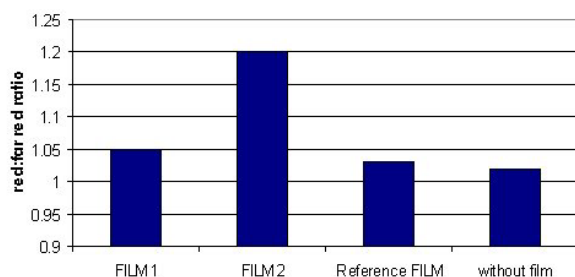
- SMITH, H. 1975: Phytochrome en Photomorphogenesis. McGraw-Hill Book Company (UK) Ltd.
- SMITH; H. 1982: Light quality, photoreception en plant strategy. Annual Review of Plant Physiology **33**, 481-518.
- SMITH; H. en D. C. MORGAN 1983: The function of phytochrome in nature. In: Photomorphogenesis, SHROPSHIRE, W. en H. MOHR (eds.), Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, 491-517.
- TERAMURA, A. H. 1983: Effects of ultraviolet-B radiation on the growth en yield of crop plants. Physiologia Plantarum **58**, 415-427.
- TERAMURA, A. H. 1996: How plants respond to a changing UV-B radiation environment. In: Regulation of plant growth en development by light, BRIGGS et al. (eds.). Current Topics in Plant Physiology: An American Society of Plant Physiologists Series, vol. 17. American Society of Plant Physiologists Rockville, Maryland, USA.
- VINCE-PRUE, D. 1983: Photomorphogenesis en flowering. In: Photomorphogenesis, SHROPSHIRE, W. en H. MOHR (eds.), Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, 457-490.
- WELLMANN, E. 1974: Regulation der Flavonoidbiosynthese durch ultraviolettes Licht und Phytochrom in Zellkulturen und Keimlingen von Petersilie (*Petroselinum hortense* Hoffm.). Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft **87**, 267-273.
- WELLMANN, E. 1983: UV radiation in photomorphogenesis. In: Photomorphogenesis, SHROPSHIRE, W. en H. MOHR (eds.), Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, 745-756.
- WELLMANN, E. 1985: UV-B-Signal/Response-Beziehungen unter natürlichen und artifiziellen Lichtbedingungen. Bericht der Deutschen Botanischen Gesellschaft **98**, 99-104.
- WELLMANN, E; V. STEINMETZ; G. BEHA; G. BUCHHOLZ; E. KARLSEN; B. LANGER; R. LEMKE; U. SCHNEIDER-ZIEBERT en M. STEIERT 1991: UV-B-Wirkungen auf Pflanzen: Charakterisierung von UV-Schutzmechanismen und UV-spezifischen Photomorphosen. In: Dosis-Wirkungsbeziehungen für UV-Primärschäden. Forschungsberichte des GSF-Forschungszentrums für Umwelt und Gesundheit **5**, 1-12.
- ZARKA, Y. en A. ZARKA 1985: New PVC fluorescent film for cladding greenhouses - the results form three years' trials. Plasticulture **85** (1), 6-16.
- ZEIGER, 1984: Blue light en stomatal function. In: blue light effects in biological systems. H. Senger (ed.): 484-494. Springer verlag, Berlin.
- ZIMMER, K. 1989: Photoperiodische Reaktionen von Sommer-Schnittblumen. Deutscher Gartenbau **28**, 1719-1721.
- ZIMMER, K. 1990: Gegensätzliche Angaben können durchaus richtig sein. Gärtnerbörse + Gartenwelt **7**, 336-339 en **8**, 394-395.

Annex

A.1 Results of CIBA field trials in Italy

Luminescence Performance in Day Light

Increasing the Red:Far Red ratio.



Film: 200micron LDPE monolayer blown films.

Plastic Additives

CONFIDENTIAL Property of Ciba Specialty Chemicals Inc.
To be reproduced only with written consent of Ciba Specialty Chemicals Inc.



Transmission Data

Mean values in the PAR:

	Transmission
Film1	89.4
Film2	76.9
Reference film	85.9

Film: 200micron LDPE monolayer blown films.

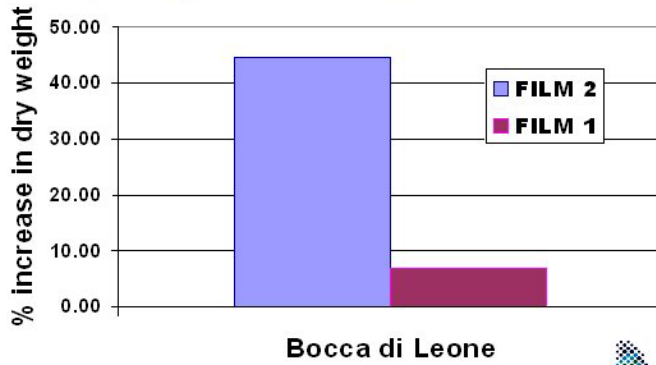
Plastic Additives

CONFIDENTIAL Property of Ciba Specialty Chemicals Inc.
To be reproduced only with written consent of Ciba Specialty Chemicals Inc.



Agronomic Performance

Field trial carried out @ University of Pisa
Increase in dry weight after 60 days.



Film: 200micron LDPE monolayer blown film.

Plastic Additives

CONFIDENTIAL Property of Ciba Specialty Chemicals Inc.
To be reproduced only with written consent of Ciba Specialty Chemicals Inc.



A.2 Results of CIBA field trials in Thailand



Ciba® SMARTLIGHT™ RL 1000

"We will continue to replace all other films on roses with SMARTLIGHT whenever replacement is needed" affirms Jirada Hutasing, owner of Votif Rose farm in Thailand.

Dear Angela Wiss

Votif Rose farm is a family owned company that started producing cut flowers in 1995. Today they grow cut flowers on more than 6.4ha and work with plants from world famous breeders like Meiland, Rosen Tantau, Scheurs and others. In order to **meet the market demand of high-end quality flowers**, Jirida Hutasing covered 1500 rose plants of the variety "Saphir" with a 150 micron PE greenhouse film containing Ciba® SMARTLIGHT™ RL 1000. From October 2001 on, she compared the economical performance of the SMARTLIGHT greenhouse with her standard semi-close greenhouse as roses were collected weekly and sorted by quality class (top quality roses with 40 cm length being the most valuable).

