

50552469-KPS/MEC 05-9409

Elektrische folieschermen Overzicht van bestaande systemen en toekomst visie

Arnhem, 2 december 2005

Auteurs M. Schreurs, G.J. Swinkels
KEMA Power Generation & Sustainables, Wageningen UR Agrotechnology & Food
Innovations



In opdracht van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit



Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit



auteur : M. Schreurs	05-12-02	beoordeeld : F.B. Rasing	05-12-
B 61 blz.	1 bijl. WSc	goedgekeurd : C.A.M. van den Ende	05-12-



© KEMA Nederland B.V., Arnhem, Nederland. Alle rechten voorbehouden.

Dit document bevat vertrouwelijke informatie. Overdracht van de informatie aan derden zonder schriftelijke toestemming van of namens KEMA Nederland B.V. is verboden. Hetzelfde geldt voor het kopiëren van het document of een gedeelte daarvan.

KEMA Nederland B.V. en/of de met haar gelieerde maatschappijen zijn niet aansprakelijk voor enige directe, indirecte, bijkomstige of gevolgschade ontstaan door of bij het gebruik van de informatie of gegevens uit dit document, of door de onmogelijkheid die informatie of gegevens te gebruiken.

INHOUD

blz.

Samenvatting	5
1 Inleiding	6
2 Lichtbehoefte van gewassen	7
2.1 Algemeen.....	7
2.2 Gewasgroepen	8
2.2.1 Vruchtgroenten	8
2.2.2 Bladgroenten	10
2.2.3 Snijbloemen	10
2.2.4 Potplanten.....	14
3 Inventarisatie lichtregelsystemen.....	17
3.1 Scherm	17
3.1.1 Buitenscherm.....	17
3.1.2 Energiescherm.....	18
3.1.3 Zonweringscherm	18
3.1.4 Verduisteringsscherm	20
3.1.5 Scherm om lichtuitstoot te voorkomen.....	20
3.1.6 Combi- of duoscherm	21
3.2 Krijten.....	22
4 Eisen optimaal lichtregelsysteem	23
4.1.1 Regelbare lichtintensiteit.....	24
4.1.2 Vermindering warmtetoetreding in de zomer.....	24
4.1.3 Verduisteren en voorkomen van lichtuitstoot.....	25
4.2 Gewasspecifieke eisen	26
4.2.1 Vruchtgroenten	26
4.2.2 Bladgroenten	26
4.2.3 Snijbloemen	27
4.2.4 Potplanten.....	27
4.3 Samenvatting.....	28
5 Elektrisch schakelende systemen.....	31
5.1 Electrochroom.....	31

5.2	Liquid Crystal (LC).....	32
5.3	Polymer Dispersed Liquid Crystal (PDLC).....	34
5.4	Foto- en thermochromatografie	34
6	Bestaande Lichtregelsystemen.....	36
6.1	Eisen gesteld aan bestaande systemen	36
6.2	Bestaande lichtregelsystemen.....	37
6.3	Mogelijke leveranciers	40
6.3.1	Chromogenics.....	40
6.3.2	Transition	40
6.3.3	Vision	41
6.4	Discussie	43
6.5	Conclusie	44
7	Toekomstige lichtregelsystemen	45
7.1	Eisen toekomstig lichtregelsysteem.....	45
7.2	Rijks Universteit Groningen	48
7.3	Universiteit van Cincinatti	49
7.4	Vision	50
7.5	Toekomstige systemen voor de Zig-Zag kasdek	50
7.6	Toekomstige systemen voor het klimrek energiescherm.....	51
7.7	Discussie	52
8	Conclusie	54
9	Aanbevelingen	57
Bijlage A	Benaderde leveranciers.....	60

SAMENVATTING

In de glastuinbouw heeft licht een grote invloed op het productieproces van gewassen (zoals groenten, bloemen en potplanten). Gedurende de winter is voor een aantal gewassen extra licht gewenst, welke wordt verkregen met assimilatieverlichting gedurende de nacht. In de zomer is de warmte, veroorzaakt door zonlicht, vaak te hoog. Omdat naar verwachting in 2007 een wet van kracht wordt, welke lichtvervuiling gedurende de donkerteperiode (nacht) verbiedt, zijn glastuinbouwers op zoek naar een oplossing voor lichtvervuiling. In het ideale geval wordt deze oplossing gecombineerd met een lichtregelsysteem voor de zomer.

KEMA en A&F zijn in opdracht van het productschap tuinbouw op zoek gegaan naar een oplossing voor dit probleem. Allereerst is voor verschillende gewassen een eisenpakket opgesteld, waaraan een schakelend systeem moet voldoen om rendabel te worden toegepast in de glastuinbouw. Dit pakket van eisen is versoepeld (ter bevordering van een goed marktoverzicht) en vertaald in een vragenlijst. Deze vragenlijst is voorgelegd aan leveranciers van schakelende systemen.

Momenteel zijn er verschillende elektrisch schakelende systemen (veelal ramen) op de markt verkrijgbaar. Al deze systemen hebben als kenmerk dat ze met een druk op de knop kunnen schakelen van kleurloos naar gekleurd. Dit kan een mogelijke oplossing zijn voor het gestelde probleem. Of een dergelijk systeem geschikt is hangt onder andere af van de lichttransmissie in gekleurde en kleurloze toestand, prijs, toepasbaarheid, levensduur en isolatie eigenschappen. Uit de verzamelde gegevens blijkt dat de bestaande systemen niet toepasbaar zijn. Maar er kunnen systemen worden ontwikkeld, welke specifiek voldoen aan de eisen van de glastuinbouw. Ook toepassing in Zig-Zag kassen kan tijdens de ontwikkeling worden meegenomen.

De tijd om een dergelijk systeem te ontwikkelen zal echter nog jaren in beslag nemen. Het voorstel is daarom om in het vervolg van dit project een uitgebreide haalbaarheidsstudie naar de ontwikkelingstrajecten voor nieuwe lichtregelsystemen uit te voeren, welke specifiek voldoen aan de eisen van de glastuinbouw. Middels een workshop zullen de eisen, wensen en mogelijkheden voor een nieuw systeem worden opgesteld. Dit zal worden vertaald in een plan van aanpak om de ontwikkeling en productie van het systeem te realiseren.

1 INLEIDING

In de glastuinbouw heeft licht een grote invloed op het productieproces van gewassen (zoals groenten, bloemen en potplanten). Gedurende de winter is voor een aantal gewassen extra licht gewenst, welke wordt verkregen met assimilatieverlichting. In de zomer is de warmte, veroorzaakt door zonlicht, te hoog. In de zomer wordt de hoeveelheid warmte/licht in de kas geregeld door te krijten of gebruik te maken van schermen. Knelpunten die zich voordoen bij lichtregulatie in de kas zijn:

- bij assimilatieverlichting:
 - milieuproblemen; nadelige beïnvloeding op mens en dier door lichtvervuiling in de omgeving. Dit leidt tot imago-problemen voor de sector
 - lichtvervuiling; uittredend licht betekent tevens energieverlies
 - tussen 1 september en 1 mei is lichtvervuiling niet toegestaan tussen 20:00 en 24:00
- bij teveel zonlicht:
 - als de temperatuur te hoog oploopt, moet de kas belucht worden en vermindert de efficiëntie van CO₂ gebruik voor groeiversnelling. Door het beluchten wordt ook de luchtvochtigheid beïnvloed
 - kassen die gekrijt zijn, laten te weinig licht door bij bewolkt weer
 - het reinigen van de gekrijte beglazing (ontkalken) voor de teelt van nieuwe gewassen.

In de glastuinbouw is daarom een systeem gewenst, dat lichtinval, automatisch regelt. Dit resulteert in een efficiënt gebruik van de kas.

Omdat naar verwachting in 2008 een wet van kracht wordt (AmvB norm), welke lichtvervuiling gedurende de donkerteperiode (nacht) verbiedt, zijn glastuinbouwers op zoek naar een oplossing voor lichtvervuiling. Natuurlijk is dan de makkelijkste oplossing niet belichten gedurende de nacht, maar dit heeft een negatieve invloed op de productie, resulterend in negatieve gevolgen voor de concurrentiepositie van glastuinbouwers. Daarom is er gezocht naar een oplossing welke belichting gedurende de nacht mogelijk maakt, zonder drastische verstoring van het kasklimaat. In het ideale geval wordt dit systeem gecombineerd met een lichtregelsysteem voor de zomer.

Huidige systemen, zoals beschreven in hoofdstuk 3, voldoen niet aan deze wensen. Daarom is er onderzoek gedaan naar de toepassing van elektrisch schakelbare systemen ter regulering van het licht binnen en buiten de kas. In hoofdstuk 6 en 7 staan dergelijke systemen beschreven.

2 LICHTBEHOEFTE VAN GEWASSEN

2.1 Algemeen

De teksten in dit rapport zijn gedeeltelijk overgenomen uit het rapport "Optimaal gebruik van natuurlijk licht in de glastuinbouw" (HEMMING, 2004).

Natuurlijk licht is een belangrijke factor met betrekking tot de groei en ontwikkeling van planten. Licht dient als energiebron voor de omzetting van CO₂ in suikers en andere koolhydraten (fotosynthese). Naast energie levert licht ook informatie aan de plant over de standplaats, het tijdstip van de dag en het seizoen. Het initieert of remt processen met betrekking tot plantanatomie, bloei en vruchtzetting (fotomorfogenese). Deze licht gestuurde processen zijn van belang voor het overleven van de plant.

- Over het algemeen geldt dat een hoge lichtdoorlatendheid van de kas de gewasontwikkeling en -productie bevordert. In de zomer kan het selectief wegvangen van lichtpieken nuttig zijn voor sommige gewassen.
- Er zijn verschillen in lichtefficiëntie tussen gewassen maar deze zijn beperkt, zeker wanneer alleen gekeken wordt naar de lichtefficiëntie in de winter. De lichtefficiëntie is in de winter namelijk veel groter terwijl ook de productprijs normaal gesproken hoger ligt dan in de zomer. Dit maakt dat lichtwinst in de winter belangrijker is dan in de zomer.
- Bij een lagere lichtintensiteit neemt de efficiëntie van de lichtbenutting van het gewas toe.
- Gedeeltelijke omvorming van blauw naar rood licht zou gunstig kunnen zijn voor de fotosynthese efficiëntie, maar onvoldoende bekend is wat de morfogenetische effecten daarvan zijn.
- In de praktijk wordt de daglengte bij een aantal daglengtegevoelige gewassen volledig gestuurd via (daglengte)belichting en verduistering.
- Veel plantensoorten hebben een minimale hoeveelheid blauwlicht nodig voor een normale plantontwikkeling. Deze behoefte verschilt per soort en varieert van 5-30 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. In Nederland wordt aan deze behoefte voldaan door natuurlijk licht, ook in de winter periode. Het selectief verminderen van een overmaat aan blauwlicht kan de bladontwikkeling van jonge planten positief beïnvloeden.
- Het selectief wegschermen van rood licht, waardoor de rood/verrood verhouding afneemt, kan mogelijk worden toegepast om de vorming van zijscheuten en pluizen te verminderen. Dit effect kan mogelijk ook worden bereikt door het verlengen van de dag met verrood stuurlicht.
- Bij het beïnvloeden van de lichtkwaliteit moet rekening gehouden worden met negatieve effecten op productie door vermindering van de totale lichthoeveelheid.

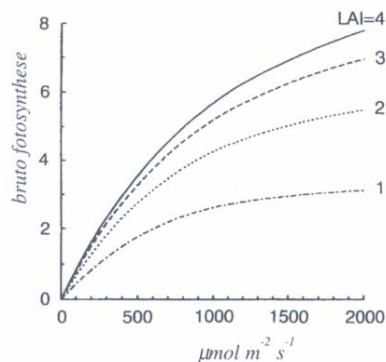
2.2 Gewasgroepen

2.2.1 Vruchtgroenten

Tomaat

Tomaat is een zeer lichtbehoefstig gewas waarbij de productie ook midden in de zomer nog sterk afhankelijk is van de beschikbare hoeveelheid licht. Bij de tomaat is het bladoppervlak bepalend voor de lichtonderschepping. Bij een open (jong) gewas geldt hoe groter het bladoppervlak hoe meer licht er wordt opgevangen en hoe sterker de groei zal zijn.

Bij een gesloten (ouder) gewas valt al het inkomende licht op de bladeren en slechts weinig licht bereikt de grond. In een dergelijke situatie is de groei niet meer afhankelijk van het bladoppervlak maar van de lichthoeveelheid die de bladeren bereikt en leidt meer licht tot een hogere groeisnelheid. Dit is weergegeven in figuur 1. Bij zomerse daglichtintensiteiten van 1600-1700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ wordt lichtverzadiging nog niet bereikt. De vruchtgroei wordt dan afhankelijk van de energie die nodig c.q. beschikbaar is voor het in standhouden van het gewas, verjonging en de lengtegroei. De rol hierbij van de lichtverdeling over het beschikbare bladpakket ofwel de lichtdoordringing in het gewas (bladgrootte, bladstand, plantafstand en teeltsysteem), is nog een punt van onderzoek.



Figuur 1 Bruto gewasfotosynthese ($\text{g CO}_2 \text{m}^{-2} \text{uur}^{-1}$) van tomaat in relatie tot de lichtintensiteit bij verschillende LAI waarden (Gijzen, 1995)

De groei en productie van de tomaat worden vergroot door een hogere lichtsom, meer licht en langere daglengten, hoewel over de optimale daglengte bij tomaat geen duidelijkheid bestaat. Wel is een bepaalde donkerperiode gunstig voor de celstrekking.

In de winter, tussen week 44 en week 5, ligt de lichthoeveelheid in Nederland beneden de minimum lichtbehoefte van tomaat van $8-10 \text{ mol m}^{-2} \text{ dag}^{-1}$. Het in stand houden van de plant en de vegetatieve groei vraagt onder die omstandigheden, ook bij de minimale temperatuur, relatief veel assimilaten zodat er dan weinig resteert voor vruchtgroei.

De verhouding blauw/rood licht heeft invloed op zowel de bladgrootte als op de afstand tussen de bladeren.

Tomaten worden geteeld in venlo-kassen met een hoge pothoogte. De planten worden aan draden geteeld tot een lengte van vele meters, waarbij men de kop van de plant geregeld laat zakken om te zorgen dat ze rechtop kunnen blijven doorgroeien (hoge draad systeem).

In de kas wordt CO_2 gedoseerd om de groei te bevorderen. Bij gesloten ramen wordt gedoseerd tot een niveau van ca. 1000 ppm, een niveau dat bij opening van de luchtramen geleidelijk wordt verlaagd naar het buitenniveau van circa 400 ppm. Men streeft ernaar om gedurende de gehele dag rookgassen te doseren.

