

Diffuus licht

Het effect van lichtverstrooiende kasdekmaterialen op kasklimaat,
lichtdoordringing en gewasgroei

Silke Hemming,
Tom Dueck
Nollie Marissen,
Raymond Jongschaap,
Frank Kempkes,
Nico van de Braak

Rapport 557

Colofon

Titel	Diffuus licht
Auteur(s)	Silke Hemming, Tom Dueck, Nollie Marissen, Raymond Jongschaap, Frank Kempkes, Nico van de Braak
A&F nummer	557
ISBN-nummer	90-6754-978-9
Publicatiedatum	November 2005
Vertrouwelijk	Nee
OPD-code	OPD-code
Goedgekeurd door	Naam functionaris

Agrotechnology & Food Innovations B.V.
P.O. Box 17
NL-6700 AA Wageningen
Tel: +31 (0)317 475 024
E-mail: info.agrotechnologyandfood@wur.nl
Internet: www.agrotechnologyandfood.wur.nl

© Agrotechnology & Food Innovations B.V. versie 3, 03-11-2004.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, hetzij mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. De uitgever aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele fouten of onvolkomenheden.

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



Het kwaliteitsmanagementsysteem van Agrotechnology & Food Innovations B.V. is gecertificeerd door SGS International Certification Services EESV op basis van ISO 9001:2000.

Abstract

In kassen wordt het binnenvallende zonlicht niet regelmatig verdeeld. Hoogopgaande gewassen zoals tomaat en paprika hebben veel bladmassa. De verticale lichtverdeling in deze gewassen is niet optimaal. De bovenste bladeren onderscheppen veel licht, meer dan gebruikt kan worden voor fotosynthese en veel minder licht dringt in diepere lagen van het gewas, zodat de onderste bladeren nauwelijks bijdragen aan de fotosynthese en groei. Als licht van boven naar beneden beter kan worden verdeeld, stijgt naar verwachting de fotosynthese-efficiëntie van de plant. Dit kan bijvoorbeeld worden bereikt door het licht diffuus te maken. Diffuus licht biedt naar verwachting voordelen voor productie van hoogopgaande gewassen in Nederland.

In dit project worden de potenties van het gebruik van diffuus licht in de Nederlandse kasuinbouw onderzocht. Na een inleiding in hoofdstuk 1 volgt in hoofdstuk 2 een literatuuroverzicht over onderzoek gerelateerd aan diffuus licht in ecosystemen en de tuinbouwproductie. De lichtomstandigheden in Nederland worden omschreven en er wordt geanalyseerd hoeveel directe straling jaarrond aanwezig is (hoofdstuk 3). Vervolgens worden bestaande kasdek- en schermmaterialen geïnventariseerd en hun optische eigenschappen geanalyseerd. Er wordt vastgesteld welke eisen te stellen zijn aan een lichtverstrooiend kasdek- of schermmateriaal (hoofdstuk 4). De lichtdoordringing van verschillende gewassen in verschillende groeistadia onder verschillende weersomstandigheden (bewolkte en heldere dagen) en seizoenen wordt onderzocht. Door plantengroeimodellen wordt geanalyseerd in hoe verre een andere lichtverdeling ook de fotosynthese bevordert en de productie verhoogd (hoofdstuk 6). Ook de invloed van diffuus licht op het kasklimaat wordt met behulp van modellen onderzocht (hoofdstuk 5). Deze studie sluit af met een economische analyse (hoofdstuk 7). Alle resultaten zijn samengevat in de hoofdstukken 0 en 8.

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen UR in opdracht van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit LNV en het Productschap Tuinbouw PT in het kader van het energieonderzoeksprogramma 399.

Keywords: natuurlijk licht, diffuus licht, PAR, zonnestraling, lichtverstrooiing, diffusiteit, haze, kasdek materiaal, scherm, transmissie, tomaat, paprika, komkommer, lichtdoordringing, fotosynthese, gewasmodellen, INTKAM, kasklimaat, KASPRO, energie-efficiënte

Samenvatting

Probleem: In kassen wordt licht niet regelmatig verdeeld. Hoogopgaande gewassen zoals tomaat en paprika hebben veel bladmassa. De verticale lichtverdeling in deze gewassen is slecht. De bovenste bladeren onderscheppen veel licht, veel minder licht dringt in diepere lagen van het gewas, zodat de onderste bladeren nauwelijks bijdragen aan de fotosynthese en groei.