"Already during the first weeks we could visually observe **bigger bulbs, stronger stems** and an **increase in productivity** under the SMARTLIGHT greenhouse. From October to December we measured more than 50% increase in productivity but we also saw that we had about 70% more roses of top quality" says Ms Hutasing.

During the following 12 months similar performance was monitored; a 39% increase in yield and a double amount of **top quality roses** were produced under SMARTLIGHT RL 1000 based film (see figure).

The additional investment cost for the incorporation of SMARTLIGHT into the greenhouse film was about 110 Euro, whereas it delivered an **increase in earnings** of 1800 Euro in 2002. Overall the revenue was increased by more than 60% using SMARTLIGHT RL 1000.

"We have obtained similar results on roses with different colors and we will continue to replace all other films on roses with SMARTLIGHT whenever replacement is needed" affirms Jirida Hutasing.

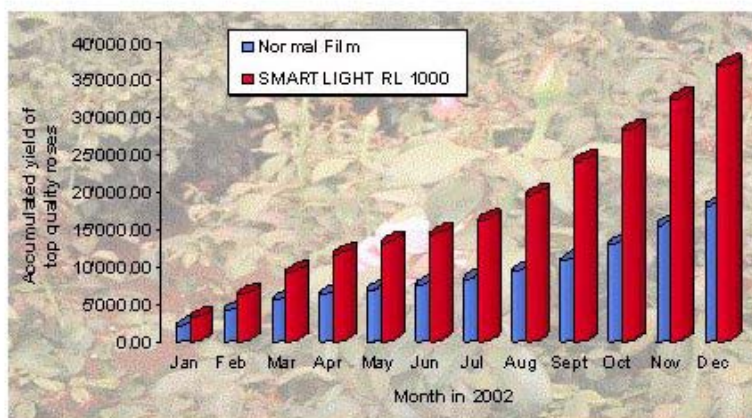


Figure: accumulated yield of top quality roses collected on 1500 plants in 2002.

Do you want to know more about Ciba® SMARTLIGHT™ RL 1000? Click here for more information:
<http://www.cibasc.com/smartlight>.

Or you can contact me directly at:
nicola.elli@cibasc.com

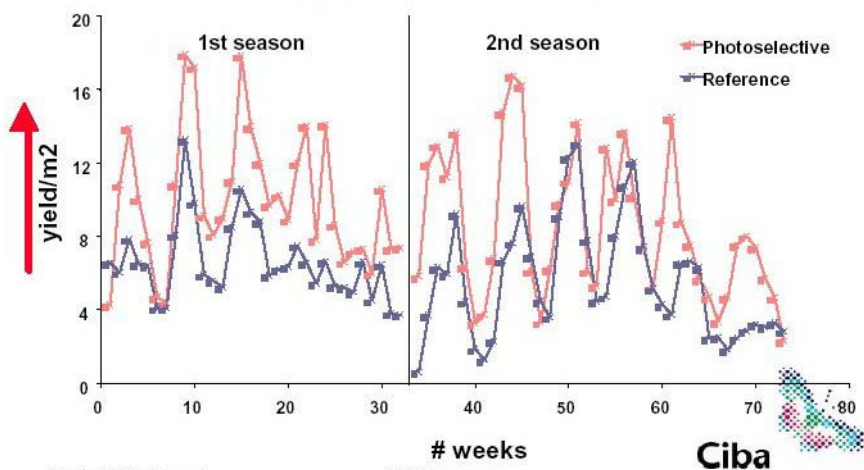
Kind regards
 Nicola Lelli
 Head Industry Segment Agriculture

-
- If you have questions or comments about this e-news, please click [Feedback](#).
 - If you would like to change your e-mail address or receive additional e-news on topics important to you, click [Profile update](#).
 - To stop receiving news releases by e-mail, click [Unsubscribe](#).
 - Copyright (c) 2003 Ciba Specialty Chemicals, www.cibasc.com

A.3 Results of CIBA field trials in Zimbabwe

LIGHT MANAGEMENT

Plastic containing the Photosensitive Additive – Crop : red roses
Production during 2 seasons in Zimbabwe



Plastic Additives Segment
CIBA SPECIALTY CHEMICALS Inc.

AVUP Symposium
Stellenbosch, 8-9 November, 2001

Ciba

LIGHT MANAGEMENT

Plastic containing the Photosensitive Additive – Crop : red roses
Production during 2 seasons in Zimbabwe



Design of Redhouse



Interior of Redhouse

Plastic Additives Segment
CIBA SPECIALTY CHEMICALS Inc.

AVUP Symposium
Stellenbosch, 8-9 November, 2001

Ciba

A.4 Effecten van materiaaleigenschappen op straling in de kas

Tabel 11 Kengetallen van verschillende materialen onder variërende stralingsomstandigheden

Seizoenen in Nederland	Heldere hemel				Bewolgingsgraad	Bedeekte hemel			
	air mass 1,0 = 90°	air mass 1,5 = 48.5°	air mass 2.0 = 30°	air mass 5.6 = 10°		cloud optical depth 3	cloud optical depth 10	cloud optical depth 30	cloud optical depth 100
	-	zomer	voorjaar / najaar	winter		zeer licht bewolkt	licht bewolkt	bewolkt	dicht bewolkt
Globale straling									
$\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$									
PAR	2253	1412	1000	244	PAR	1290	912	495	186
B	640	395	276	67	B	362	263	147	57
R	817	519	372	93	R	474	329	175	65
UV	208	121	82	20	UV	109	84	50	20
R:FR	1.08	1.09	1.09	1.11	R:FR	1.17	1.50	1.78	2.98
Glas									
$\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$									
PAR	1998	1251	886	215	PAR	1143	810	440	166
B	557	343	240	59	B	315	229	128	49
R	724	459	329	82	R	419	291	155	58
UV	130	77	53	14	UV	70	54	32	13
R:FR	1.11	1.11	1.12	1.12	R:FR	1.18	1.45	1.67	2.48
Smartlight 1									
$\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$									
PAR	1801	1131	802	196	PAR	1033	729	394	148
B	424	261	183	45	B	240	174	97	37
R	776	493	354	89	R	450	312	166	61
UV	121	71	49	12	UV	65	50	30	12
R:FR	1.20	1.20	1.21	1.23	R:FR	1.29	1.65	1.97	3.30
Smartlight 2									
$\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$									
PAR	1707	1073	761	186	PAR	980	690	373	140
B	367	227	159	39	B	208	151	84	32
R	788	501	359	90	R	457	317	169	62
UV	105	62	42	11	UV	56	43	26	11
R:FR	1.25	1.26	1.26	1.28	R:FR	1.34	1.73	2.06	3.44
Smartlight 3									
$\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$									
PAR	1654	1039	738	181	PAR	949	669	361	135
B	340	210	147	36	B	192	140	78	30
R	787	500	359	90	R	457	317	168	62
UV	97	58	39	10	UV	52	40	24	10
R:FR	1.27	1.28	1.28	1.30	R:FR	1.37	1.76	2.09	3.50