In de aanloopfase van de teelt, de periode van december tot februari, wordt soms een schermfolie gebruikt om de relatieve vochtigheid (RV) op peil te kunnen houden. In de zomer worden daksproeiers ingezet om de kastemperatuur te drukken. Dit heeft geen nadelige gevolgen voor de lichtintensiteit.

Stuurlicht wordt in de tomatenteelt niet toegepast.

De grootte van de tomaten wordt sterk bepaald door de teelttemperatuur. Hiervoor houdt de praktijk een optimum aan van circa $19 \text{ }^\circ\text{C}$, en een minimum van circa $16 \text{ }^\circ\text{C}$. In de winter is deze minimumtemperatuur te hoog voor de beschikbare hoeveelheid licht, $2-4 \text{ mol m}^{-2} \text{ dag}^{-1}$, de vegetatieve groei gaat echter door zodat er weinig assimilaten overblijven voor de vruchtgroei.

Om de klanten wel jaarrond te kunnen gaan bedienen wordt sinds twee jaar geëxperimenteerd met assimilatiebelichting. Hierbij gaat het om een hoge, additionele belichtingsintensiteit van $120 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ of meer, gedurende 12-18 uur per etmaal. Onder omstandigheden van een langere lichtperiode met een beperkte lichtsom lijkt het lastig om het juiste evenwicht te vinden tussen de vegetatieve en generatieve groei van het gewas, het gewas krijgt de neiging te vegetatief te worden.

Paprika

De teelt richt zich op een gelijkmatig verlopende productie in de tijd met een maximaal gewicht aan onrijpe of rijpe vruchten die individueel worden geoogst. Gelijkmatigheid van de productie in de tijd en het maximaliseren van de productie is helaas nog onbereikbaar.

Evenals de tomaat is de paprika een zeer lichtbehoefstig gewas. Ze wordt echter algemeen als een dagneutrale plant aangemerkt. Een daglengte langer dan 20 uur geeft ondanks meer licht geen hogere productie meer. Bij een daglengte van 16 uur geeft het gewas de grootste vruchten.

De teeltwijze is grotendeels vergelijkbaar aan die van tomaat, hoewel bij paprika meer gebruik wordt gemaakt van schermfolie.

2.2.2 **Bladgroenten**

Sla, andijvie

Bladgroenten zoals sla en andijvie zijn energie-extensieve gewassen die niet op substraat maar in de volle grond worden geteeld. De verwarming van de kas is eenvoudig. Ongeveer 80% van de bedrijven heeft uitsluitend heteluchtkanonnen en/of heteluchtkachels.

Algemeen geldt voor bladgroenten dat hogere lichtintensiteiten gedurende de dag leiden tot een verhoogde fotosynthese en een hogere groeisnelheid. Hoge lichtintensiteiten in de zomer kunnen echter leiden tot hoge (nacht)temperaturen en te hoge verdamping van de buitenste bladeren. Het dek krijten of gebruik van zomerscherm in combinatie met broezen kan bepaalde problemen helpen voorkomen.

Stuurlicht wordt niet toegepast bij bladgroenten.

2.2.3 **Snijbloemen**

Chrysant, roos, gerbera

In de snijbloementeel wordt gestreefd naar een maximaal aantal takken van een bepaald taggewicht. Om dit te bereiken wordt een plantafstand aangehouden die afhangt van de beschikbare lichthoeveelheid. Het tijdstip van bloei-inductie en de trosvorm wordt geheel bepaald door de daglengte die via verduistering en/of belichting wordt aangehouden.

De fotosynthese efficiëntie neemt af bij toenemende lichtintensiteit. De lichtefficiëntie wordt echter mede bepaald door het spectrum waarmee de planten belicht worden en door het lichtspectrum waaronder de planten zijn opgegroeid. De fotosynthese-efficiëntie is hoger bij planten die zijn opgegroeid onder daglicht dan onder lamplicht (in groeikamers).

Een uniforme lichtverdeling over het gewas is een voorwaarde om, voor de voet, een heel vak ineens te kunnen oogsten. De plantafstand wordt aangepast aan de beschikbare lichthoeveelheid per seizoen. De plantdichtheid is dusdanig dat het volgroeide blad van de takken elkaar raakt.

Chrysant

Chrysant is een korte-dag plant. In het begin van de teelt krijgen de planten een lange dag om ze vegetatief te houden. In de lange-dag fase wordt het aantal bladeren aangelegd dat nodig is voor uitgroei tot de gewenste taklengte. Bij gebruik van assimilatiebelichting wordt in de lange dag meestal rond de 20 uur belicht. Daarna wordt de daglengte verkort tot circa 11 uur waarbij knopvorming wordt geïnduceerd. De korte-dag behandeling in de zomer wordt bereikt door het verduisteringsscherm in de vroege ochtend en latere avonden te sluiten. De lichtperiode wordt daarmee ingeperkt tot een lengte van 11 uur. De lange-dag in de winter wordt gerealiseerd met een lage intensiteitbelichting die tijdens de nacht vier uren onderbroken wordt. Hierbij zijn de planten het gevoeligst in het rode deel van het spectrum.

Een toenemend aantal bedrijven past in de winter assimilatiebelichting toe. In de lange-dag fase 20 uur per dag, in de korte-dag fase 11 uur per dag. Hiermee blijft het takgewicht en het productieniveau in de winter beter op peil. De gebruikte intensiteiten liggen tussen de 45 en 80 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Roos

In de teelt wordt gestreefd naar een maximaal aantal takken met een vast gewicht, in combinatie met een goede lengte-dikte verhouding van de tak. Een energiescherm wordt toegepast om donkere verkleuring van de knop te voorkomen, wanneer de knoptemperatuur 's nachts te ver daalt.

Er wordt belicht met steeds hogere intensiteiten, tussen de 40 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en 120 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Gebruikte lamptype is SON-T. Belicht wordt gedurende 18 à 20 uur per etmaal; een donkerperiode 's avonds van 20 tot 24 uur is verplicht middels verordeningen om lichtuitstoot te verminderen. Een langere belichtingsduur, tot 24 uur, zorgt voor een hogere productie, maar voor verminderde na oogst kwaliteit (te hoge verdamping tijdens het vaasleven). Een donkerperiode van vier uur wordt als minimum beschouwd om de na oogst problemen te voorkomen. Om lichtuitstoot te verminderen worden zijschermen toegepast aan de binnen of

buitenzijde van de kas. Soms worden aanwezige bovenschermen, zonwerings- of energieschermen, gesloten als de belichting is ingeschakeld. Een specifieke daglengtebelichting wordt bij roos (daglengteneutraal) niet toegepast.

Voor vele soorten snijbloemen die meerdere malen worden geoogst is een hoge lichtintensiteit en een lange lichtperiode gewenst. Voor sommige cultivars van roos kan de productie (+14%) en de kwaliteit (takgewicht) worden gestimuleerd door de belichtingsperiode te verlengen tot 24 uur (assimilatielicht). De kwaliteitsverbetering is direct gerelateerd aan de verlenging van de lichtperiode (of de verhoging van de lichtsom) onafhankelijk van de spectrale verdeling.

In de winter is er te weinig licht om een juiste temperatuurlichtverhouding aan te houden. Bij rozen is de minimumtemperatuur circa 14° C (afhankelijk van de cultivar). Zelfs bij een teelttemperatuur van 16° C is er in Nederlandse kassen te weinig natuurlijk licht voor een goede productie en kwaliteit.

Voor de lichtintensiteit zijn geen bovengrenzen aan te geven wat betreft de fotosynthese: lichtverzadigingscurves van roos tonen aan dat onder Nederlandse omstandigheden, wanneer CO₂, water en voeding niet limiterend zijn, de fotosynthese nog niet op maximale capaciteit loopt. Een hoge lichtintensiteit kan wel bleke bloemen veroorzaken bij gele en lichtrode cultivars.

De ondergrens is uiteraard afhankelijk van de tijdsduur van de laag-licht periode, en de dan heersende temperatuur. In Nederlandse winters is niet voldoende daglicht om de gewenste takdikte in stand te houden. De minimumlichtintensiteit (praktijkervaring) voor een teelt bij 18 - 20 °C is circa 60 μmol m⁻² s⁻¹ gedurende 18 uur per dag. Dit komt neer op een lichtsom van circa 3,8 mol m⁻² dag⁻¹. Voor een optimale productie zijn lichtsommen van hoger dan 30 mol m⁻² d⁻¹ nodig.

De lichtkleur kan effect hebben op het uiterlijk en dus de kwaliteit van de rozen. Rozen onder een kunststof PMMA kasdek krijgen zeer donker blad, en rode cultivars krijgen last van zwarte verkleuring van de bloembladeren in de zomer. Dit is het gevolg van een grotere hoeveelheid UV-straling die door dit kasdek wordt doorgelaten. Er is een zekere hoeveelheid blauwlicht nodig voor een normale lengtegroei van het gewas. In totaal zal ongeveer 3 tot 7 mol m⁻² d⁻¹ nodig zijn. Tussen de 400 en 700 nm is de lichtkleur niet zo van belang voor het uiterlijk van de roos, in het rood/verrood-gebied echter wel: de uitloop van okselknoppen wordt gestimuleerd door een hoge verhouding rood/verrood. Verrood remt dus de uitloop. De strekking van de tak wordt beïnvloed door de hoeveelheid verrood licht in het spectrum.

Hogere lichtintensiteiten (bij relatief lagere temperaturen) leiden tot betere kwantiteit/kwaliteit verhouding: de takken worden dikker en de knoppen worden groter. Omdat rozen daglengteneutraal zijn is stuurlicht voor bloei-inductie niet nodig.

Gerbera

De gerbera is enigszins daglengtegevoelig, ze vormt de meeste knoppen bij een daglengte < 11 uur. De daglengte heeft tevens invloed op de snelheid van bloemaanleg. In de teelt wordt gestreefd naar een maximaal aantal bloemen met een vrij vaste bloemdiameter en een niet te korte steel.

Op veel bedrijven wordt een energiescherm toegepast. Scherming tegen hoge lichtintensiteiten wordt in de zomer toegepast, met doek dat 20% van het licht tegenhoudt, of door middel van krijten van het kasdek. Belichting: op 119 ha van de in totaal 242 ha (gegevens 2002) wordt assimilatiebelichting toegepast, met intensiteiten die liggen tussen de 36 en 96 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, waarbij 70% belicht met intensiteiten lager dan 60 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Een klein gedeelte hiervan is mobiele belichting. Daglengtes van 10,5 tot 11 uur worden aangehouden. Een langere daglengte met deze intensiteiten leidt tot verlaging van de productie omdat Gerbera een facultatieve korte-dagplant is, dat wil zeggen de planten produceren de meeste bloemen bij een daglengte van circa 11 uur, maar houden niet volledig op met bloeien bij langere daglengtes.

Het gewas verdraagt hoge lichtintensiteiten. Er wordt meestal geschermd boven 650-700 W m^{-2} buitenstraling (globale straling) bij een volgroeid gewas. In de winter is er door de lage lichtintensiteiten een lagere productie en een slechtere kwaliteit.

Een hoge lichtintensiteit kan leiden tot verkleuring van donkere bloemen. Een lage lichtintensiteit leidt tot bleke bloemen en niet-volgroeide 'winterbloemen'. De onder- en bovengrens voor de lichtsommen zijn moeilijk aan te geven. Duidelijk is dat Gerbera wel in de winter blijft doorproduceren bij een lage licht/temperatuur verhouding, hoewel met kleinere bloemen en minder takken.

Gerbera is een kwalitatieve korte-dag plant (enkele cultivars uitgezonderd), met een optimum bij circa 11 uur daglengte. Er wordt niet geschermd om de dag te verkorten in de zomer. De ondergrens voor de daglengte is circa 8 uur, de bovengrens is niet bekend, maar is waarschijnlijk afhankelijk van de lichtintensiteit.

2.2.4 Potplanten

Ficus, croton, kalanchoë, spathiphyllum, fuchsia

Potplanten kunnen op verschillende wijzen worden ingedeeld. Voor de doelstelling van dit rapport is een hoofdindeling naar lichtbehoefte de belangrijkste. Er zijn potplanten die oorspronkelijk afkomstig zijn uit de ondergroei van bossen en dus zijn aangepast aan lage lichtintensiteiten (schaduwplanten), en er zijn potplanten die oorspronkelijk onder hoge lichtintensiteiten groeiden (licht minnende planten). Licht minnende plantensoorten concurreren om het beschikbare licht door bij lage Rood/verrood ratio's veel assimilaten te gebruiken voor lengtegroei (stengelstrekking). Daarentegen reageren soorten die aangepast zijn aan het groeien in de schaduw van bomen waar altijd lage rood/verrood ratio's heersen, met veel minder stengelstrekking.

De range van door de potplanten benutbare lichtintensiteiten loopt daardoor van zeer hoog ($30 \text{ mol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ of meer) tot laag (5 tot $10 \text{ mol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$).

Schaduwplanten

Veel potplanten komen oorspronkelijk uit het (sub-)tropisch regenwoud en zijn evolutionair aangepast aan schaduwrijke standplaatsen. Door de selectieve transmissie van blad heeft het licht op deze standplaatsen een lage tot zeer lage rood/verrood verhouding.

Bij schaduwplanten is er in de natuurlijke omgeving eerder sprake van teveel licht dan van lichtgebrek. In de Nederlandse kasomstandigheden in de winter zijn de lichtomstandigheden toch nog vaak dusdanig laag dat ook bij schaduwplanten extra groei wordt waargenomen wanneer additioneel kunstlicht wordt gebruikt. Hieruit blijkt dat lichtere kassen in de winter ook voor schaduwplanten van nut kunnen zijn.

Bloeiïnductie van de meeste bloeiende schaduwplanten is temperatuurgestuurd. Daarbij is vaak wel een minimale lichthoeveelheid per dag nodig voor een goede bloemontwikkeling. Voor een goede groei en bloei worden minimum-lichtsommen van 4 tot $8 \text{ mol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ genoemd. Boven een lichtintensiteit van $250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ neemt de kans op beschadiging van de bladeren toe. Planten die geteeld zijn onder lage lichtintensiteit worden al bij $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ geschermd (bijvoorbeeld in februari). De lichtreacties zijn zeer rasafhankelijk.

Voor Phalaenopsis wordt beschreven dat in de rustperiode de lichtbehoefte hoog is, maar in de groeiperiode wordt zwaar geschermd. Bloeiïnductie is een combinatie van lage temperatuur ($17 - 19 \text{ }^\circ\text{C}$) en licht (tot $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

Spathiphyllum planten kunnen zich in de huiskamer bij lichtniveaus van 20 tot 30 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ handhaven. Echter tijdens de teelt is schermen tot lichtniveaus van 300 tot 500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ niet ongebruikelijk. Teveel licht leidt wel tot verandering van bladkleur en bladstand.