Hypothese: Als dus licht van boven naar beneden kan worden verdeeld, stijgt naar verwachting de fotosynthese-efficiëntie van de plant. Dit kan bijvoorbeeld worden bereikt door het licht diffuus te maken. Van wetenschappelijk onderzoek in ecosystemen is bekend, dat diffuus licht beter in een gewas door kan dringen dan direct licht en beter kan worden benut door verschillende gewassen. Er zijn kasdek- en schermmaterialen, die in staat zijn om direct licht om te zetten in diffuus licht.

Doel project: In dit project worden de potenties van het gebruik van diffuus licht in de Nederlandse kasbouw onderzocht. Er wordt onderzocht hoeveel directe straling jaarrond aanwezig is en welke eisen te stellen zijn aan een lichtverstrooiend kasdek- of schermmateriaal. De lichtdoordringing van verschillende gewassen in verschillende groeistadia onder verschillende weersomstandigheden (bewolkte en heldere dagen) en seizoenen wordt onderzocht. Door plantengroei modellen wordt geanalyseerd in hoe verre een andere lichtverdeling ook de fotosynthese bevordert en de productie verhoogd.

Lichtomstandigheden in Nederland

→ Het Nederlandse klimaat is gekarakteriseerd door een globale straling van rond 3650 MJ/m^2 per jaar. De stralingssom in de zomermaanden is ongeveer tien keer zo hoog als in de wintermaanden. Het aandeel directe straling is in de winter gemiddeld rond 20%, terwijl het in de zomer rond 40% bedraagt.

→ Het aandeel PAR in de globale straling varieert. Terwijl het aandeel PAR op heldere dagen jaarrond ongeveer constant op ca. 44% blijft, neemt het aandeel PAR op bewolkte dagen toe. De variatie van het aandeel PAR kan ook een belangrijke rol spelen voor de tuinbouwpraktijk.

→ Maar een deel van de globale straling en de PAR straling komen in de kas. Vooral de transparante kasomhulling heeft invloed op de totale transmissie van de kas. Omdat het aandeel natuurlijke diffuse straling groot is, is ook de transmissie van de transparante kasomhulling voor diffuse straling jaarrond belangrijk. Echter, ook de transmissie voor directe straling is bepalend voor de totale lichtsom in de kas en daarmee in het gewas.

→ Aan de transparante kasomhulling kan een verschuiving plaats vinden van de verhouding tussen directe en diffuse straling. Een kasdek materiaal, dat theoretisch in staat is alle directe straling om te zetten in diffuse straling, kan jaarrond ca. 1080 MJ/m^2 globale straling omzetten (rond een derde van de totale stralingssom), dat komt overeen met ongeveer 500 MJ/m^2 PAR straling, waarvan rond 100 MJ/m^2 tijdens de wintermaanden en meer dan 400 MJ/m^2 tijdens de zomermaanden.

→ Potentieel is een groter effect van een lichtverstrooiend kasdek- of schermmateriaal tijdens de zomermaanden te verwachten dan tijdens de wintermaanden.

Lichtverstrooiende materialen

→ Er zijn verschillende lichtverstrooiende materialen beschikbaar. De transmissie voor direct licht is vaak hoog. De transmissie voor diffuus licht is naar verhouding lager van een lichtverstrooiend materiaal ten opzichte van een helder materiaal, omdat de lichttransmissie onder kleine invalshoeken afneemt.

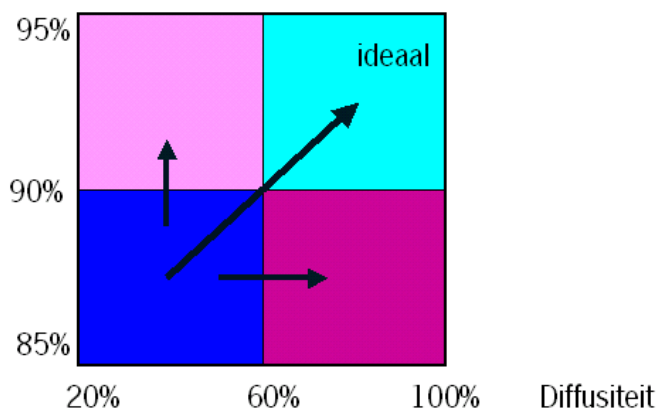
→ Het lichtverstrooiend vermogen (Haze) van verschillende kasdek- of schermmaterialen varieert tussen 15-45% voor glasmaterialen en tussen 70-80% voor goede folie- of schermmaterialen.