Seizoen in Nederland	Heldere hemel				Bewolkings- graad	Bedeekte hemel			
	air mass 1,0 = 90°	air mass 1,5 = 48.5°	air mass 2.0 = 30°	air mass 5.6 = 10°		cloud optical depth 3	cloud optical depth 10	cloud optical depth 30	cloud optical depth 100
	-	zomer	voorjaar / najaar	winter		zeer licht bewolkt	licht bewolkt	bewolkt	dicht bewolkt
Glas & Smartlight 1									
	$\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$								
PAR	1590	998	707	172	PAR	912	644	349	131
B	368	227	159	39	B	208	151	84	33
R	685	435	311	78	R	397	276	147	55
UV	79	47	32	8	UV	43	33	20	8
R:FR	1.23	1.24	1.24	1.24	R:FR	1.31	1.61	1.85	2.76
Glas & LS-10-Ultra-Plus scherm									
	$\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$								
PAR	1646	1031	730	177	PAR	942	667	362	137
B	453	279	195	48	B	256	186	104	40
R	600	381	273	68	R	348	242	129	48
Glas & LS-10-Ultra scherm									
	$\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$								
PAR	1523	954	675	164	PAR	872	617	335	127
B	418	258	180	44	B	236	172	96	37
R	556	353	253	63	R	322	224	119	44

A.5 Effecten van stralingskwaliteit op planten

Om de effecten van licht op de plantengroei te begrijpen is het noodzakelijk om de verschillende binnen de plant plaatsvindende fysiologische processen te volgen. De plant bevat verschillende fotoreceptoren welke selectief fotonen in het gebied van 320 tot 800 nm absorberen (MOHR en SCHOPFER 1978). In het algemeen is de functie van fotoreceptoren straling van gedefinieerde golflengtes te absorberen en deze straling voor een fotochemisch proces beschikbaar te stellen. Alle straling, welke van plantorganen niet geabsorbeerd wordt, kan ook niet fotochemisch effectief zijn (GROTTHUSS-DRAPER-LAW) (KLEIN 1978; RICHTER 1988). Niet alle organische moleculen in de plant reageren als fotoreceptoren. Proteïnen, nucleïnezuren, vetten en koolhydraten absorberen straling beneden de 320 nm zonder enige elektronische stimulatie (MOHR en SCHOPFER 1978).

Fotoreceptoren kunnen ingedeeld worden in massapigmenten en sensorpigmenten. Terwijl de plant relatief hoge hoeveelheden massapigmenten bevat, zijn maar geringe hoeveelheden sensorpigmenten nodig. De functies van de massapigmenten zijn (MOHR en SCHOPFER 1978):

- absorptie en transfer van energie voor de fotosynthese
- communicatie tussen plant en omgeving
- protectie tegen absorptie van niet gewenste straling

De functies van de sensorpigmenten kan worden beschreven door:

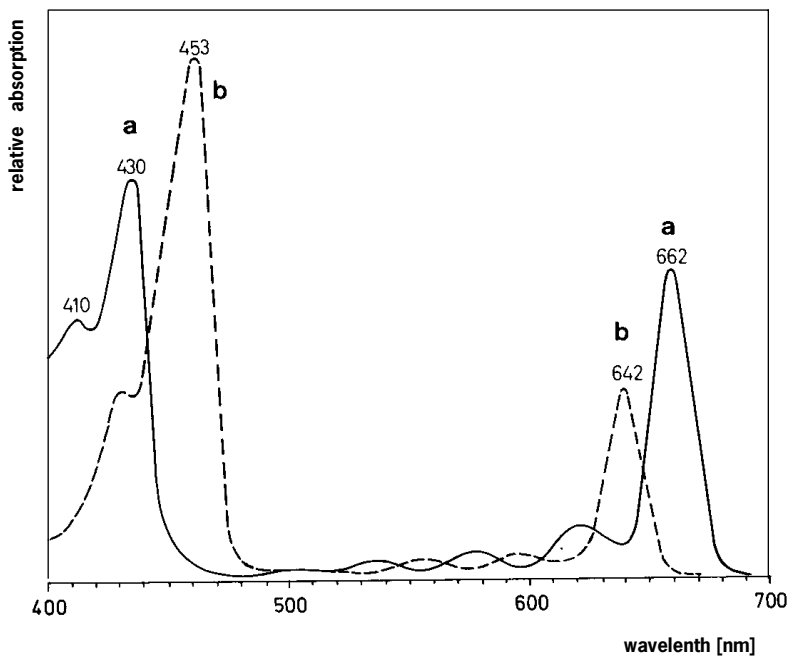
- beïnvloeding van de planten ontwikkeling en reproductie
- aanpassing van de plantenbeweging

Terwijl het effect van de massapigmenten in diversen modellen is beschreven, welke de hoeveelheid invallende fotonen vertalen naar plantengroei, is het effect van de sensorpigmenten nog niet duidelijk. Het effect van de sensorpigmenten is tot nu toe nog niet in groeimodellen vertaald.