Lichtminnende planten

De lichtbehoefte van niet-bloeiende lichtminnende planten zoals Ficus en Yucca is hoog: in de kas kan Ficus benjamina wel 750 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ verdragen, hetgeen alleen in juni en juli in Nederlandse kassen voorkomt. Veelal wordt een buitenwaarde van 600 W m^{-2} (260 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) aangehouden om te gaan schermen. Bij bonte soorten wordt bij lagere waarden geschermd, om bladverbranding te voorkomen. Yucca kan in de kas lichtniveaus van 500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ verdragen.

Over de beïnvloeding van de groei door verandering van de lichtkwaliteit bij niet-bloeiende lichtminnende potplanten is niet veel bekend.

Toepassing van kunstlicht voor de bloei-inductie van LD-planten tijdens perioden met korte dagen door middel van dagverlenging of nachtonderbreking is minder goed mogelijk en vereist ook een hogere lichtintensiteit.

Verandering in de lichtkwaliteit biedt mogelijkheden om de plantvorm en kwaliteit te beïnvloeden. Lichtkwaliteit kan een groot effect hebben op de kleur van bladeren, stengels en bloemen van planten door de aanmaak van verschillende pigmenten.

De morfologie van de plant wordt ook gestuurd door de lichtkwaliteit. Voor roos als potplant is een compacte plantvorm gewenst. De ontwikkeling van compacte planten kan gestuurd worden door het uifilteren van een deel van het verrode licht.

Opkweek zonder verrood licht leverde kleinere (minder hoge) planten met meer vertakkingen ongeacht de lengte van de lichtperiode. Het ontbreken van verrood licht bevordert de bloei onder een lange natuurlijke lichtperiode maar niet bij een korte kunstmatige periode. Onderbreking van de donkerperiode met roodlicht remt de bloei bij een natuurlijke korte daglengte ongeacht de aanwezigheid van verrood, de lengte van de internodiën werd niet beïnvloed. De mogelijkheid van donkeronderbreking met roodlicht met iets verrood om de bloei van korte dag planten af te remmen, waarbij lichtintensiteiten van 0,025-0,15 W m^{-2} voldoende zijn, is van belang voor de timing van de productie cyclus als er gebruik wordt gemaakt van spectrale filters voor het beïnvloeden van de groei (meer gedrongen planten met meer vertakkingen). Planten kunnen worden ingedeeld naar reductie in stengelstrekking

als gevolg van minder verrood. Wanneer er spectrale filters worden gebruikt die verrood licht uitfilteren wordt bij sommige planten de bloei vertraagd.

Potplanten worden op de grond of op tabletten geteeld. In de tabletteelt wordt vanwege de ruimte en lichtbenutting overgestapt op roltabletten. In Nederlandse kassen kan de temperatuur/licht verhouding zodanig komen te liggen dat zonder bijbelichting geen goede planten te telen zijn.

Een deel van de potplanten zijn schaduwplanten. Deze moeten op zonnige dagen in de zomer geschermd worden. De bladgrootte, bladstand, -kleur en bontheid wordt bepaald door de lichtintensiteit. Het gebruikte schermdoek bestaat uit aluminium bandjes of witte vezels. Gekleurd scherm wordt (nog) niet toegepast.

Een belangrijk deel van de bloeiende potplanten bestaat uit daglengtegevoelige gewassen. In Nederland varieert de daglengte aanzienlijk gedurende het jaar. Op de bedrijven is verduisteringsscherm en een belichtingsinstallatie aanwezig om de bloei-inductie te regelen. Voor KDP is het nodig in de zomer het licht weg te schermen. Voor LDP is het nodig in de winter bij te belichten tot de gewenste lengte van de lichtperiode.

Wanneer de natuurlijke donkerperiode zo lang is dat bij KDP bloei-inductie gaat optreden kan 'nachtonderbreking' worden toegepast om het gewas vegetatief te houden: gedurende enkele uren in de nacht wordt belicht. Nachtonderbreking kan volstaan met relatief lage lichtintensiteiten.

Op veel potplantenbedrijven wordt zonwering toegepast, veelal met een beweegbare scherminstallatie. Dit is vooral van belang in de 1^e teeltfase na het oppotten en bij korte teelten. 's Zomers kan dit worden aangevuld met een krijtlaag op het glas.

In de teelt van bloeiende potplanten komt assimilatiebelichting steeds meer voor. Zonder belichting is het moeilijk om ook in de winter een bloeiende plant van voldoende kwaliteit te produceren. Ook bij niet-bloeiende potplanten is er een minimale lichtbehoefte.

3 INVENTARISATIE LICHTREGELSYSTEMEN

Afgezien van enkele systemen waarbij het kasdek verwijderd kan worden ("cabrioletkas") zal de inkomende straling altijd met een vaste factor gereduceerd worden (de transmissiefactor van het kasdekmateriaal) voordat het gewas bereikt wordt.

Glas is tot op heden veruit het meest gebruikte kasdekmateriaal in Nederland en Noord-West Europa. De verwachting is dat dit voorlopig nog zo zal blijven. Glas heeft een aantal gunstige materiaaleigenschappen, waarvan een stabiele en hoge lichtdoorlatendheid de belangrijkste is. Naast gewoon glas worden op beperkte schaal nog andere glassoorten toegepast:

- gehard glas (grotere sterkte, hogere veiligheid, duurder)
- wit glas (hogere lichtdoorlatendheid, spectrale verschillen)
- dubbelglas (goede warmte-isolatie, lage transmissie, duur, zwaar)
- hortiplus (goede warmte-isolatie, lagere transmissie).

In de afgelopen 20 jaar zijn een groot aantal transparante kunststofplaten en folies op de markt gekomen, waarvan een deel geschikt is als kasomhullingsmateriaal. Een aantal van deze materialen is aanzienlijk verbeterd door toevoeging van verschillende additieven en coatings, met name om de lichtdoorlatendheid en de duurzaamheid te verbeteren en het condensgedrag op het oppervlak (antidrop). In tegenstelling tot glas kunnen de mechanische en optische eigenschappen van kunststoffen in principe naar wens worden aangepast.

3.1 Scherm

3.1.1 Buitenscherm

Een regelbaar buitenscherm wordt op het kasdek gemonteerd (zie figuur 2) en heeft als belangrijkste voordeel dat het zonlicht niet in de kas doordringt waardoor de temperatuur normaal gesproken nooit hoger wordt dan de buitentemperatuur. Er hoeft dan niet gekrijt te worden waardoor de lichttransmissie in de winter niet benadeeld wordt door eventuele krijtresten. Met name bij de gewassen snijhortensia's, orchideeën en bepaalde potplanten kan dit voordelen opleveren.

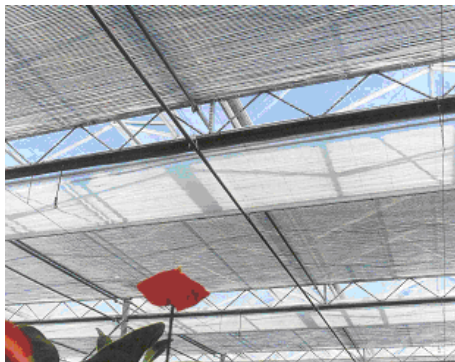
Een buitenscherm kost echter tweemaal zoveel als een binnenscherm en onderschept door de zwaardere constructie normaal gesproken meer licht dan een binnenscherm.



Figuur 2 Buitenscherm

3.1.2 **Energiescherm**

Het effect van energieschermen (zie figuur 3) is het verlagen van het warmteverlies uit de kas. Met schermen wordt zowel de warmteoverdracht via ventilatie als de warmteoverdracht via warmtestraling en convectie verlaagd. Bandjesschermen en in hogere mate folieschermen laten maar een deel van het opvallende zonlicht door. Volgens fabrikantengegevens ligt het zonweringpercentage van de materialen tussen 10% en ruim 90%.



Figuur 3 Energiescherm

3.1.3 **Zonweringscherm**

De functie van een zonnescherm (of schaduw scherm) (figuur 3) is het niveau van de zoninstraling overdag te verminderen. Dat wordt bereikt met schermdoeken die het zonlicht beperkt doorlaten, absorberen of reflecteren.

Een schermtypen dat veel als zonweringscherm wordt toegepast, is het bandjesscherm met gealuminiseerde kunststoffolie bandjes en daartussen open stroken. De mate van zonwering

van dit type scherm wordt bepaald door de materiaaleigenschappen van de gealuminiseerde bandjes en door de oppervlakteverhouding tussen bandjes en open stroken. Meer open stroken betekent minder zonwering en minder energiebesparing, als dit scherm gelijktijdig in de nacht als energiescherm wordt gebruikt.

Bandjesschermen met een kleur zijn uit oogpunt van zonwering minder effectief dan die met aluminium. Gekleurde schermen laten meer licht door en een deel van de invallende straling wordt geabsorbeerd. Gealuminiseerde schermen reflecteren de invallende straling, zodat de energie buiten wordt gehouden en de kas minder wordt opgewarmd.

De effecten van het gebruik van zonneschermen met een open structuur zijn een lagere gewas- en kasluchttemperatuur en een verlaagde verdamping.

Zonweringschermen zijn te koop met een zonweringpercentage tussen 40% en 85%. Met een zonnescherm kan in de gesloten situatie tussen 20% en 35% momentaan aan energie worden bespaard, maar op jaarbasis ligt de energiebesparing lager.

Door de toepassing van gekleurde schermmaterialen, bijvoorbeeld rood, geel, grijs en blauw wordt de spectrale verdeling van het licht in de kas verschoven, waardoor bijvoorbeeld de vegetatieve ontwikkeling van planten beïnvloed wordt.



Figuur 4 Zonweringscherm; het gebruik van gekleurde schermmaterialen of netten om de spectrale verdeling van het licht te beïnvloeden

3.1.4 Verduisteringsscherm

Door manipulatie van de daglengte kunnen bepaalde planten tot knopvorming worden aangezet ook in periodes van het jaar dat dit van nature niet gebeurt. Bij een kortedag-plant als de chrysanthe worden 's zomers verduisteringsschermen en 's winters verlichting met een lage intensiteit gebruikt om dit gewas jaarrond te kunnen produceren. Het doel van schermen om de daglengte te verkorten is dan ook het verhinderen dat licht van buiten in de kas doordringt.

Schermdoeken die voor dit doel gebruikt worden zijn: bandjesschermen, (dikke) folies en geweven kunststoffolie bandjes. De uitvoering is vaak wit of gealuminiseerd aan de dekzijde om invallend licht te reflecteren en zwart aan de gewaskant.

Het gebruik van schermen om de daglichtperiode te verkorten gedurende de periode met natuurlijke lange dagen brengt op dagen met hoge buitentemperaturen en veel instraling problemen met zich mee; de kasluchttemperatuur loopt hoog op, zelfs met volledig geopende luchtramen.

Verduisteringsschermen zijn uitstekend geschikt om energie te besparen en zijn lichtdicht. Met een verduisteringsscherm kan momentaan tussen de 40% en 80% energie worden bespaard. Door gebruikmaking van beweegbare schermen in een kas, waarbij is gezorgd voor een goede kierafdichting, kan met een verduisteringsscherm (enkel) bij gebruik tijdens de "donkere" uren en de cyclische perioden, op jaarbasis 20% tot 30% energie worden bespaard (PBG, 2000).

3.1.5 Scherm om lichtuitstoot te voorkomen

Gebruik van assimilatiebelichting en stuurlicht tijdens donkere uren valt niet meer weg te denken uit de Nederlandse glastuinbouw. Om overlast en onnodige verstoring van het natuurlijke evenwicht te beperken en zomogelijk te voorkomen, worden schermen toegepast om het licht in de kas te houden. Deze schermen (figuur 5) laten geen of vrijwel geen licht door. Schermen om lichtuitstoot tegen te gaan bestaan vaak uit geweven kunststoffolie bandjes of een breisel met kunststoffolie bandjes (bandjesscherm).



Figuur 5 Lichtweringscherm (SVENSSON)

Veel schermmaterialen die bedoeld zijn om lichtuitstoot van assimilatielampen tegen te gaan, zijn aan de onderzijde voorzien van een wit of gealuminiseerd oppervlak dat licht reflecteert. Schermen om lichtuitstoot tegen te gaan zijn ook geschikt om energie te besparen.

Schermen om lichtuitstoot tegen te gaan, zijn vrijwel lichtdicht. Met dit type scherm kan volgens de fabrikanten tussen 40% en 70% energie worden bespaard. Door gebruik van beweegbare schermen in een kas, waarbij is gezorgd voor een goede kierafdichting, kan met een verduisteringsscherm bij gebruik tijdens de “donkere” uren, op jaarbasis 20% tot 25% energie worden bespaard.

3.1.6 **Combi- of duoscherm**

Het is mogelijk schermdoek eigenschappen te geven die het geschikt maken om dit te gebruiken als energie- en als zonweringscherm. Veel combischermen bestaan uit een combinatie van heldere en gealuminiseerde kunststoffolie bandjes. De verhouding tussen de twee soorten bandjes bepaalt de mate van zonwering en energiebesparing.

Combi- of duoschermen zijn te verkrijgen met een zonweringpercentage tussen 25% en 85%. Met een combi- of duoscherm kan volgens opgave van de fabrikanten tussen 45% en 70% momentaan aan energie worden bespaard. Met beweegbare schermen en een goede kierafdichting kan met een duo- of combischerm bij gebruik tijdens de nacht, op jaarbasis 20% tot 25% energie worden bespaard (PBG, 2000).

In onderstaande tabel 1 is een overzicht gegeven van de kosten voor aanschaf, afschrijving en onderhoud van de diverse bestaande systemen.

Tabel 1 Kosten bestaande lichtregelsystemen (KWIN, 2003-2004) (ONDER GLAS, 2005)

	Aanschafprijs	Afschrijving, % per jaar	Onderhoud, % per jaar
<i>Schermdoek</i>			
Buitenscherm	1,15 - 1,80 EUR/m ² doek	20	5
Energiescherm	1,15 - 1,80 EUR/m ² doek	20	5
Zonweringscherm	1,13 - 1,82 EUR/m ² doek	20	5
Verduisteringsscherm	2,72 - 3,63 EUR/m ² doek	20	5
Scherm om lichtuitstoot te voorkomen	2,72 - 3,63 EUR/m ² doek	20	5
Combi- of duoscherm	minimaal 5,50 EUR/m ² laag	20	5
Scherminstallatie (excl. doek)	3,65 - 4,54 EUR/m ² kas	15	5

3.2 Krijten

Door 's zomers een laag krijt (figuur 6) aan te brengen op het kasdek kan een deel van het inkomende licht worden gereflecteerd. Nadelen van krijten zijn dat de lichtreductie niet regelbaar is waardoor bij lage intensiteiten (bewolkt weer) er minder licht wordt doorgelaten dan wenselijk is. Ook is het opbrengen en verwijderen arbeidsintensief en zijn de schoonmaakmiddelen slecht voor het milieu.