→ Er zijn reeds materialen, die een hoge lichttransmissie jaarrond combineren met redelijke lichtverstrooiende eigenschappen. Een verdere optimalisatie is echter wenselijk. Een combinatie van het juiste basismateriaal met een goede lichtverstrooiende structuur en eventueel additionele lichtverhogende coatings biedt mogelijkheden voor een optimalisatie van lichtverstrooiende kasdekmaterialen voor de Nederlandse tuinbouw.

→ Er is voldoende economisch perspectief voor het optimaliseren en ontwikkelen van nieuwe kasdekmaterialen. De meerkosten voor de investering in een goed lichtverstrooiend kasdek materiaal mogen rond de €5-10 per m² kas zijn.

→ Het ideale kasdek materiaal heeft de volgende eigenschappen:

Transmissie



Beïnvloeding van het kasklimaat

→ Een lichtverstrooiend kasdek materiaal heeft nauwelijks gevolgen voor het kasklimaat. Dit geldt voor alle drie gewassen: komkommer, paprika en tomaat. Er is een kleine afname van de gewasverdamping door toenemende lichtverstrooiing te constateren, vooral bij hoge PAR niveaus.

→ Een lichtverstrooiend binnenscherm vormt een barrière voor de luchtuitwisseling. Hierdoor kan de gemiddelde kasluchttemperatuur meer dan 3.5°C stijgen, waardoor de kas 30-40% meer gelucht moet worden. Verder vormt een scherm een tweede lichtonderscheppende laag in de kas, waardoor de hoeveelheid PAR tot 15% kan worden gereduceerd. Omdat in de analyse van de gewasreactie werd vastgesteld dat een hogere diffusiteit van een materiaal een reductie van de hoeveelheid PAR maar ten dele compenseert, is het gebruik van scherm, met het doel het licht diffuus te maken, niet aan te raden.

Lichtdoordringing en gewasreactie

Komkommer

→ Het effect van de lichtverstrooiing op de fotosynthese is in alle seizoenen positief. In voorjaar en najaar heeft de lichtverstrooiing een extra positief effect heeft bij hoge lichtdoorlatendheid van het kasdek. Een kasdek dat 80 % van het directe licht omzet in diffuus licht heeft al bijna hetzelfde effect als een volledig diffuus kasdek.

→ Vooral in de voorjaars- en de najaarsteelt profiteert komkommer in hoge mate van diffuus licht dat dieper in het gewas doordringt. De bij direct licht optredende inefficiëntie van het fotosynthesesysteem in de bovenste bladeren die veroorzaakt wordt door lichtverzadiging bij een hoge PAR onderschepping, wordt hierdoor verminderd. De onderliggende bladlagen hebben voldoende capaciteit om de doorgelaten diffuse straling te onderscheppen en efficiënt te gebruiken, en realiseren daardoor een toename in de fotosynthese.

→ De winterteelt van komkommer profiteert wat minder van het verstrooien van direct licht. Dat komt doordat het PAR niveau lager is in de winter en het aandeel diffuus PAR-licht in de winter al groot is, en dus het effect van het verstrooien van het niet-diffuse licht kleiner zal zijn dan in de zomer. Ook heeft een winterteelt van komkommer een lagere PAR onderschepping door de tragere opbouw van de bladoppervlakte en een mindere hoeveelheid blad aan het einde van de teelt.

→ Aan het begin van de teelt heeft het gewas te kleine bladoppervlakten om al het licht te onderscheppen. In deze periodes heeft diffuus licht volgens de modelberekeningen geen positief effect. Het zorgen voor een snelle opbouw van een groot bladoppervlak, tussenplanten of een hogere plantdichtheid aan het begin van de teelt wordt aanbevolen.

Paprika

→ Door het hoge bladoppervlak profiteert paprika in hoge mate van diffuus licht dat dieper in het gewas doordringt. De inefficiëntie van het fotosynthesesysteem in de bovenste bladeren, die veroorzaakt wordt door lichtverzadiging bij een hoge PAR onderschepping, wordt hierdoor verminderd. De onderliggende bladlagen hebben voldoende capaciteit om de doorgelaten diffuse straling te onderscheppen en efficiënt te gebruiken en realiseren daardoor een toename in de fotosynthese.