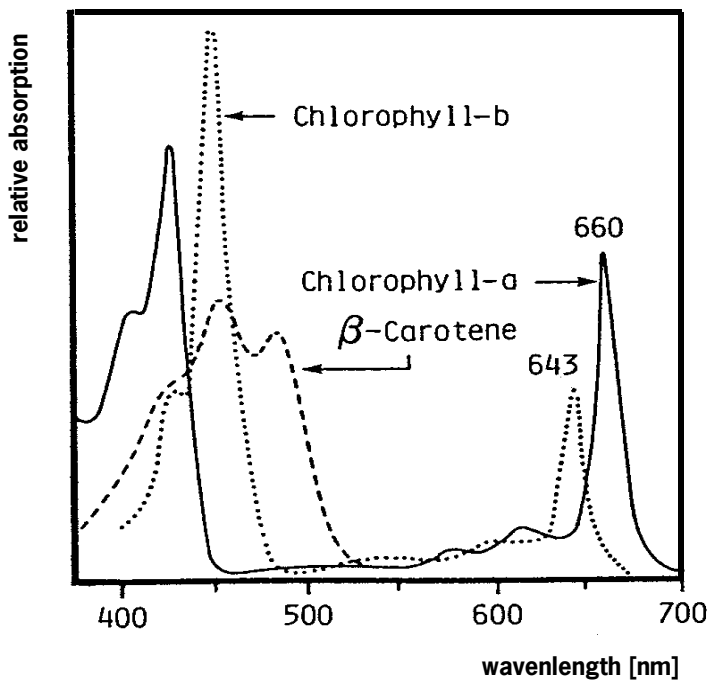
Chlorofylen en carotenoïden

Chlorofyllen en carotenoïden zijn voor de fotosynthese essentiële pigmenten. Ze zijn gebonden in de chloroplasten. Planten bevatten vooral chlorofyl a. De absorptie spectra van chlorofyl a en b laten beide een maximum absorptie bij blauw (430-470 nm) en rood (630-670 nm) zien, groene straling en ver-rode straling worden minder geabsorbeerd (Figuur 8). Echter de gemeten absorptiemaxima zijn afhankelijk van het oplosmiddel waarin het chlorofyl geëxtraheerd wordt. Bij een vergelijking van het absorptiespectrum van geëxtraheerd chlorofyl en van aan chloroplasten gebonden chlorofyl laat het laatste een verschuiving van het absorptiemaximum in rood naar langere golflengtes zien (RICHTER 1988).

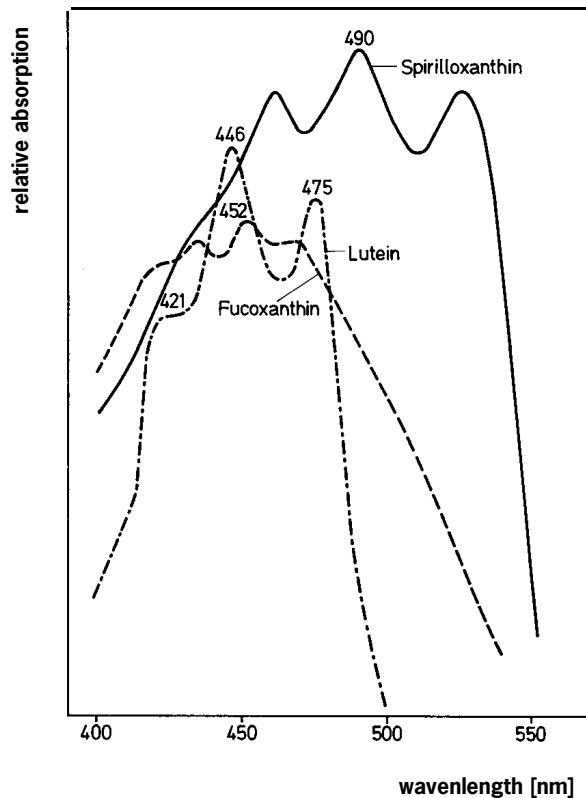
Planten bevatten ook carotenoïden, welke kunnen worden ingedeeld in caroteen en xanthofyl. Carotenoïden absorberen vooral blauwe en violette straling (380-500 nm). Hogere planten bevatten b-caroteen (Figuur 9) en het xanthofyl luteïne (Figuur 10). Carotenoïden komen gebonden in alle plastiden voor. In chloroplasten voorkomende carotenoïden leveren een bijdrage aan de fotosynthese en worden primaire carotenoïden genoemd. Secundaire carotenoïden zijn in de fotosynthetisch inactieve chromoplasten gelokaliseerd. Chromoplasten komen voor in verschillende vormen in alle gekleurde delen van de planten, bijvoorbeeld in bladeren en bloemen (RICHTER 1988).



Figuur 8 Absorptie spectrum van chlorofyll a en chlorofyll b in ether (RICHTER 1988)



Figuur 9 Absorptie spectrum van b-caroteen (ATTRIDGE 1990)



Figuur 10 Absorptie spectrum van luteïne (RICHTER 1988)

Anthocyanen en flavonen

Naast de in plastiden gebonden massapigmenten komen andere massapigmenten opgelost in de cellen van gekleurde plantendelen voor. Oplosbare pigmenten zijn anthocyanen en flavonen. Terwijl flavonen verantwoordelijk zijn voor een gele kleur, veroorzaken anthocyanen een blauwe, violet of rode kleur. Anthocyanen komen vooral in de vacuole van epidermiscellen voor. De kleur wordt bepaald door de chemische structuur. Bloemen kleuren zoals delphinidin, pelargonidin etc., horen bij de familie van de van de anthocyanen. Anthocyanen beschermen ook de bladeren en andere plantendelen tegen invloedfactoren uit de omgeving zoals temperatuur en straling (RICHTER 1988).

Kwaliteit en kwantiteit van de globale straling beïnvloeden de anthocyaan synthese. Rode en ver-rode straling kan de anthocyaan synthese veroorzaken, de hoeveelheid van nieuw aangemaakte anthocyaan is klein, een korte stralingsperiode is voldoende. Deze reactie is een zogenoemde low intensity reaction (LIR). Daarnaast kunnen ook ultraviolette straling en delen van de zichtbare straling een plantenreactie veroorzaken. De stralingsperiode moet dan langer zijn, de hoeveelheid geproduceerd anthocyaan is hoger. Deze high intensity reaction (HIR) is niet omkeerbaar intengendeel tot een LIR.