Figuur 6 Gekrijt kasdek

4 **EISEN OPTIMAAL LICHTREGELSTEEEM**

De optische eigenschappen van een materiaal worden gekenmerkt door transmissie, reflectie en absorptie. De netto hoeveelheid licht die het gewas ter beschikking krijgt hangt af van de golflengteafhankelijke transmissie, reflectie en absorptie en de hoeveelheid en hoeken van de zonnestraling. Ook moet rekening gehouden worden met een eventuele gevoeligheidscurve waardoor bepaalde golflengtes belangrijker zijn dan andere.

Er moet onderscheid worden gemaakt tussen diffuse en directe straling. Lichtinval vanuit alle hoeken van de hemelbol, zoals optreedt bij bewolkt weer, wordt diffuus invallend licht genoemd. Hierbij is de hemelbol over het algemeen niet homogeen verlicht maar neemt de intensiteit af naar de horizon. In West-Europese landen is de doorlatendheid voor diffuus licht bepalend voor de plantengroei, omdat gedurende het grootste deel van het jaar er bewolking is. In het winterseizoen is 75% van de invallende stralingssom diffuus. De transmissie van een kasomhullingsmateriaal voor diffuus invallend licht is circa 10% lager dan die voor direct invallend licht, omdat de lichttransmissie bij toenemende invalshoeken afneemt.

Bij direct zonlicht zijn de lichtverschillen tussen plekken met en zonder slagschaduw (schaduw als gevolg van constructie onderdelen) in de kas zeer groot. Zonder slagschaduw wordt er in de kas nog circa 86% van de lichtintensiteit buiten gemeten. Op plaatsen met slagschaduw valt dit terug tot circa 40%, enigszins afhankelijk van de breedte van de schaduwbaan. Dit komt omdat het directe licht wegvalt. De oppervlakte van de slagschaduw en de plaatsen in de kas waar ze voorkomt varieert met de stand van de zon. Een structureel lager lichtniveau op sommige plekken zal altijd tot uiting komen als een afwijkende productie of productkwaliteit. Telers en installateurs zoeken als sinds 1980 naar mogelijkheden zoeken om het lichtverlies van scherminstallaties te beperken (Onder glas, 2005). Dit heeft ervoor gezorgd dat het lichtverlies van moderne scherminstallaties niet meer dan enkele procenten bedraagt.

Dit maakt dat een lichtregelsysteem niet meer diffuus licht mag wegnemen en slagschaduw mag veroorzaken dan de gebruikte schermen voor het betreffende gewas.

In de volgende paragrafen wordt de algemene eisen per toepassingsgebied belicht. Gevolgd door de eisen samengevat per gewas.

4.1.1 Regelbare lichtintensiteit

Er zijn een aantal redenen om de lichtintensiteit te regelen: het reflecteren van een teveel aan zonlicht om de warmtetoetreding in de zomer te verminderen, het verminderen van de lichtintensiteit voor een optimale gewasgroei en het voorkomen van brandplekken door het wegnemen of verminderen van direct licht.

Bij het regelen ten behoeve van optimale gewasgroei is vooral de PAR transmissie van belang (400 - 700 nm). Deze wordt dan verlaagd. Bij voorkeur is de absorptiefactor in dat geval zo laag mogelijk, omdat alle geabsorbeerde straling dan in warmte wordt omgezet, die via ventilatie weer uit de kas moet verdwijnen.

Bij het voorkomen van brandplekken is de mate van lichtverstrooiing door het lichtregelsysteem van belang. Dit wordt de diffusiteit oftewel de 'Haze' genoemd. De bladtemperatuur in direct zonlicht daalt met toenemende diffusiteit, daardoor kunnen directe verbrandingsverschijnselen op bladeren en bloemen voorkomen worden.

De Haze is sterk afhankelijk van de oppervlaktestructuur of de aanwezigheid van bepaalde pigmenten. De Haze van kasomhullingsmaterialen varieert sterk, veel folies hebben een Haze van 25-30%. Bij een Haze van meer dan 50% worden de materialen diffuus genoemd.

De diffusiteit kan naast het voorkomen van brandplekken ook zorgen voor een betere plantengroei doordat het licht beter wordt verspreid, meer uniform is en dieper in het gewas kan doordringen. Wanneer het lichtregelsysteem gebruikt wordt ter voorkoming van brandplekken zal de diffusiteit minimaal 50% moeten bedragen.

4.1.2 Vermindering warmtetoetreding in de zomer

Het niet zichtbare deel van het zonnenspectrum bestaat naast UV uit near infrared (NIR) en far infrared (FIR) straling. Het grootste gedeelte van de NIR straling (700-3.000 nm) in de globale straling is niet nodig voor de plantenfotosynthese. Het wordt geabsorbeerd door het gewas, de bodem, de kasconstructie en de kasinrichting en gedeeltelijk omgezet in warmtestraling en gedeeltelijk gereflecteerd. Het aandeel absorptie en reflectie binnen de kas is afhankelijk van de eigenschappen en de hoogte van het gewas, het reflectievermogen van de bodem en de constructiedelen. Afhankelijk van de optische eigenschappen van het kasomhullingsmateriaal, wordt de door het gewas en constructiedelen gereflecteerde NIR doorgelaten naar buiten. De opgenomen straling in de kas wordt door de aanwezige planten, bodem en constructiedelen omgezet in warmtestraling (FIR straling), volgens de stralingswet

van Stefan-Boltzmann. Afhankelijk van het kasdek materiaal doorgelaten wordt naar buiten wordt deze warmtestraling doorgelaten naar buiten. De FIR transmissie hangt af van het type en de dikte van het materiaal.

Bij het vermindering van de warmtetoetreding speelt met name de NIR transmissie en reflectie een grote rol. Hierbij moet de transmissie zo laag mogelijk en de reflectie zo hoog mogelijk zijn.

Bij het isoleren van de kas door een energiescherm zijn vooral de FIR reflectie als transmissie belangrijk. Om de warmtestraling zo veel mogelijk te blokkeren is het nodig dat de FIR transmissie zo klein mogelijk is. Vervolgens zal naarmate de FIR reflectie hoger is het warmteverlies van het gewas via warmtestraling lager zijn.

In gebieden met een hoge intensiteit van de zonnestraling, zijn hoge temperaturen in de kas de beperkende factor voor de gewasproductie in de zomermaanden. Dat is de reden waarom in Zuid-Europese landen de gewasproductie in de kas vooral in de wintermaanden plaatsvindt. Men name voor deze gebieden is het zinvol om een lichtregelsysteem te ontwikkelen met een hoge reflectie van de NIR straling. Hierdoor komt er minder energie de kas binnen, waardoor de opwarming minder wordt. Ook voor West-Europese landen kunnen dit soort ontwikkelingen bijdragen aan het meer gesloten houden van kassen in de zomermaanden. Aan de andere kant wil men in de wintermaanden zo veel mogelijk energie binnenhalen om een deel van de verwarmingsbehoefte te dekken.

Bovenstaande houdt in dat een lichtregelsysteem dat toegepast wordt om de warmtetoetreding in de zomer te verminderen in ieder geval de NIR moet reflecteren. Wil dit systeem tevens een energiescherm vervangen dan geldt dit ook voor de FIR.

4.1.3 Verduisteren en voorkomen van lichtuitstoot

Als een scherm primair als verduisteringsscherm moet functioneren, moet de PAR transmissie kleiner dan 0,1% zijn. Ook FIR-straling moet worden geweerd.

Vanaf 2008 geldt het convenant dat bepaalt dat de lichtuitstoot tussen zonsondergang en zonsopkomst met 95% gereduceerd moet worden, met andere woorden de uitstoot mag niet meer bedragen dan 5%. Dit houdt in dat een lichtregelsysteem in de niet-transparante fase niet meer dan 5% van het door de belichting geproduceerde zichtbare licht mag doorlaten.

Omdat verduisteringsschermen vaak worden gebruikt als energiescherm moet een lichtregelsysteem, in dit geval, ook aan de eisen voor energiebesparing voldoen (zie vorige paragraaf).

4.2 Gewasspecifieke eisen

4.2.1 Vruchtgroenten

De belangrijkste reden voor het toepassen van een lichtregelsysteem bij vruchtgroenten zou zijn het verminderen van de warmtetoetreding in de zomer. De hogere CO₂-concentratie die hiervan het gevolg is zou een forse productieverhoging kunnen opleveren. Vruchtgroenten hoeven niet gestuurd te worden met licht en hoeven derhalve niet verduisterd te worden. Voorkoming van lichtuitstoot is niet direct noodzakelijk omdat vruchtgroenten nog nauwelijks belicht worden. Hoewel er een trend is om meer gaan te belichten is het de vraag of deze trend doorzet.

Door het energie-intensieve karakter van de glasgroenteteelt mag het toepassen van een lichtregelsysteem, in vergelijking met een enkelglas kasdek en energiescherm, geen verminderde warmte-isolatie tot gevolg hebben.

Voor de lichttransmissie geldt dat deze het hele jaar niet minder mag zijn dan een enkel glas kasdek.

Versnelde opbouw van een hoge LAI direct na het planten door gebruik van schermfolie dat met name blauwlicht wegfiltert (lagere verhouding blauw/rood licht).

4.2.2 Bladgroenten

Sommige bladgroenten, zoals sla, worden door de hoge temperaturen in de zomer niet geteeld. Tevens kunnen hoge lichtintensiteiten in de zomer leiden tot hoge (nacht)temperaturen en te hoge verdamping van de buitenste bladeren. Een lichtregelsysteem zou dan een jaarrond teelt mogelijk kunnen maken en het krijten van het dak of een schaduw scherm kunnen vervangen. Omdat bij bladgroenten hogere lichtintensiteiten leiden tot een verhoogde fotosynthese en een hogere groeisnelheid mag het lichtregelsysteem niet minder licht doorlaten dan enkelglas.

4.2.3 **Snijbloemen**

Algemeen geldt dat de teelt van snijbloemen 's zomers problemen heeft met te hoge temperaturen. Sommige snijbloemen zoals fresia's worden in de zomer zelfs gekoeld. Andere, zoals kalanchoe's zijn daglengte afhankelijk en worden belicht, al dan niet in combinatie met verduistering.

Een lichtregelsysteem zou hier de warmtedruk tijdens de zomer kunnen verminderen waardoor bij sommige gewassen (dure) grondkoeling voorkomen kan worden. Bij daglengte afhankelijke gewassen zou een dergelijk systeem het verduisterscherm of scherm ter voorkoming van lichtuitstoot kunnen vervangen.

In de winter kan bij sommige snijbloemen stengel broosheid optreden als gevolg van onvoldoende licht tijdens de winter. Hierdoor mag een lichtregelsysteem in de winter niet minder licht doorlaten dan enkelglas eventueel in combinatie met een verduisteringsscherm.

Voor de rozenteelt moet UV-B uitgefilterd worden in verband met donkerverkleuring.

4.2.4 **Potplanten**

Voor potplanten geldt dat lichte kassen en lichtafhankelijk schermen bij schaduwplanten de mogelijkheid biedt om in donkere uren meer licht bij de planten te krijgen dan bij vaste zonwering, zoals een krijtdek. Het productievoordeel van een lichtregelsysteem kan dan aanzienlijk zijn en oplopen tot 10%.

Bij sommige potplanten, met name orchideeën, worden meerdere typen schaduwschermen boven elkaar gebruikt. Door het vervangen van meerdere schermen door één lichtregelsysteem kan dan economisch voordeel geven.

Tijdens het schaduwschermen wordt normaal gesproken alleen de zonbeschenen kant van de kap geschermd, zodat alleen het directe zonlicht wordt weggeschermd en niet het diffuse licht. Ook bij een lichtregelsysteem zou dit mogelijk moeten zijn.

4.3 Samenvatting

In onderstaande tabellen is een overzicht gegeven van de eisen waaraan een optimaal lichtregelsysteem zou moeten voldoen. In tabel 2 is een overzicht gegeven naar golflengtegebied, in tabel 3 naar gewas.

In onderstaande tabellen is een overzicht gegeven van de eisen waaraan een optimaal lichtregelsysteem zou moeten voldoen. In tabel 2 is een overzicht gegeven naar golflengtegebied, in tabel 3 naar gewas.

Tabel 2 Eisen van een lichtregelsysteem opgesplitst naar toepassingsgebied, golflengtegebied en transmissie (T) en reflectie (R)

		Lichtintensiteit	Vermindering warmtetoetreding	Verduisteren i.v.m. daglengte	Verduisteren i.v.m. lichthinder
PAR	T	Regelbaar tussen < 50% en > 90% ¹⁾	Het systeem mag nauwelijks vermindering van de lichtintensiteit op plantniveau tot gevolg hebben	< 0,1 %	< 5 % vanaf 2008 ⁴⁾
	R	Een zo groot mogelijk deel van het licht dat niet doorgelaten wordt	Onbelangrijk zolang de aan de transmissie eis wordt voldaan	Geen eisen	Zo hoog mogelijk zodat het rendement van belichting toeneemt
NIR	T	Geen eisen	Regelbaar tussen 0 en de minimaal haalbare ²⁾ transmissie	< 0,1 % in het verrood gebied	Geen eisen
	R	Geen eisen	Vrijwel alles wat niet doorgelaten wordt	Zo hoog mogelijk om hoge temperaturen onder het scherm te voorkomen	Geen eisen
FIR	T	Minimaal bij gecombineerd gebruik als energiescherm, anders geen eisen	's zomers maximaal, 's winters minimaal	Minimaal bij gecombineerd gebruik als energiescherm, anders geen eisen	Minimaal bij gecombineerd gebruik als energiescherm, anders geen eisen
	R	Maximaal bij gecombineerd gebruik als energiescherm, anders geen eisen	's zomers minimaal, 's winters maximaal	Maximaal bij gecombineerd gebruik als energiescherm, anders geen eisen	Maximaal bij gecombineerd gebruik als energiescherm, anders geen eisen

¹⁾ Wanneer het lichtregelsysteem niet hoeft te verduisteren

²⁾ Afhankelijk van een economische analyse: een duur systeem moet meer NIR tegenhouden dan een goedkoop systeem.

³⁾ Een hoge reflectiewaarde van een verduisterscherm geeft meer rendement tijdens het belichten.

⁴⁾ Volgens het plan van aanpak van stichting Natuur en Milieu.