Als LIR of HIR reacties door rode en ver-rode straling veroorzaakt worden, is het phytochroom systeem hiervoor verantwoordelijk. In HIR reacties veroorzaakt door ultraviolette en blauwe straling neemt naast fytochroom ook een B/UV-A-receptor deel (MANCINELLI 1985). De

spectrale gevoeligheid van de anthocyaan synthese is verschillend in diverse planten soorten. MANCINELLI (1983) deelt de planten soorten in drie groepen in afhankelijk van de gevoeligheid voor UV-B, UV-A en blauwe, rode en ver-rode straling en de deelnemende fotoreceptoren:

- Groep I: anthocyaan synthese wordt veroorzaakt door ultraviolette, blauwe, rode en ver-rode straling, hoge effectiviteit van blauw en ver-rood.
- Groep II: anthocyaan productie wordt veroorzaakt door rode straling, soms door ultraviolet en blauw, maar niet door ver-rood, is afhankelijk van de fotosynthese.
- Groep III: anthocyaan formatie wordt veroorzaakt door lange instraling van ultraviolette en blauwe straling, hoge effectiviteit van UV-B.

Alle planten reacties, welke door stress inducerende UV-B straling veroorzaakt worden, behoren tot groep III. Stress-inducerende pigmenten kunnen ook identiek zijn aan beschermende pigmenten (WELLMANN 1985). Bijvoorbeeld wordt de eerste synthese van anthocyaan induceerd door de absorptie van UV-B straling, het dan geproduceerd anthocyaan beschermt vervolgens de plant door meer UV-B straling te absorberen en zo een fotochemische degradatie van biologisch belangrijke moleculen in de plant te voorkomen (WELLMANN et al. 1991). Anthocyanen en carotenoiden veranderen de kleur van plantenorganen en zijn daarom vooral interessant voor sommige sierplanten. Ook zijn er indicaties dat deze stoffen de gezondheid van de mens bevorderen (Duthie et al., 2000), daarom zijn ze interessant voor groenten. Er zijn verder indicaties dat de stress tolerantie van planten verhoogd wordt.

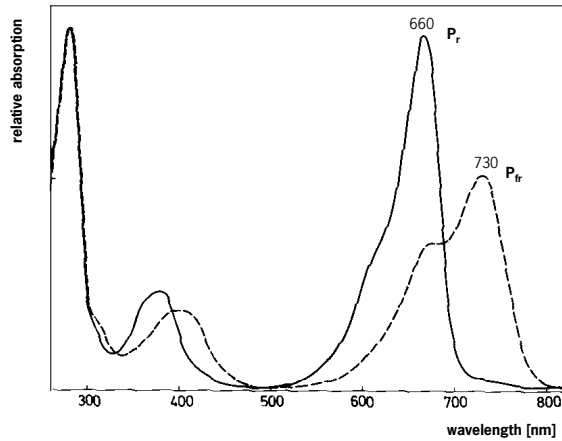
Fytochroom

Het fytochroomsysteem is het best onderzochte sensorpigment van hogere planten. Fytochroom is een blauw-groen gekleurd chromoproteïne dat in twee toestanden kan bestaan. Fytochroom wordt van de ene toestand in de ander toestand omgezet door straling van een specifieke golflengte. Het absorptie spectrum wordt weergegeven in Figuur 11. De eerste vorm heeft zijn absorptie maximum bij 660 nm (rood) in daarom aangegeven als P_r (= rood absorberend fytochroom). Rode straling zet de eerste vorm om in de tweede toestandsvorm, welke een absorptie maximum bij 730 nm heeft en daarom P_{fr} (= ver-rood absorberend fytochroom) wordt genoemd. Ver-rode straling zet de tweede vorm weer terug in de eerste toestand (RÜDIGER en THÜMLER 1994).

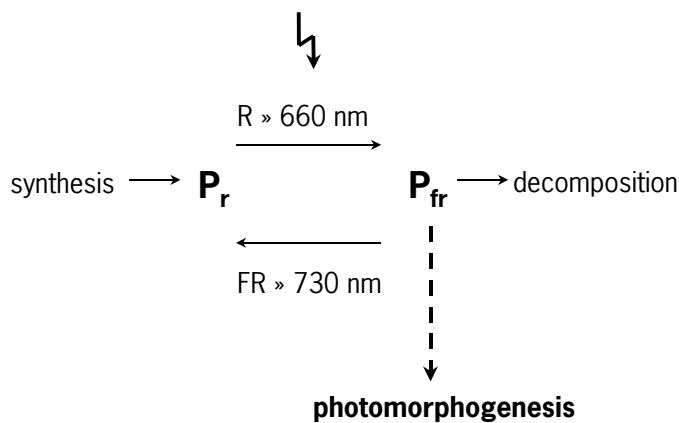
Deze omkeerbaarheid is een belangrijk kenmerk van het fytochroomsysteem. Een bepaalde verhouding van beide fytochroom vormen wordt door de samenstelling van rood en ver-rood in de globale straling gevormd, fysiologische processen worden zo beïnvloed. SMITH (1982) heeft waardes van 1,05-1,25 voor daglicht en waardes van 0,65-1,15 voor de schemering gevonden. De werkingswijze van fytochroom is in Figuur 12 schematisch weergegeven. Andere vormen tijdens het omzettingsproces van fytochroom worden gediscussieerd (RÜDIGER en THÜMLER 1994). In het donder is P_r is stabiel, terwijl P_{fr} niet stabile is, delen worden op korte termijn afgebroken, andere delen worden omgezet in P_r . P_r wordt in het cytoplasma onafhankelijk van de lichtkwaliteit aangemaakt (MOHR en SCHOPFER 1978).

Het pigment is ook in staat om straling in het gehele zichtbare gebied van het spectrum te absorberen (Figuur 11), verschillen in de absorptie in het UV-A gebied van de straling zijn opvallend. De deelname van fytochroom in processen, welke door ultraviolet en blauw worde gecontroleerd, is waarschijnlijk, ook ois de moleculaire reactie nog niet duidelijk (SENGER en SCHMIDT 1994). Ultraviolette en blauwe straling can blijkbaar fytochroom van de eerste vorm

P_r in de actieve vorm P_{fr} omzetten (MOHR 1994). Daarom kan vaak geen onderscheid worden gemaakt tussen effecten, welke door fytochroom en effecten, welke door andere sensor pigmenten veroorzaakt worden (MOHR en SCHOPFER 1978).