Tabel 3 Eisen van een lichtregelsysteem opgesplitst naar toepassingsgebied, eigenschappen en gewas

Toepassingsgebied / eigenschap	Vruchtgroenten	Bladgroenten	Snijbloemen	Potplanten
Regelbare lichtintensiteit	Niet vereist, mogelijk gewenst ¹⁾	Niet vereist, mogelijk gewenst ¹⁾	Regeling direct licht Vereist	Regeling direct licht vereist
Vermindering warmtetoetreding	Vereist	Vereist	Niet vereist als prioriteit bij regelbare lichtintensiteit ligt	Niet vereist als prioriteit bij regelbare lichtintensiteit ligt
Verduisteren i.v.m. daglengte	N.v.t.	N.v.t.	Bij sommige gewassen vereist	Bij sommige gewassen vereist
Veduisteren i.v.m. lichtuitstoot	Minimaal 95% verduistering	N.v.t. wegens het niet belichten van bladgroenten	Minimaal 95% verduistering ²⁾	Minimaal 95% verduistering ²⁾
PAR transmissie diffuus in open toestand	In combinatie met het kasdek materiaal niet lager dan enkel glas (>80%)	In combinatie met het kasdek materiaal niet lager dan enkel glas (>80%)	Onder glas in combinatie met kasdek materiaal (>80%). Onder kunststof \geq 61-76%	Onder glas in combinatie met kasdek materiaal (>80%). Onder kunststof \geq 61-76%
K-waarde [$W m^{-2}K^{-1}$]	Als vervanging van glas niet lager dan enkel glas (5,8)	Als vervanging van glas niet lager dan enkel glas (5,8)	Als vervanging van glas of kunststof, resp. <5,8 en 3,5.	Als vervanging van glas of kunststof, resp. <5,8 en 3,5.
Prijs van huidige schermen ¹⁾	Ca. 5,5 €/m ²	N.v.t.	Ca. 7 €/m ²	Ca. 5,5 €/m ² + 4 €/m ² voor elk volgend doek
Indicatie maximale prijs nieuw systeem	Bij verminderde warmtetoetreding maximaal ca. 30 €/m ² en 12 €/m ² bij resp. 100 en 50% NIR reflectie ⁱⁱ Overige toepassingen Ca. 5,5 €/m ²	Nu wordt geen scherm gebruikt, dus zeker < 5,5 €/m ²	Ca. 7 €/m ²	Ca. 5,5 €/m ² + 4 €/m ² voor elk volgend doek Het effect van regelbare intensiteit is maximaal ca. 10 €/m ² .
Terugverdientijd	< 5 jaar	< 5 jaar	< 5 jaar	< 5 jaar

¹⁾ De mogelijkheden van het regelen van de lichtintensiteit op zijn niet bekend

²⁾ Volgens het plan van aanpak van stichting Natuur en Milieu.

De gewenste veranderingen qua lichtbehoefte voor verschillende gewasgroepen in kwantitatieve zin. (↑) betekent meer dan van nature aanwezig (↓) betekent minder dan nature aanwezig, (o) betekent ongeveer gelijk aan van nature aanwezige straling. Verrood

en NIR straling hebben directe invloed op warmtetoetreding en daardoor zijn goede indicatie voor temperatuur behoeften.

Tabel 4 Wensen voor een optimaal lichtregelsysteem per gewas

Gewas(fase)	PAR winter	PAR zomer	Verrood	NIR zomer	diffuus licht
Uitgangsmateriaal (jonge planten)	↑	o	↓	↓	↑
Vruchtgroenten (tomaat)	↑	↑	↑	↓	↑
Bladgroenten (groene cultivars sla)	↑	↑	↓	↓	↑
Bladgroenten (rode cultivars sla)	↑	↑	↓	↓	↑
Snijbloemen éénmalig oogstbaar (chrysant)	↑	o		↓	↑
Snijbloemen meermalig oogstbaar (roos)	↑	o		↓	↑
Potplanten schaduwplant	o	↓		↓	↑
Potplanten lichtminnend(groen: Ficus)	↑	↓	↓	↓	↑
(bloei: Chrysant, Kalanchoë)	↑	↓		↓	↑

5 ELEKTRISCH SCHAKELENDE SYSTEMEN

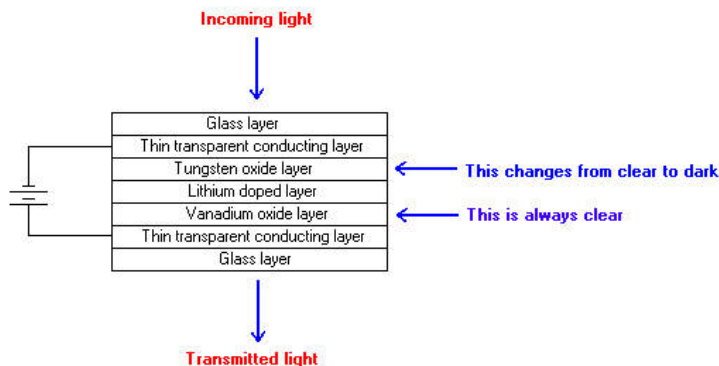
Er zijn verschillende elektrisch schakelende systemen (veelal ramen) op de markt verkrijgbaar. Al deze systemen hebben als kenmerk dat met een druk op de knop geschakeld wordt van kleurloos naar gekleurd. De kleur en de lichtdoorlaatbaarheid in kleurloze en gekleurde toestand zijn afhankelijk van de gekozen techniek voor het schakelen. De technieken die worden toegepast zijn:

- electrochrom (EC)
- liquid crystal (LC)
- polymer dispersed liquid crystal (PDLC)
- fotochromatografie.

In dit hoofdstuk zullen de verschillende technieken kort worden omschreven. In een later hoofdstuk worden de gegevens van de verschillende systemen per leverancier beschreven.

5.1 Electrochrom

Een electrochrom systeem bestaat uit zeven lagen (figuur 7), met elk hun eigen functie. Het principe van een electrochrom systeem is gebaseerd op de werking van een batterij. Wanneer een spanning wordt aangebracht op het systeem gaan er elektronen lopen van de ene geleidende laag (conducting layer) naar de andere. De tussenlagen in het systeem gaan een reactie aan met de elektronen. Deze reactie veroorzaakt een kleurverandering. Deze kleurverandering zorgt voor een afscherming van het licht.



Figuur 7 Electrochrom systeem (www.malvino.com/ep/electro2.htm)

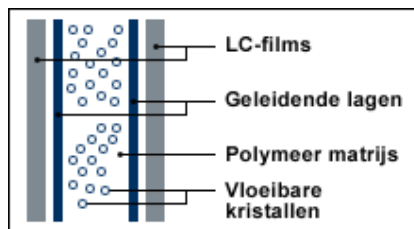
Door middel van spanning is de kleurintensiteit en daarmee de lichtdoorlaatbaarheid instelbaar (figuur 8).



Figuur 8 Electrochrom systeem met instelbare lichtdoorlaatbaarheid

5.2 Liquid Crystal (LC)

Een systeem gebaseerd op liquid crystals (vloeibare kristallen) bestaat altijd uit een meerlagen systeem. Namelijk, twee lagen glas of plastic (LC-films), twee geleidende lagen en een laag liquid crystal (vloeibare kristallen) in een polymere matrix, zie figuur 9.



Figuur 9 Opbouw LC systeem (www.sggprivalite.com)

In verband met gevoeligheid van beschadigen wordt het LC systeem vrijwel altijd uitgevoerd met twee lagen glas of dik plastic en niet met een folie.

De lagen glas of plastic worden voorzien van de een geleidende laag Indium Tin Oxide (ITO). Deze coating zorgt ervoor dat er spanning kan worden aangebracht op de liquid crystals. Als er geen spanning op het systeem ontstaat er een melkachtig glas (figuur 10). Wanneer er spanning op het systeem wordt gezet ontstaat er een doorzichtig glas.



a)

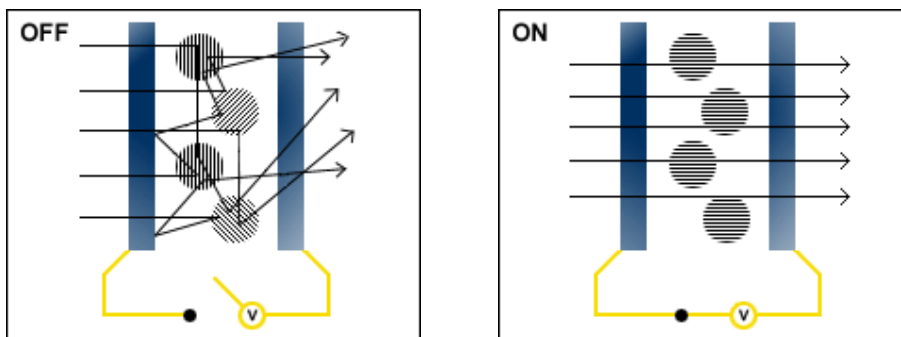
b)

Figuur 10 LC systeem; a) spanningsloos, b) onder spanning

Het verschil in de twee toestanden wordt veroorzaakt door het liquid crystal.

Een liquid crystal kan worden voorgesteld als een Penne (langwerpige, rechte buismacaroni) op een doorzichtig bord. In normale toestand liggen deze ongeordend op het bord en zal er weinig licht worden doorgelaten. Wanneer alle Penne rechtop op het bord worden gezet (kost veel moeite/ inspanning) zal door de openingen van de Penne veel licht worden doorgelaten.

Voor liquid crystals geldt hetzelfde. In spanningsloze toestand zijn deze ongeordend verdeeld over het LC-systeem en verstrooien het licht. Wanneer er een spanning wordt aangebracht op het LC-systeem, zullen de liquid crystals zich richten en dus licht doorlaten (figuur 11).



a)

b)

Figuur 11 Stand van liquid crystals in verschillende toestanden (www.sggprivalite.com) ; a) spanningsloos, b) onder spanning

Een LC systeem kent maar twee standen, aan en uit. De lichttransmissie is dus niet instelbaar.

5.3 Polymer Dispersed Liquid Crystal (PDLC)

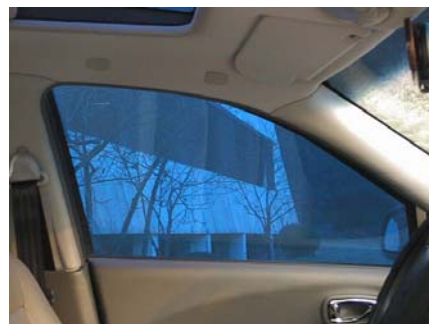
Een Polymer Dispersed Liquid Crystal (PDLC) systeem is qua opbouw hetzelfde als een LC-systeem. Alleen zijn de liquid crystals in dit systeem met een vaste ordening aangebracht. Hierdoor is het mogelijk om de lichtdoorlaatbaarheid in te stellen met de hoeveelheid aangebrachte spanning.

Ook dit kan weer worden voorgesteld als een doorzichtig bord met Penne. Alleen nu is de Penne al met een vast patroon neergelegd (gedeeltelijk rechtop en gedeeltelijk plat). Afhankelijk van de stand van de Penne is er veel of weinig inspanning nodig om deze rechtop te zetten. Met weinig inspanning zullen een paar Pennes rechtop gaan staan en met een grote inspanning zullen veel Pennes rechtop gaan staan. Dus met een lage spanning zal de lichtdoorlaatbaarheid dus een beetje verhogen en met een hoge spanning zal al het licht worden doorgelaten.

Voor een PDLC systeem geldt dus dat deze een instelbare lichtdoorlaatheid heeft (figuur 12).



a)



b)

Figuur 12 PDLC systeem (www.smartglass.com/index.html); a) spanningloos, b) onder spanning

5.4 Foto- en thermochromatografie

In zonnebrilglazen wordt al geruime tijd een techniek gebruikt die ervoor zorgt dat de glazen verkleuren onder invloed van zon (figuur 13). Deze glazen bestaan uit een normaal glas met daarin deeltjes gedispergeerd, welke onder invloed van UV-licht verkleuren. Inmiddels is het

ook mogelijk om deze techniek in kunststof toe te passen. De verkleurende deeltje worden aan en vlak onder het oppervlak van het kunststof aangebracht.

Deze techniek zou ook toepasbaar kunnen zijn in de glastuinbouw.



Figuur 13 Fotochromatische brillenglazen verkleurend onder invloed van UV-straling (www.transitions.com/page.cfm?id=16)

Een ander systeem wat zo nu en dan wordt gebruikt om van kleur te veranderen zijn thermochromotomatische materialen. Deze materialen veranderen onder invloed van temperatuur van kleur. Momenteel worden deze toegepast in thermometers, maar er zijn toepassingen bekend op het gebied van ramen en dergelijke. Een nadeel van dit systeem is dat het slechts regelbaar is door temperatuur.

6 BESTAANDE LICHTREGELSYSTEMEN

6.1 Eisen gesteld aan bestaande systemen

De eisen zoals die zijn behandeld in het hoofdstuk Eisen optimaal lichtregelsysteem zijn vertaald in een paar vragen, welke aan mogelijke leveranciers gesteld zijn.

Uiteraard moet in lichtdoorlatende (open) toestand de lichtdoorlaatbaarheid zo hoog mogelijk zijn. Deze doorlaatbaarheid moet concurrerend zijn met huidige kasdekmaterialen (glas=90%).

Om een goed beeld te krijgen van de prestaties van bestaande lichtregelsystemen is het lichtdoorlaatheid versoepeld tot 70% doorlaatbaarheid (vraag 1). Naar aanleiding van deze versoepeling is er een eerste selectie onder de benaderde leveranciers gemaakt. Wanneer een systeem een lager transmissie dan 70% heeft, valt deze af. Deze kan per definitie niet rendabel worden toegepast in de glastuinbouw.

Vraag 1: Is de lichtdoorlaatbaarheid in open toestand meer dan 70%?

Ter voorkoming van uittredend licht gedurende de nacht is een tweede belangrijke aspect hoe de lichtdoorlaatbaarheid gedurende de nacht is (gesloten toestand). De wet tegen uittredend licht, welke in 2008 van kracht wordt, vereist een maximale lichtdoorlaatbaarheid van 5%. Wederom is een versoepeling (vraag 2) toegepast om een goed beeld van prestaties van lichtregelsystemen te krijgen.

Vraag 2: Is de lichtdoorlaatbaarheid in gesloten toestand minder dan 20%?

Uiteraard zijn er nog tal van andere aspecten van belang voor het goed functioneren van een systeem. Daarom zijn ook de volgende vragen gesteld:

Vraag 3: Is de lichtdoorlaatbaarheid instelbaar tussen open en gesloten toestand?

Vraag 4: Is het mogelijk het systeem op een bestaand kasdek aan te brengen?

Vraag 5: Wat is de huidige prijs van het systeem?

Vraag 6: Wat is de prijs van het systeem bij grote afname hoeveelheden?

Vraag 7: Wat is het energieverbruik om te schakelen?

Vraag 8: Wat is de isolatiewaarde van het systeem?

Vraag 9: Wat is de levensduur van het systeem?

6.2 **Bestaande lichtregelsystemen**

Er zijn verschillende leveranciers benaderd voor de eigenschappen van hun systeem. In bijlage A is een overzicht gegeven van de benaderde leveranciers. Aan de leveranciers is het reeds beschreven pakket van vragen voorgelegd.

Naar aanleiding van de eerste twee vragen is een eerste selectie onder de benaderde leveranciers gemaakt. In tabel 5 staan de eigenschappen van de elektrische systemen van de verschillende leveranciers.

In deze tabel zijn de overige eigenschappen van het systeem ook gegeven. Leveranciers die met hun systeem niet door de eerste selectie komen zijn met rood aangegeven.

Tabel 5 Lichtdoorlaatbaarheid per leverancier

Leverancier	Lichtdoor- laatbaarheid open toestand (%)	Lichtdoor- laatbaarheid gesloten toestand (%)	Instelbare lichtdoor- laatbaarheid	Toepasbaar op bestaand kasdek	Huidig e prijs (€/m ²)	Prijs grote afname	Energie- verbruik (W/m ²)	Isolatie- waarde (W/m ² K)	Levensduur (jaren met 1 schakeling per dag)	
Sage Electrochromics	63	4	- *	-	x	x	x	x	x	
Pulp Studio Inc.	X	x	-	-						
Suntek / Southwall	Project gestopt									
Saint-Gobain	77	76	-	-	1500	1150	5	5.6 **	x	
3M	Project gestopt									
Pilkington	Project gestopt									
General Electric Plastics	X	x								
Chelix	85	x (nog altijd lichtdoorlatend)								
Smartglass Ireland	X	x								
Innovative Glass Corp.	55	10	+	-	160	x	x	x	5	
BRG Group	72	22	Geen reactie							
Chromogenics	75	15	+	+	x	x	x	laag	x	

Leverancier	Lichtdoor- laatbaarheid open toestand (%)	Lichtdoor- laatbaarheid gesloten toestand (%)	Instelbare lichtdoor- laatbaarheid	Toepasbaar op bestaand kasdek	Huidig e prijs (€/m ²)	Prijs grote afname	Energie- verbruik (W/m ²)	Isolatie- waarde (W/m ² K)	Levensduur (jaren met 1 schakeling per dag)
Transition	90	5	-	-	Geen productie faciliteiten				
Cricursa Critales Curvados SA	57	0.5	+	-	1000	x	<5	5.4 **	2500
Isoclima	Geen reactie								
Vision	80	20	+	+	750	50	0.5	laag	25

X= informatie niet verkrijgbaar (bijvoorbeeld omdat de ontwikkeling is gestopt of omdat informatie geheim is)

*= in de toekomst wel mogelijk

**=enkel glas

Er zijn dus verschillende leveranciers die zogenaamde 'smart windows' leveren. Helaas is het voor de meeste van deze toepassingen niet rendabel om ze in de glastuinbouw toe te passen. Er zijn verschillende redenen om de systemen niet toe te passen, waarvan de belangrijkste is: te lage lichtopbrengst.

Uiteraard is de leveranciers ook de vraag gesteld of zij in de toekomst ontwikkelingen verwachten die toepassing in de glastuinbouw mogelijk maken. Helaas waren bij de afgevalen leveranciers geen ontwikkelingen gaande die directe toepassing mogelijk maakte.

6.3 **Mogelijke leveranciers**

Een aantal leveranciers valt niet af op basis van de eerste selectie. In deze paragraaf wordt de verkregen informatie van de leverancier nader omschreven.

6.3.1 **Chromogenics**

Chromogenics produceert momenteel folies die kunnen schakelen. Deze folies worden onder andere toegepast in het vizier van een valhelm. Het principe achter het schakelen van deze folies is gebaseerd op PDLC. De transmissie van deze folie is aan de lage kant (75%). Theoretisch kan met deze folie een transmissie van 80% worden gehaald, maar in de praktijk is dit 75%. Tevens worden er momenteel alleen folies van 30x30 cm geproduceerd. Het duurt nog minstens drie jaar voordat er grotere folies op de markt komen.

Vanwege geheimhouding kan Chromogenics geen informatie geven over de prijs van hun folie. Maar de verwachting is niet dat deze veel afwijkt van de andere leveranciers.

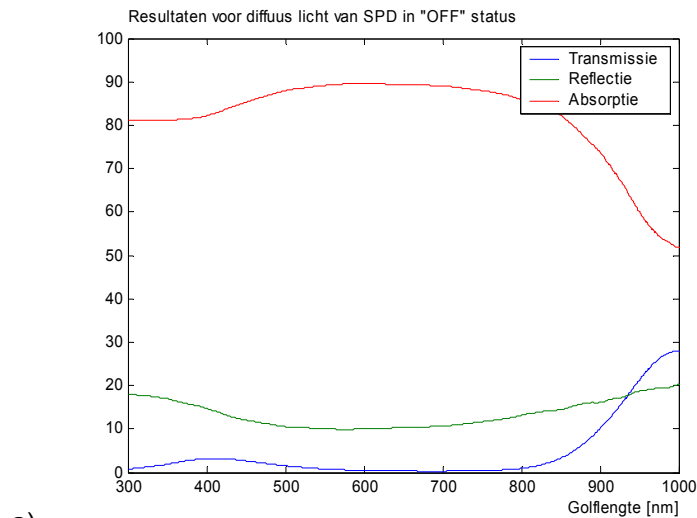
6.3.2 **Transition**

Transition is een leverancier van verkleurende brilglazen. De verkleuring is gebaseerd op fotochromatografie. Het veelbelovende systeem van Transition is niet toepasbaar, omdat Transition alleen in staat is kleine oppervlakken te voorzien van een schakelende coating. Het investeren in apparatuur voor grote oppervlakken is niet wenselijk, omdat dit resulteert in een aanzienlijke verhoging van de kostprijs. Helaas kan Transition geen schatting van de prijs geven.

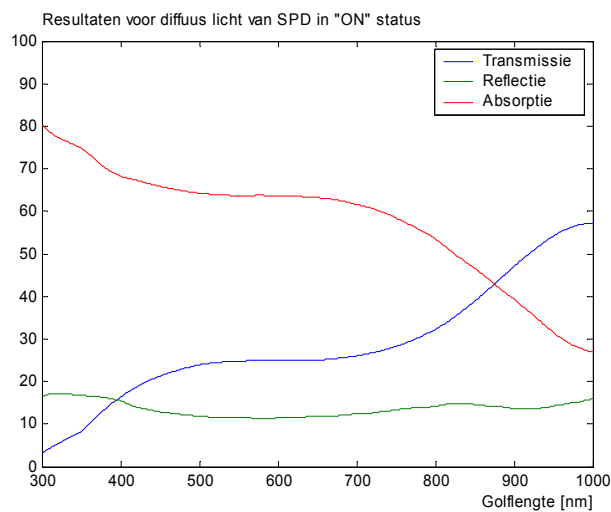
6.3.3 Vision

Vision levert twee typen schakelend glas. Het principe achter dit schakelen is PDLC. Momenteel is Vision de enige leverancier die in staat is om aan de gestelde eisen (vraag 1 t/m 9) te voldoen.

Het verschil in de twee typen schakelend glas zit in het transmissiebereik (10-70% of 20-80%). In tabel 5 staan de door de leverancier opgegeven gegevens. Ter verduidelijking heeft de leverancier een figuur (figuur 14) gestuurd, waarin de relatie tussen golflengte en transmissie staat voor het type met een transmissie bereik van 10-70%.

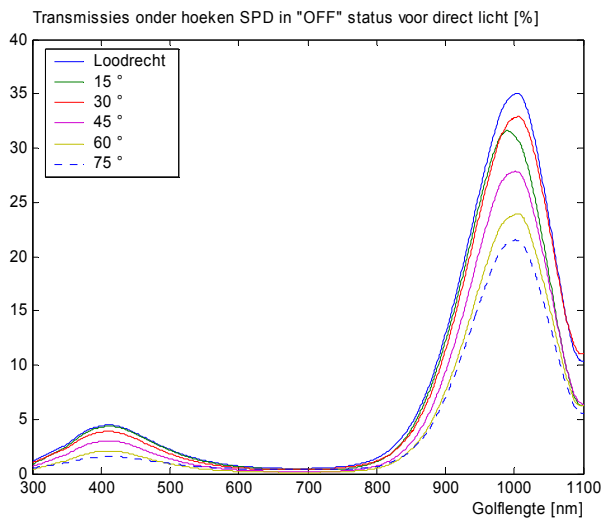


a)

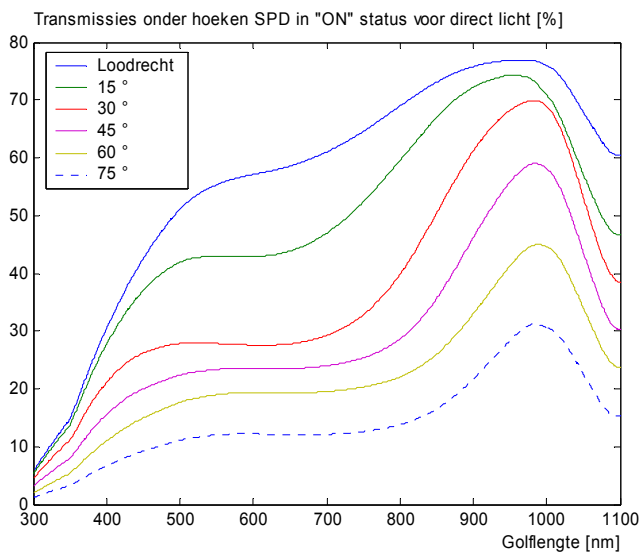


b)

Figuur 14 Transmissie eigenschappen voor diffuus licht van Vision schakelend glas; a) gesloten toestand; b) open toestand



a)



b)

Figuur 15 Hoekafhankelijke transmissie eigenschappen voor direct licht van Vision schakelend glas; a) gesloten toestand; b) open toestand

Zoals in figuur 14 en 15 is te zien is de lichttransmissie afhankelijk van de golflengte. Wanneer de resultaten van het onderzoek "Optimaal gebruik van natuurlijk licht in de glastuinbouw" worden toegepast op dit transmissie profiel, is ook dit systeem niet toepasbaar in de glastuinbouw omdat in bepaalde lichtgebieden te weinig transmissie plaatsvindt.

Het verder verhogen van de lichtopbrengst is alleen mogelijk door het aanbrengen van een extra coating of het vervangen van de ITO laag. Maar het is niet te verwachten dat met de huidige systeem configuratie de lichtopbrengst kan worden verhoogd tot 91%. Tevens is prijs van dit systeem te hoog om rendabel te kunnen worden toegepast.

6.4 **Discussie**

Voor alle systemen die zijn gebaseerd op electrochrom, LC of PDLC is de kostprijs hoog. De kostprijs wordt voornamelijk bepaald door de kosten van de geleidende ITO laag en de kosten van lamineren van de verschillende lagen. Het aanbrengen van ITO is een duur proces. Daarbij moet de ITO-laag overal dezelfde dikte hebben, want anders ontstaan er kortsluitingen. Deze eis draagt voor een groot deel bij aan de hoge kostprijs. Aangezien voor deze coating geldt dat het aanbrengen op grote oppervlakken complexer is dan kleine oppervlakken, is de verwachting dat de kostprijs van grote oppervlakken hoog is. Momenteel is de prijs ongeveer EUR 175,-- per m². Momenteel zijn deze nog niet leverbaar in oppervlakken groter dan 0.1 m².

Wanneer het systeem zou worden geoptimaliseerd voor de glastuinbouw, zal er maximaal een lichtopbrengst van maximaal 80% kunnen worden gerealiseerd. De geleidende ITO lagen zullen altijd de transmissie blijven verminderen. Een enkele ITO laag heeft een lichtopbrengst van 90% (in het meest optimale geval). Aangezien er altijd twee lagen ITO nodig zijn zal de maximale opbrengst dus $100 \cdot 90\% \cdot 90\% = 81\%$ zijn.

Uiteraard kan de lichtopbrengst wel worden verhoogd door een coating op het glas aan te brengen, die de lichtopbrengst vermeerderd.

Wellicht komt er op korte termijn een goedkopere vervanging voor ITO op de markt, de zogenoemde geleidende folies en glas gebaseerd op PEDOT (Poly-ethylendioxythiophene, een geleidend polymeer). De transmissie van een PEDOT film ligt ongeveer op 97% (AGFA). Het toepassen van een dergelijke film zal de maximale lichtopbrengst verhogen van 81% (ITO) naar $100 \cdot 97\% \cdot 97\% = 94\%$.

6.5 Conclusie

Momenteel is er een (1) leverancier in staat om te voldoen aan de eerste set van selectie criteria. Maar om dit systeem op een rendabele manier in te zetten in de glastuinbouw zal een goedkopere geleidende laag nodig zijn.

Een systeem, welke een geleidende laag met ITO gebruikt zal niet rendabel worden. Er is daarom gezocht naar een alternatief. Dit alternatief is gevonden bij de RijksUniversiteit Groningen en de Universiteit van Cincinnati. Het bedrijf Vison is bereid om informatie te verstrekken voor de ontwikkeling van zo'n nieuw systeem met vooruitzicht op aanzienlijke kostenverlaging. Vision wil ook graag betrokken worden bij de ontwikkeling.

7 TOEKOMSTIGE LICHTREGELSYSTEMEN

Huidige lichtregelsystemen zijn niet toepasbaar in de glastuinbouw vanwege hun hoge kosten en lage transmissie. Vandaar dat er is gezocht naar alternatieve systemen, gebaseerd op elektrische schakelingen. De zoektocht heeft geleid tot twee mogelijke nieuwe technieken, welke kunnen worden verder ontwikkeld voor de glastuinbouw. Voor de eerste techniek (RUG) is geen dure ITO-laag nodig. Bij het tweede systeem (Universiteit van Cincinatti) kan de ITO-laag vervangen worden door een goedkoper alternatief. Ook bij Vision zijn nieuwe ontwikkelingen gaande. Allereerst worden de eisen die worden gesteld aan een nieuw systeem beschreven.

7.1 Eisen toekomstig lichtregelsysteem

In het hoofdstuk Eisen optimaal lichtregelsysteem staan de eisen waaraan een nieuw lichtregelsysteem moet voldoen. In tabel 6 en 7 staan deze eisen nogmaals samengevat.