Figuur 11 Absorptie spectrum van fytochroom (extracted from *Avena-coleoptiles*) after irradiation or rood (- - -), ca. 85% P_{fr} en 15% P_r , en after irradiation van far-rood (—), ca. 100% (RÜDIGER en THÜMMLER 1994)



Figuur 12 Function van photochrome system (MOHR en SCHOPFER 1978)

B/UV-A receptor

Een ander fotoreceptor absorbeert blauwe en ultraviolette straling. Fysiologische B/UV-A reacties zijn al lang beschreven (SACHS 1864), maar het mechanisme van de reacties is nog niet exact bekend. Het absorptie spectrum van sommige B/UV-A reacties laat pieken in het blauwe gebied bij 420 nm, 450 nm en 480 nm en in het UV-A gebied bij 370 nm zien (SENGER en SCHMIDT 1994). De chemische structuur van zo een receptor is nog niet bekend, de deelname van een aan een membraan gebonden flavine en pteridine wordt verondersteld. In de literatuur wordt zo een B/UV-A receptor vaak cryptochroom genoemd (GRESSEL 1979). Echter stellen SENGER en SCHMIDT (1994) dat deze term niet correct is, omdat het duidelijk niet om een enkele photoreceptor gaat en omdat bekende actie spectra niet met het beschreven absorptie schema overeenkomen.

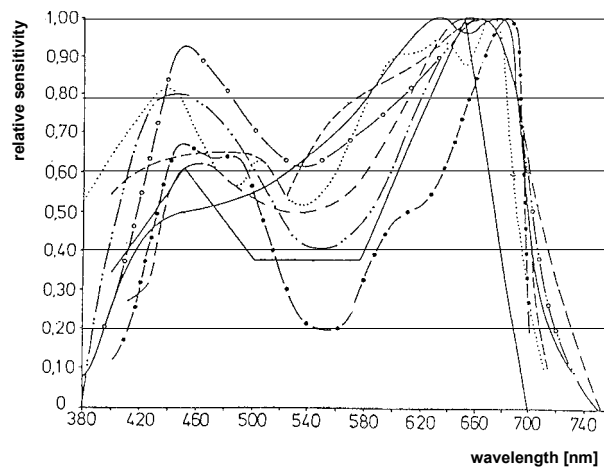
UV-B receptor

Naast fytochroom en een B/UV-A receptor, wordt verondersteld dat er een UV-B receptor bestaat, welke in staat is om straling beneden de 350 nm te absorberen en het absorptiemaximum bij 290 nm heeft (MOHR 1994). Bovendien wordt aangenomen dat de beschreven effecten niet specifiek door photoreceptoren na instraling van UV-B gecontroleerd worden, maar een resultaat van ongespecificeerde effecten na achteruitgang of vernietiging van cellen in fysiologisch belangrijke processen. Er kan moeilijk onderscheid worden gemaakt tussen fotomorfogenetische effecten en afbrekende effecten (WELLMANN 1983).

Interactie van fotoreceptoren

Massapigmenten

De absorptiespectra van massapigmenten, welke bijdragen aan de fotosynthese zijn beschreven, het verschil tussen de absorptie in vitro en in vivo wordt weergegeven. Verschillende planten soorten en rassen kunnen een verschillende gevoeligheid van de fotosynthetisch actieve pigmenten op licht kwaliteit tonen (Figuur 13). De fotosynthesemaxima liggen in het blauwe en rode gebied van het spectrum, maar het actiespectrum van de fotosynthese kan niet gegeneraliseerd worden. Fotosynthetisch actieve straling (PAR) is gedefinieerd als straling in het gebied van 400 to 700 nm. Omdat fotosynthese een kwantumgevoelig proces is, is het beter het aantal fotonen in $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ te monitoren dan de energie inhoud van de straling in $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ (zie ook hoofdstuk 2.1).



Figuur 13 Actiespectrum van de fotosynthese van diverse planten soorten (literatuur studie van GEUTLER en KROCHMANN 1979)

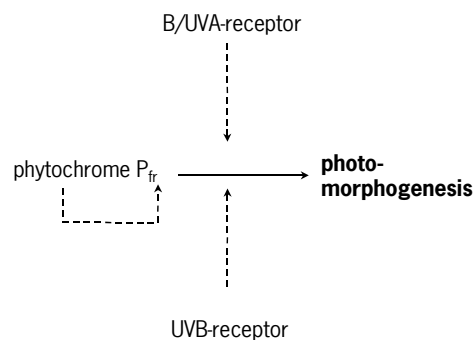
Sensorpigmenten

De interpretatie van fotomorfogenetische plantreacties op lichtkwaliteit en een strikte scheiding van de effecten van de verschillende sensorpigmenten is moeilijk, omdat noch de chemische structuur noch de exacte werking van de B/UV-A receptor en de UV-B receptor bekend is. Dezelfde fotomorfogenetische response kan worden vastgesteld in verschillende plantensoorten, zelfs in verschillende delen van dezelfde plant; aan de andere kant kunnen verschillende reacties in dezelfde plant worden vastgesteld. Dit maakt een interactie van fotoreceptoren waarschijnlijk.

Er bestaan twee theorieën over de interactie van de drie sensorpigmenten fytochroom, B/UV-A receptor en UV-B receptor (MOHR 1987):

1. De verschillende receptoren werken onafhankelijk van elkaar en veroorzaken misschien dezelfde response in de plant zonder een additieve reactie te vertonen.
2. De verschillende receptoren zijn afhankelijk van elkaar om een bepaalde response te veroorzaken.

De tweede theorie is bekend in de natuur (Figuur 14). Zo kon bijvoorbeeld de interactie van een UV-B receptor en fytochroom worden aangetoond voor de anthocyaansynthese in het mesocotyl van spruiten *Sorghum vulgare* en voor de flavonoidesynthese in *Petroselinum hortense* weefselcultuur. Zonder UV-B straling kon rode straling de beschreven effecten niet veroorzaken, een fytochroomeffect kon niet worden geconstateerd (DRUMM en MOHR 1978; WELLMANN 1974). Ook de interactie van een UV-B receptor en een B/UV-A receptor werd vastgesteld voor de anthocyaansynthese in *Sorghum vulgare* spruiten. Een multiplicatief effect van UV-B en B/UV-A werd aangetoond wat betreft de hoeveelheid anthocyaan, die werd geproduceerd in vergelijking met het effect van enkel UV-B of enkel B/UV-A (DRUMM en MOHR 1978).