Tabel 6 Eisen van een lichtregelsysteem opgesplitst naar toepassingsgebied, golflengtegebied en transmissie (T) en reflectie (R)

		Lichtintensiteit	Vermindering warmtetoetreding	Verduisteren i.v.m. daglengte	Veduisteren i.v.m. lichthinder
PAR	T	Regelbaar tussen < 50% en > 90% ¹⁾	Het systeem mag nauwelijks vermindering van de lichtintensiteit op plantniveau tot gevolg hebben	< 0,1 %	< 5 % vanaf 2008 ⁴⁾
	R	Een zo groot mogelijk deel van het licht dat niet doorgelaten wordt	Onbelangrijk zolang de aan de transmissie eis wordt voldaan	Geen eisen	Zo hoog mogelijk zodat het rendement van belichting toeneemt
NIR	T	Geen eisen	Regelbaar tussen 0 en de minimaal haalbare ²⁾ transmissie	< 0,1 % in het verrood gebied	Geen eisen
	R	Geen eisen	Vrijwel alles wat niet doorgelaten wordt	Zo hoog mogelijk om hoge temperaturen onder het scherm te voorkomen	Geen eisen
FIR	T	Minimaal bij gecombineerd gebruik als energiescherm, anders geen eisen	's zomers maximaal, 's winters minimaal	Minimaal bij gecombineerd gebruik als energiescherm, anders geen eisen	Minimaal bij gecombineerd gebruik als energiescherm, anders geen eisen
	R	Maximaal bij gecombineerd gebruik als energiescherm, anders geen eisen	's zomers minimaal, 's winters maximaal	Maximaal bij gecombineerd gebruik als energiescherm, anders geen eisen	Maximaal bij gecombineerd gebruik als energiescherm, anders geen eisen

¹⁾ Wanneer het lichtregelsysteem niet hoeft te verduisteren

²⁾ Afhankelijk van een economische analyse: een duur systeem moet meer NIR tegenhouden dan een goedkoop systeem.

³⁾ Een hoge reflectiewaarde van een verduisterscherm geeft meer rendement tijdens het belichten.

⁴⁾ Volgens het plan van aanpak van stichting Natuur en Mileu.

Tabel 7 Eisen van een lichtregelsysteem opgesplitst naar toepassingsgebied, eigenschappen en gewas

Toepassingsgebied / eigenschap	Vruchtgroenten	Bladgroenten	Snijbloemen	Potplanten
Regelbare lichtintensiteit	Niet vereist, mogelijk gewenst ¹⁾	Niet vereist, mogelijk gewenst ¹⁾	Regeling direct licht Vereist	Regeling direct licht vereist
Vermindering warmtetoetreding	Vereist	Vereist	Niet vereist als prioriteit bij regelbare lichtintensiteit ligt	Niet vereist als prioriteit bij regelbare lichtintensiteit ligt
Verduisteren i.v.m. daglengte	N.v.t.	N.v.t.	Bij sommige gewassen vereist	Bij sommige gewassen vereist
Veduisteren i.v.m. lichtuitstoot	Minimaal 95% verduistering	N.v.t. wegens het niet belichten van bladgroenten	Minimaal 95% verduistering ²⁾	Minimaal 95% verduistering ²⁾
PAR transmissie diffuus in open toestand	In combinatie met het kasdek materiaal niet lager dan enkel glas (>80%)	In combinatie met het kasdek materiaal niet lager dan enkel glas (>80%)	Onder glas in combinatie met kasdek materiaal (>80%). Onder kunststof \geq 61-76%	Onder glas in combinatie met kasdek materiaal (>80%). Onder kunststof \geq 61-76%
K-waarde [$W\ m^{-2}K^{-1}$]	Als vervanging van glas niet lager dan enkel glas (5,8)	Als vervanging van glas niet lager dan enkel glas (5,8)	Als vervanging van glas of kunststof, resp. <5,8 en 3,5.	Als vervanging van glas of kunststof, resp. <5,8 en 3,5.
Prijs van huidige schermen ⁱⁱⁱ⁾	Ca. 5,5 EUR/m ²	N.v.t.	Ca. 7 EUR/m ²	Ca. 5,5 EUR/m ² + 4 EUR/m ² voor elk volgend doek
Indicatie maximale prijs nieuw systeem	Bij verminderde warmtetoetreding maximaal ca. 30 EUR/m ² en 12 EUR/m ² bij resp. 100 en 50% NIR reflectie ^{iv)} Overige toepassingen Ca. 5,5 EUR/m ²	Nu wordt geen scherm gebruikt, dus zeker < 5,5 €/m ²	Ca. 7 EUR/m ²	Ca. 5,5 EUR/m ² + 4 EUR/m ² voor elk volgend doek Het effect van regelbare intensiteit is maximaal ca. 10 EUR/m ² .
Terugverdientijd	< 5 jaar	< 5 jaar	< 5 jaar	< 5 jaar

¹⁾ De mogelijkheden van het regelen van de lichtintensiteit op zijn niet bekend

²⁾ Volgens het plan van aanpak van stichting Natuur en Milieu.

7.2 Rijks Universiteit Groningen

De Rijks Universiteit Groningen (RUG) is momenteel bezig met de ontwikkeling van zogenaamde 'smart materials'. Het doel van deze ontwikkeling is het creëren van materialen die door een simpele stimulans kunnen veranderen van eigenschappen. De afgelopen jaren is veel onderzoek gedaan naar mechanismen in moleculen die reageren op bijvoorbeeld licht, elektriciteit of verandering van dampspanning. Dit inzicht in reactiemechanismen heeft ertoe geleid dat er ook daadwerkelijk moleculen kunnen worden ontwikkeld die kunnen veranderen van gedrag.

Momenteel kunnen er moleculen worden ontwikkeld die kunnen draaien onder invloed van UV-straling. Hiermee kan lichtenergie worden omgezet in bewegingsenergie.

Ook er is een molecuul ontwikkeld dat in kleine hoeveelheden aan een vloeistof kan worden toegevoegd. Onder invloed van elektriciteit of UV-licht veranderd deze vloeistof in een gelachtige stof. Dit kan het vervoeren van vloeistoffen makkelijker en veiliger maken.

Tevens is er een molecuul ontwikkeld dat reageert op de verandering in dampspanning als je het oppervlak van water nadert. Hiermee kan een schakelaar worden ontworpen die in- of uitschakelt, zodra het in de buurt van water komt.

Kortom er kan worden 'ge-lego-d' met moleculen, wat leidt tot een uitgebreid pakket van materiaal veranderingen. Momenteel is op laboratoriumschaal aangetoond dat de moleculen ook daadwerkelijk reageren op een stimulans.

De moleculen die zover ontwikkeld zijn, vertonen geen ingewikkelde structuren en daarom is de verwachting dat de prijs, bij massaproductie, niet erg hoog zal zijn.

Nadat er uitgebreid gesproken is met de RUG is duidelijk geworden dat het juiste materiaal, dat aan de eerder gestelde eisen voldoet, momenteel niet direct beschikbaar is. Desondanks hebben de 'smart materials' wel de potentie om hieraan te kunnen voldoen. Wanneer het pakket met eisen wordt neergelegd kan er een 'tailor made' materiaal worden ontwikkeld. In eerste instantie zal het eisenpakket moeten worden vertaald in een passend molecuul. Vervolgens kan dit molecuul op laboratoriumschaal worden geproduceerd en worden getest op de gestelde eisen. Dit passende molecuul kan worden gecombineerd met glas en plastic. Hierbij kan gedacht worden aan het intergreren van het molecuul in glas of plastic, of het molecuul aanbrengen als coating op bestaande glasplaten en plasticfolie. Ook kan op de universiteit een kleine hoeveelheid van het materiaal worden geproduceerd, wat vervolgens in een test-kas kan worden toegepast. Alvorens het op grote schaal te gaan produceren in

een fabriek. Voordat het materiaal daadwerkelijk op grote schaal zal kunnen geproduceerd, zullen er een paar jaar van testen en doorontwikkeling moeten worden doorstaan.

Maar uiteindelijk zal er een oplossing liggen

- welke voldoet aan de gestelde materiaaleisen
- makkelijk toepasbaar is op bestaande kassen
- regelbare transmissie
- een goede prijs/kwaliteit verhouding heeft.

7.3 **Universiteit van Cincinatti**

Bij de Universiteit van Cincinatti (USA) worden momenteel lichtschakelaars ontwikkeld voor toepassing in flat-panel-display technology. Het idee is dat met behulp van vloeibare, gekleurde bolletjes kan worden geschakeld. Wanneer een bepaalde kleur niet gewenst is wordt deze in een hoekje opgerold en laat de rest van de pixel licht door. Wanneer een bepaalde kleur gewenst is, wordt het bolletje uitgerold en laat de pixel de kleur van het bolletje door.

Deze technologie kan worden verder ontwikkeld voor toepassing in de glastuinbouw. Een bijkomend voordeel is dat de bolletjes selectief voor bepaalde lichtgebieden kunnen worden gemaakt, waardoor andere lichtgebieden wel worden doorgelaten. In het geval dat de bolletjes worden gemaakt van water, kan de transmissie zelfs worden verhoogd. Bij een dergelijk systeem is nog wel een geleidende laag nodig, maar dat hoeft niet per definitie het dure ITO te zijn. Doordat het systeem voor toepassing in de glastuinbouw nog ontwikkeld moet worden kan de ITO-laag worden vervangen door een goedkoper alternatief. Bij reeds bestaande systemen is hier veelal geen ruimte meer voor.

De Universiteit van Cincinatti staat welwillende tegenover het ontwikkelen van een nieuw systeem. Hierbij zijn zij in staat om eerst een klein oppervlak te voorzien van hun schakelaars, zodat het functioneren kan worden getest. Vervolgens kan het materiaal op grote schaal worden geproduceerd. Omdat hier, net als bij de RUG, geen ingewikkelde stoffen noodzakelijk zijn is de verwachting dat de prijs aanzienlijk lager komt te liggen dan de huidige systemen.

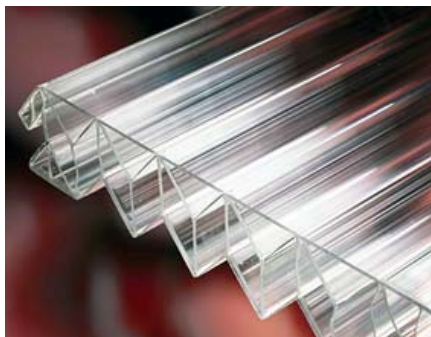
7.4 Vision

Het bedrijf Vision is geïnteresseerd in nieuwe ontwikkelingen op het gebied van 'smart windows'. Zelf doen ze ook veel aan ontwikkeling, maar in verband met geheimhouding kan in dit rapport niets worden genoemd over deze ontwikkelingen.

Vision is bereid om betrokken te zijn bij de ontwikkeling van 'smart window' voor de glastuinbouw.

7.5 Toekomstige systemen voor de Zig-Zag kasdek

Uiteraard kan in een kas met zig-zag kasdek (figuur 16) een standaard mechanische afscherming worden toegepast. Maar een zig-zag kasdek heeft als bijkomend voordeel dat er een flexibele afscherming kan worden toegepast tussen de twee deklagen. Deze afscherming kan in zijn geheel worden verwijderd bij te weinig zonlicht. Een afschermingsysteem, specifiek voor zig-zag, is nog niet beschikbaar op de markt. Daarom is tijdens dit project ook gekeken naar de toepasbaarheid van elektrische folieschermen in zig-zag kas.



Figuur 16 Zigzak kasdek systeem

Een idee voor een flexibel afschermingsysteem is bijvoorbeeld een waterfilm met daarin bolletjes verwerkt, welke voor de afscherming zorgen. Wanneer er te weinig zonlicht is, kan het water worden afgepompt. Wanneer een flexibele transmissie-instelling is gewenst, zal de concentratie bolletjes moeten worden gevarieerd. Hiervoor moeten de bolletjes worden gescheiden van het water tijdens het afpompen. In het meest ideale geval moet ook de intensiteit van verschillende golflengtegebieden worden beïnvloed. Hiervoor zijn dan

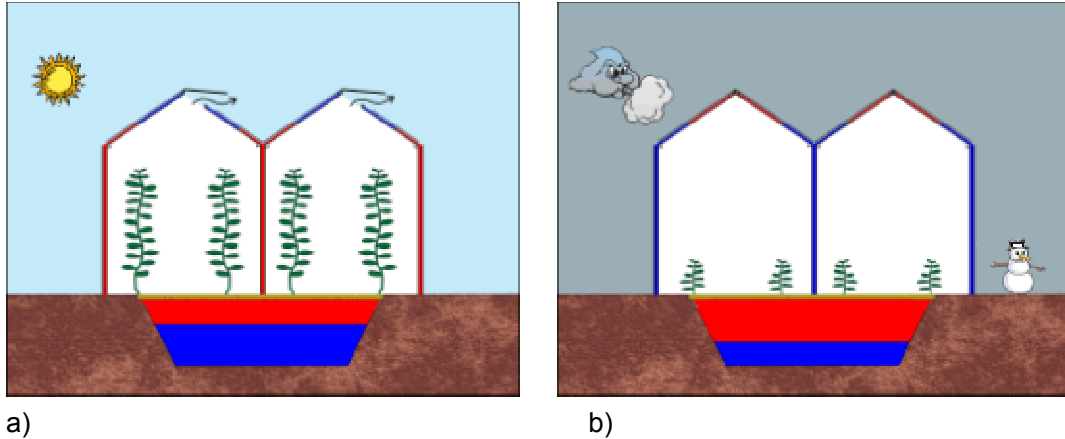
bijvoorbeeld gekleurde bolletjes nodig. Deze moeten achteraf worden gescheiden, wat extra moeilijkheden met zich meebrengt.

Tijdens de ontwikkeling van een nieuw systeem kan er rekening worden gehouden met toepassing in zig-zag kassen. Een voorbeeld hiervan kan zijn dat bij teveel zonlicht een vloeistof tussen kasdeklagen wordt gepompt. Met het aanbrengen van een stroom verandert deze vloeistof in een gel en blijft dus zitten tussen de deklagen. Vervolgens kan onder invloed van UV-licht de gel van kleur (meerdere golflengtegebieden zijn mogelijk in één materiaal) veranderen en daarmee wordt de lichttransmissie beïnvloed. Wanneer de afscherming niet meer nodig is, kan door middel van het aanbrengen van een stroom, de gel in vloeistof worden omgezet. Vervolgens kan de vloeistof tussen de deklagen worden afgepompt.

Ook is het wellicht mogelijk om het eerder beschreven pixelsysteem tussen de twee lagen aan te brengen. Waarmee het doorlaten van verschillende golflengtegebieden kan worden beïnvloed.

7.6 Toekomstige systemen voor het klimrek energiescherm

Met het klimrek concept is het reeds mogelijk om een energiescherm in te bouwen in bestaande kassen. Dit energiescherm regelt met behulp van een waterfilm, tussen het scherm en het kasdek, de temperatuur in de kas (figuur 17). Een mogelijkheid hierbij is om deeltjes aan het water toe te voegen om de afscherming van zonlicht te regelen. De pigmenten die aan het water worden toegevoegd verminderen de transmissie. Ook verminderd het aanbrengen van een waterfilm de transmissie, ondanks dat een waterfilm een hoge lichtdoorlaatbaarheid heeft.



a) b)
 Figuur 17 Klimrek energiescherm waarbij: a) in de zomer de kas wordt gekoeld met koud water; b) in de winter de kas wordt verwarmd met warm water. (<http://www.klimrek.com/Klimrek/Energiescherm/16>)

Tijdens de ontwikkeling van een nieuw licht-reguleringsstelsel is het mogelijk om moleculen te verwerken in het folie, welke onder invloed van stroom of licht van kleur kunnen veranderen. Wellicht is het ook mogelijk een pixel-systeem toe te passen op het folie.

Het integreren van een nieuw licht-reguleringsstelsel in een klimrek kas is denkbaar doormiddel van het integreren van een schakelend molecuul in het kasdek. De ontwikkeling voor deze specifieke toepassing zal sterke gelijkenissen hebben met de ontwikkeling van een systeem voor bestaande kasdek materialen.

7.7 Discussie

Al met al zou de ontwikkeling van een nieuw systeem een oplossing kunnen bieden voor het gestelde overbelichting- en assimilatieverlichting probleem. Het voorstel is dan ook om het tweede gedeelte van dit project te concentreren op een haalbaarheidsstudie naar een de twee genoemde technieken. Hoofdpunten van deze haalbaarheidsstudie zullen zijn:

- voldoen aan de gestelde eisen
- ontwikkelingstijd
- prijsbeheersing
- partners
- ontwikkelplan.

Tevens kan in het tweede deel worden gekeken naar de relatie prijs, transmissie en productieopbrengst. Voor de gewasgroepen wordt berekend welke prijs maximaal toelaatbaar is, bij gegeven isolatiewaarde en transmissie. Waarbij ook de transmissie en isolatiewaarde worden gevarieerd. Op deze manier kan een inzicht worden verkregen in concrete eisen voor het lichtregelsysteem.

8 CONCLUSIE

De eisen die worden gesteld aan een schakelend systeem variëren per toepassing, zoals weergegeven in tabel 8. De eisen variëren dus ook per gewastype. In het ideale geval is het schakelende systeem in staat om aan al de eisen te voldoen. Om een goed overzicht te krijgen van de eigenschappen van schakelende systemen die momenteel op de markt zijn, zijn leveranciers benaderd. Door middel van een vragenlijst hebben zij aangegeven in welke mate hun systeem voldoet aan de eisen.

Tabel 8 Eisen van een lichtregelsysteem opgesplitst naar toepassingsgebied, golflengtegebied en transmissie (T) en reflectie (R)

		Lichtintensiteit	Vermindering warmtetoetreding	Verduisteren i.v.m. daglengte	Veduisteren i.v.m. lichthinder
PAR	T	Regelbaar tussen < 50% en > 90% ¹⁾	Het systeem mag nauwelijks vermindering van de lichtintensiteit op plantniveau tot gevolg hebben	< 0,1 %	< 5 % vanaf 2008 ⁴⁾
	R	Een zo groot mogelijk deel van het licht dat niet doorgelaten wordt	Onbelangrijk zolang de aan de transmissie eis wordt voldaan	Geen eisen	Zo hoog mogelijk zodat het rendement van belichting toeneemt
NIR	T	Geen eisen	Regelbaar tussen 0 en de minimaal haalbare ²⁾ transmissie	< 0,1 % in het verrood gebied	Geen eisen
	R	Geen eisen	Vrijwel alles wat niet doorgelaten wordt	Zo hoog mogelijk om hoge temperaturen onder het scherm te voorkomen	Geen eisen
FIR	T	Minimaal bij gecombineerd gebruik als energiescherm, anders geen eisen	's zomers maximaal, 's winters minimaal	Minimaal bij gecombineerd gebruik als energiescherm, anders geen eisen	Minimaal bij gecombineerd gebruik als energiescherm, anders geen eisen
	R	Maximaal bij gecombineerd gebruik als energiescherm, anders geen eisen	's zomers minimaal, 's winters maximaal	Maximaal bij gecombineerd gebruik als energiescherm, anders geen eisen	Maximaal bij gecombineerd gebruik als energiescherm, anders geen eisen

¹⁾ Wanneer het lichtregelsysteem niet hoeft te verduisteren

²⁾ Afhankelijk van een economische analyse: een duur systeem moet meer NIR tegenhouden dan een goedkoop systeem.

³⁾ Een hoge reflectiewaarde van een verduisterscherm geeft meer rendement tijdens het belichten.

⁴⁾ Volgens het plan van aanpak van stichting Natuur en Milieu.

Er zijn meerdere elektrisch schakelende systemen verkrijgbaar, welke in staat zijn om van kleurloos naar een gekleurd te schakelen. Afhankelijk van het type systeem (electrochroom, liquid crystal, polymer dispersed liquid crystal en foto- en thermochromatisch) zijn er meerdere lagen nodig om het systeem te laten functioneren. Het gebruik van meerdere lagen resulteert in een aanzienlijk lagere lichttransmissie dan voor de huidige kasdekmaterialen. Op basis van huidig gebruikte technieken is de verwachting dat de lichtopbrengst niet boven de 81% zal uitkomen en de prijs zal ook te hoog blijven. Deze verlaging van de transmissie maakt het onrendabel om de verkrijgbare systemen rendabel toe te passen in de glastuinbouw. Daarom is er gezocht naar een alternatief, welke wel aan de gestelde eisen voldoet.

Er bestaat de mogelijkheid om een nieuw systeem te ontwikkelen. Dit systeem vereist niet meerdere lagen (zoals bij de huidige systemen), waardoor de transmissie aanzienlijk hoger zal zijn dan voor de beschreven lichtregelsystemen. Eventueel bestaat de mogelijkheid om de transmissie van het nieuwe systeem extra te verhogen door ontwikkelingen, die nu in anti-reflectie coatings worden gebruikt toe te passen.

Omdat dit systeem niet gebaseerd is op bestaande technieken is het mogelijk om het helemaal aan te passen naar de eisen en wensen in de glasbouw. De eisen die gesteld worden, zijn sterk afhankelijk van het gewas. Zo zijn er gewassen, zoals bepaalde potplanten, waarvoor extra geschermd wordt om de daglengte te verkorten. Tevens zijn er gewassen, bijvoorbeeld vruchtgroenten, waarbij de daglengte wordt verlengd met assimilatieverlichting. Voor deze laatste gewassen wordt momenteel geschermd om de temperatuur in de kas niet te hoog laten worden.

Een nieuw te ontwikkelen lichtregelsysteem heeft de potentie om zowel afschermen tegen teveel licht als warmte buiten houden met een regelbare transmissie te combineren.

Omdat het nieuwe systeem van de 'bottom-up' moet worden ontwikkeld, is het mogelijk om deze zodanig flexibel te maken zodat het zowel in glas als in kunststof kasdek kan worden toegepast. Te denken valt aan een materiaal dat tijdens de smelt aan het glas of plastic wordt toegevoegd. Maar het kan ook zo zijn dat het systeem als coating kan worden verwerkt.

De technieken die kunnen worden gebruikt (zoals die technieken uit Groningen en Cincinatti) zijn nog in ontwikkeling en kunnen nu nog worden geoptimaliseerd voor toepassing in kasdekken. Als de systemen eenmaal zijn uitontwikkeld zal dit een stuk moeilijker zijn, en zal er slechts een semi-optimaal systeem mogelijk zijn. Wanneer nu wordt ingehaakt kunnen er bijvoorbeeld optimalisaties ten behoeve van het regelgedrag plaatsvinden. Afhankelijk van

de wensen kan bijvoorbeeld worden besloten om het schakelgedrag in stappen te laten plaatsvinden (10%, 20%, 30% enz. verduistering) of traploos. Tevens kunnen de signalen waarop het dek schakelt worden geoptimaliseerd. Zo kan er gedacht worden aan een systeem dat onder invloed van stroom schakelt, maar het is ook mogelijk om een systeem te ontwikkelen dat onder invloed van de hoeveelheid UV in het licht schakelt. Hierover zal moeten worden overlegd met de producenten en gebruikers over wat het meest optimaal is.

Een 'tailor made' flexibel schakelend systeem kan worden ontwikkeld. Voor een optimale ontwikkeling is samenwerking tussen onderzoeksinstituten/ universiteiten, producenten en gebruikers noodzakelijk. Bij deze ontwikkeling zijn de specificaties van de glastuinbouw zijn hierbij sturend. In de aanbevelingen staat een plan van aanpak voor het bestuderen van de haalbaarheid van een nieuwe ontwikkeling beschreven.

9 AANBEVELINGEN

Momenteel zijn er geen systemen beschikbaar die direct toepasbaar zijn in de glastuinbouw. Echter, het is wel mogelijk om een materiaal te ontwikkelen, specifiek voor toepassingen in glastuinbouw. Voordat een dergelijk ontwikkelingstraject wordt gestart, is het van belang een haalbaarheidsstudie uit te voeren. Een dergelijke haalbaarheidsstudie moet de volgende aspecten bevatten:

- voldoen aan de gestelde eisen
- ontwikkelingstijd
- prijsbeheersing
- partners
- ontwikkelplan.

Omdat het nieuwe systeem van de 'bottom up' kan worden ontwikkeld is het allereerst van belang inzicht te krijgen in de wensen van de eindgebruikers van het product. Vooralsnog zijn deze eisen gebaseerd op ervaringen met schermen zoals deze nu worden toegepast. Wellicht is dit niet optimaal en willen kwekers het liever anders als ze de keus zouden hebben. Tevens is het van belang om een overzicht te krijgen van wat er allemaal mogelijk is met de technieken die in ontwikkeling zijn, zodat deze kunnen worden geoptimaliseerd voor de glastuinbouw. Uiteraard weten wij nu niet wat over 10 jaar de nieuwe inzichten zijn in het gebruik van licht in de glasbouw, bijvoorbeeld de toepassing van de gesloten kas, NIR in de kas en het gebruik van diffuus licht. Daarom is het van belang om het te ontwikkelen systeem zodanig flexibel te houden, dat ook nieuwe inzichten erin kunnen worden verwerkt. Om deze aspecten allemaal op een rij te krijgen, moeten de ontwikkelaars, de eventuele producenten, de eindgebruikers en specialisten op het gebied van gewassen en glastuinbouw om de tafel gaan zitten. Middels een workshop moet worden vastgesteld hoe de verschillende aspecten kunnen worden gecombineerd, zodat er een optimaal lichtregel-systeem kan worden ontwikkeld. Tijdens de workshop is het van belang dat bestaande systemen worden vergeten, om de ontwikkeling van een nieuw systeem niet in de weg te staan.

De uitkomsten van de workshop worden gebruikt als leidraad om specificaties op te stellen waaraan een nieuw systeem moet voldoen. Vervolgens moeten de te verwachten kosten voor een dergelijk systeem worden bepaald, waarbij de huidige investeringsprijzen als richtlijn worden genomen. Hiervoor is informatie van mogelijke leveranciers en ontwikkelaars noodzakelijk. Net als voor de bepaling van de ontwikkelingstijd van een nieuw systeem.

Op basis hiervan kan een ontwikkelplan worden opgesteld, waarin de ontwikkelingsstappen die moeten worden genomen worden beschreven. Tevens wordt hierin beschreven hoe het systeem vanuit de ontwikkelingsfase moet worden vertaald naar productie en welke partners hiervoor nodig zijn er ook bij betrokken willen zijn. Ook zullen toekomstige maatregelen om de financiering van een dergelijk project te realiseren worden beschreven. Ook hierbij wordt de rol van de verschillende partners in ogenschouw genomen.

LITERATUUR

HEMMING S. et al., 2004, Optimaal gebruik van natuurlijk licht in de glastuinbouw, Report nr. 100, Agrotechnology & Food Innovations B.V. febr. 2004.

PBG, 2000.

SVENSSON.

KWIN 2003-2004, Kwantitatieve Informatie voor de Glastuinbouw. Groenten – Snijbloemen – Potplanten.

ONDER GLAS 2005, Nummer 6/7, Juni/Juli 2005, Jaargang 2.

HEMMING S. et al., 2005, Minder NIR, Agrotechnology & Food Innovations B.V. In press, najaar 2005.

AGFA, informatie gekregen van Agfa (producent PEDOT folies).

BIJLAGE A BENADERDE LEVERANCIERS

Leverancier	Product-naam	in productie/ in ontwikkeling	toegepaste techniek *	Glas / folie	internetsite	Opmerkingen
Sage electrochromics	SageGlass	productie	electrochrom	glas	www.sage-ec.com	Is een door de Amerikaanse overheid gesubsidieerd onderzoek begonnen samen met 3M. Inmiddels produceren ze succesvol.
Pulp Studio Inc	SwitchLite	verkooporganisatie	LC	glas	www.switchlite.com	
Suntek	Cloud Gel	Project gestopt	LC	glas		Bedrijf is overgegaan in Southwall. Southwall doet niets meer aan elektrisch schakelende ramen.
Saint-Gobain	SGG Priva-lite	productie	LC	glas	www.sggprivalite.com	Verwacht niet dat priva-lite geschikt is voor kasttoepassing, door gewicht en temperatuur beperking.
3M		Project gestopt			www.3m.nl	3M heeft iets dergelijks met succes ontwikkeld, maar door de kosten is het project stil gelegd. Onderdeel is overgegaan in Flabeg. Flabeg heeft electrochrome ramen geproduceerd, maar is hiermee gestopt nadat de trials niet goed waren.
Pilkington GEP		Project gestopt ontwikkeling	LC PDLC/cholesteric polymers	folie	www.pilkington.nl www.geplastics.com	
Chelix SmartGlass Ireland	Luxvu SPD Window	productie		glas	www.chelix.com	
Innovative Glass Corp.	SPD Smartglass SPD	productie	PDLC	glas	www.glass.ie www.innovativeglasscorp.com	
BRG Group	Window	productie	PDLC	glas/folie	http://www.brgsmartglass.com	



Chromogenics	EC-foil	productie	PDLC	folie	www.chromogenics.se	
Transition	??	productie	photochromatic	glas/folie	www.transition.com	
Crisursa						
Cristales						
Curvados SA	Cri-Regulite	productie	PDLC	glas	www.cricursa.com	
Isoclima	?	?	PDLC	?		Reageert niet
Vision	?	productie	PDLC	folie		

*LC= Liquid Crystal, PDLC= Polymer Dispersed Liquid Crystal

ⁱ Kwantitatieve Informatie voor de Glastuinbouw 2003-2004 (KWIN). Groenten – Snijbloemen – Potplanten.

ⁱⁱ Hemming S. et al., 2005, Minder NIR, Agrotechnology & Food Innovations B.V. In press, najaar 2005.

ⁱⁱⁱ Kwantitatieve Informatie voor de Glastuinbouw 2003-2004 (KWIN). Groenten – Snijbloemen – Potplanten.

^{iv} Hemming S. et al., 2005, Minder NIR, Agrotechnology & Food Innovations B.V. In press, najaar 2005.