Figuur 14 Interactie model van fytochroom, B/UV-A-receptor en UV-B-receptor (MOHR 1987)

Effecten van lichtkwaliteit op plantenfysiologie

Naast licht intensiteit, licht richting en de instralingduur, is lichtkwaliteit een belangrijke factor voor de fotomorfogenese. Veelvuldige informatie over de invloed van licht kwaliteit op de plantenfysiologie en plantenmorfologie kan in de literatuur worden verzameld (Tabel 12). Echter deze resultaten zijn meestal onder kunstmatige omstandigheden in klimaatruimtes en onder gebruik van kunstlicht verkregen. Zulk onderzoek is belangrijk om kennis over de fysiologische basis op te bouwen, desondanks zijn conclusies over de plantreactie onder natuurlijke omstandigheden meestal moeilijk. Speciaal in het UV gebied treden grote verschillen tussen effecten onder kunstlicht en natuurlijke UV straling op (KLEIN 1978; WELLMANN 1983). In het zichtbare gebied kunnen verschillen in de plantreactie worden vastgesteld afhankelijk van planten soorten en rassen (MANCINELLI 1983; ZIMMER 1989,1990).

Tabel 12 geeft een overzicht van de fysiologische en morfologische effecten die door verschillende golflengtes worden veroorzaakt. De meeste fysiologische effecten kunnen direct vertaald worden in zichtbare morfologische veranderingen bij de plant. Door ver-rode straling veroorzaakte effecten zijn complementair met rood effecten. Als een effect door een verhoging een bepaalde lichtkleur veroorzaakt wordt, betekent dat niet altijd dat hetzelfde effect bereikt kan worden door de andere lichtkleuren te verminderen. De totale samenstelling van alle lichtkleuren zal in de praktijk bepalen welk effect dit heeft op de plant en het gewas. Ook kunnen worden veel effecten in de literatuur beschreven, zo zijn is de vertaling naar de praktijk vaak nog onduidelijk. Er zou meer onderzoek verricht moeten worden naar effect van een andere samenstelling van het natuurlijke licht op de teelt.

Tabel 12 Effecten door licht kwaliteit

UVB straling (300-315 nm)

Fysiologische effecten

- reductie van de nettofotosyntheserate
 - reductie van de chlorofyl en carotenoïde inhoud
 - afbraak van de ultrastructuur van chloroplasten
 - verhoging van de respiratie in het donker
 - verhoging van de stomata weerstand, sluiten van de huidmondjes
 - reductie van de Hill-reactie, transport van elektronen
 - reductie van de RuBP-carboxylase, PEP-carboxylase
- reductie van eiwitten
- reductie van lipiden, wassen, koolstoffen (suiker, zetmeel)
- reductie van de membraan integriteit
- synthese van anthocyanen, flavonoiden
- afbraak van auxinen (activeren auxinoxidase)
- afbraak van abscisinszuur, reductie van giberellinezuur
- effect op iontransport
- reductie van celdeling, celverlenging
- Schade aan DNA

Morfologische effecten

- reductie van de stengelstrekking
- verhoging van de vertakking
- reductie van de apicale dominantie
- reductie van het bladoppervlak
- verhoging van de bladdikte
- verhoging van de succulentie
- verhoging van de drogestofgehalte
- reductie van de kieming

- vertraging bloeien

- Schade aan bladeren: chlorose, zilver en bronskleurige bladeren
- reductie van de opbrengst

(KLEIN, 1978; CALDWELL, 1981; TERAMURA, 1983, 1996;

Blauw straling (400-500 nm)

Fysiologische effecten

- verhoging van fotosynthese
 - synthese van chlorofyl
 - synthese van carotenoïde
 - synthese van chloroplasten
 - oriëntatie van de chloroplasten
 - opening van de huidmondjes, gestoord zonder blauw
 - synthese van enzymen
- verhoging van de eiwitsynthese
- verhoging van de enzymactiviteit (nitraatreductase, PAL)
- synthese van anthocyanen

Morfologische effecten

- reductie van de stengelstrekking

- effect op de kieming

- effect op bloeien

- phototropisme
- circadiaan ritme

(HART, 1988; SCHÄFER en HAUPT, 1983; ZEIGER, 1984;

Rood straling (600-700 nm)

Fysiologische effecten

- verhoging van de fotosynthese
 - synthese van chlorofyl
 - synthese van chloroplasten
 - synthese van RuBP-carboxylase
 - verhoging van het aantal huidmondje, opening van de s
- verhoging van de enzymactiviteit (nitraatreductase, PAL)
- zetmeel accumulatie in bladeren
- synthese van anthocyanen
- verhoging van de auxingehalte (remming van de auxinoxidase)

Morfologische effecten

- remming van de stengelstrekking
- stimulatie van de vertakking
- reductie van de apicale dominantie
- reductie van het bladoppervlak
- verhoging van de bladdikte, aantal palisadeparenchym cellen
- verhoging van de cuticuladikte

- promotion van de kieming
 - synthese van eiwitten
 - synthese van abscisinszuur, ethyleen
 - remming van de hypocotylgroei
 - opening van de hypocotylhaak
 - ontwikkeling van de primaire bladeren
 - synthese van chlorofyl, carotenoiden
 - synthese van anthocyanen

- effect op bloeien
 - remming bloeien van korte-dag-planten
 - promotie bloeien van lange-dag-planten

- phototropisme
- circadiaan ritme

(HART, 1988; SMITH en MORGAN, 1983; VINCE-PRUE, 1983;

A.6 Gebruikte setpoint instellingen voor energieberekeningen

A.6.1 Tomaat

KASCONSTRUCTIE			
Dimensies			
Akas:		40500	
Padbreedte:		3	
hGutter:		4.5	
Roofslope:		22.5	
Kapbreedte:		4	
Vakmaat:		4.5	
Eigenschappen			
Dekmateriaal:		enk_Venlo_400x450	
Luchtramen 1			
Windowlength:		2.25	
Windowheight:		1.1	
fr_Window:		0.0556	
VERWARMINGSNETTEN			
Ondernet			
Ondernettype:		51-er	
nLowPerKap:		5	
Bovennet			
Bovennettype:		28-er	
nUppPerKap:		2.5	
VERWARMINGSUNITS			
Ketel			
Pketel:		175	
Ketelverlies:		1	
eta_ketel:		95	
Vultemp:		95	
Condensor:		Ja	
WARMTEOPLAG			
Buffer			
Buffervolume:		120	
AlsBufVol:		stoppen	
GEWAS			
Gewas:		tomaat	
Plantdatum:		11-12	
Ruimdatum:		20-11	
SETPOINTS			
Temperatuur			
SpDag:	11/12	10/01	19
"	10/01	31/03	19
"	31/03	20/11	18
"	20/11	11/12	5
SpNacht:	11/12	10/01	19
"	10/01	31/03	16.5
"	31/03	20/11	17
"	20/11	11/12	5
SpVoornacht:			0
EindVoornacht:			23.75
DodeZone:	11/12	15/01	2
"	15/01	15/03	1
"	15/03	01/10	0.5
"	01/10	20/11	1
"	20/11	11/12	20
LichtVbeg:			100
LichtVend:			300
LichtV:	11/12	10/01	1
"	10/01	31/03	2
"	31/03	20/11	1.5
"	20/11	11/12	0


```

V o c h t
SpRV:                85
C O 2
SpCO2:              11/12  20/11  1000
"                   20/11  11/12  200
CO2bron:            ketel
kgCO2:              180
L u c h t r a m e n 2
Vorstgrens:        -1
WinLeeMin:          0
WinWhetMin:         0
WinLeeMax:          100
WinWhetMax:         100
MaxWin:             40
B u i z e n
MinBuisDag:         11/12  20/11  35
"                   20/11  11/12  0
MinBuisNacht:       11/12  20/11  35
"                   20/11  11/12  0
TLowMax:            80
TUpMax:             80

```

SCHERM

```

Scherm:              15/09  01/05  Ja
"                   01/05  15/09  Nee
Schermtype:          SLS10_ultra_plus
S e t p o i n t s 2
IGlobOpen:          1
TbuitMax:           11/12  15/02  7
"                   15/02  11/12  5
MaxTexcess:         1.5
RVtovSpRV:          -0.5
MaxVochtKier:       4

```

Extra parameters tomat in de runfiles

case	std	plus_sls	plus_sml	max_sls	max_sml
vastekier	1	0	0	0	0
schermtype	SLS10_ultra_Plus	SLS10_ultra_Plus	Smartlight_05	SLS10_ultra_Plus	Smartlight_05
Maxschermen				yes	yes
IGlobOpen				400	400
TbuitMax				45	45
Scrfile				none	none
MaxTexcess				1.5	1.5
RVtovSpRV				0	0
Maxvochtkier				100	100

A.6.2 Paprika

KASCONSTRUCTIE

Dimensies	
Akas:	39010
Padbreedte:	3
hGutter:	4.5
Roofslope:	22.5
Kapbreedte:	4.00
Vakmaat:	4.5
Eigenschappen	
Dekmateriaal:	enk_Venlo_400x450
Luchtramenn	
Windowlength:	2.25
Windowheight:	1.2
fr_Window:	.0556

VERWARMINGSNETTEN

Ondernet	
Ondernettype:	51-er
nLowPerKap:	5
Bovennet	
Bovennettype:	28-er
nUppPerKap:	2.5

VERWARMINGSUNITS

Ketel	
Pketel:	150
Ketelverlies:	1
eta_ketel:	95
Vultemp:	95
Condensor:	Ja

WARMTEOPSLAG

Buffer	
Buffervolume:	100
AlsBufVol:	stoppen

GEWAS

Gewas:	paprika
Plantdatum:	25-11
Ruimdatum:	7-11

SETPOINTS

Temperatuur			
SpDag:	25/11	16/12	21.5
"	16/12	06/01	21.5
"	06/01	27/01	21
"	27/01	07/11	20
"	07/11	25/11	5
SpNacht:	25/11	16/12	21.5
"	16/12	06/01	19
"	06/01	27/01	17.5
"	27/01	07/11	18
"	07/11	25/11	5
SpVoornacht:	0		
EindVoornacht:	23.75		
DodeZone:	25/11	16/12	5
"	16/12	06/01	3
"	06/01	27/01	2
"	27/01	07/11	1.5
"	07/11	25/11	25
LichtVbeg:	100		
LichtVend:	300		
LichtV:	2		
Vocht			
SpRV:	87		
CO2			
SpCO2:	25/11	7/11	1000
"	7/11	25/11	100

CO2bron: ketel
 kgCO2: 180

L u c h t r a m e n 2

Vorstgrens: -1
 WinLeeMin: 0
 WinWhetMin: 0
 WinLeeMax: 100
 WinWhetMax: 100
 MaxWin: 45

B u i z e n

MinBuisDag: 25/11 07/11 35
 " 07/11 25/11 0
 MinBuisNacht: 25/11 07/11 35
 " 07/11 25/11 0
 TLowMax: 70
 TUpMax: 70

SCHERM

Scherm: 1/06 1/09 Nee
 " 1/09 1/06 Ja
 Schermtype: SLS10_ultra_plus
 S e t p o i n t s 2
 IGlobOpen: 25/11 05/12 1000
 " 05/12 15/01 100
 " 15/01 01/03 15
 " 01/03 25/11 5
 TbuitMax: 10
 MaxTexcess: 1.5
 RVtovSpRV: -0.5
 MaxVoechtKier: 4

Extra parameters paprika in de runfiles

case	std	plus_sls	plus_sml	max_sls	max_sml
vastekier	1	0	0	0	0
schermtype	SLS10_ultra_Plus	SLS10_ultra_Plus	Smartlight_05	SLS10_ultra_Plus	Smartlight_05
Maxschermen				yes	yes
IGlobOpen				400	400
TbuitMax				45	45
Scrfile				none	none
MaxTexcess				1.5	1.5
RVtovSpRV				0	0
Maxvochtkier				100	100