→ Aan het begin van de teelt heeft het gewas te kleine bladoppervlakten om al het licht te onderscheppen. In deze periodes heeft diffuus licht volgens de modelberekeningen geen positief effect. Het zorgen voor een snelle opbouw van een groot bladoppervlak of een hogere plantdichtheid aan het begin van de teelt wordt aanbevolen.

→ In eerdere studies is het nut van bladplukken bij paprika aangetoond. Om al het aangeboden PAR te onderscheppen en efficiënt te gebruiken zal er genoeg bladoppervlak over moeten blijven om de doorgelaten diffuse straling te onderscheppen.

Tomaat

→ Tomaat profiteert van diffuus licht dat dieper in het gewas doordringt. De inefficiëntie van het fotosynthesesysteem in de bovenste bladeren, dat veroorzaakt wordt door lichtverzadiging bij een hoge PAR onderschepping, wordt hierdoor verminderd. Door het bladplukken neemt de capaciteit van onderliggende bladlagen om de doorgelaten diffuse straling alsnog te onderscheppen af. Daardoor wordt de mogelijke toename van de fotosynthese niet volledig benut.

→ Aan het begin van de teelt heeft het gewas te kleine bladoppervlakten om al het licht te onderscheppen. In deze periodes heeft diffuus licht volgens de modelberekeningen geen positief effect. Het zorgen voor een snelle opbouw van een groot bladoppervlak of een hogere plantdichtheid aan het begin van de teelt wordt aanbevolen.

→ Een lichtverstrooiend kasdek materiaal geeft een extra positief effect heeft bij hoge lichtdoorlatendheid van het kasdek. Een kasdek dat 80 % van het directe licht omzet in diffuus licht heeft al bijna hetzelfde effect als een volledig diffuus kasdek.

Inhoudsopgave

Abstract	3
Samenvatting	5
1 Inleiding	10
2 Literatuuroverzicht	11
3 Lichtomstandigheden in Nederland	20
3.1 Zonnestraling en PAR buiten	20
3.2 Zonnestraling en PAR in de kas	24
4 Lichtverstrooiende materialen	29
5 Kasklimaat	39
5.1 Het klimaatmodel	39
5.2 Effect van een lichtverstrooiend kasdekmetaal	42
5.3 Effect van een lichtverstrooiend scherm	43
6 Gewasreactie	44
De lichtonderschepping	44
Het gewasmodel	45
6.1 Komkommer	48
Komkommer jaarrond	48
De winter-, voorjaars- en najaarsteelten van komkommer	53
6.2 Paprika	58
6.3 Tomaat	63
7 Economisch perspectief	68
7.1 Materialen en methoden	68
7.2 Resultaten	69
8 Conclusies	72
9 Aanbevelingen voor vervolgonderzoek	73
10 Literatuur	74
Bijlagen	77

1 Inleiding

In kassen wordt het binnenvallende zonlicht niet regelmatig verdeeld. Hoogopgaande gewassen zoals tomaat en paprika hebben veel bladmassa. De verticale lichtverdeling in deze gewassen is niet optimaal. De bovenste bladeren onderscheppen veel licht, meer dan gebruikt kan worden voor fotosynthese en veel minder licht dringt in diepere lagen van het gewas, zodat de onderste bladeren nauwelijks bijdragen aan de fotosynthese en groei. Bij paprika bijvoorbeeld zorgen de bovenste 40% van de bladeren voor de fotosynthese van de hele plant.

Als licht van boven naar beneden beter kan worden verdeeld, stijgt naar verwachting de fotosynthese-efficiëntie van de plant. Dit kan bijvoorbeeld worden bereikt door het licht diffuus te maken. Uit wetenschappelijk onderzoek aan ecosystemen (onder andere Young en Smith 1983) is namelijk bekend, dat diffuus licht beter in een gewas kan doordringen dan direct licht.

Naast de verticale lichtverdeling in de kas is ook de horizontale lichtverdeling belangrijk voor een gelijkmatige groei. In de plantenopkweek en bij lage gewassen is de lichtverdeling in de kas, vooral op stralingsrijke dagen met veel direct licht, niet optimaal. Direct zonlicht geeft namelijk slagschaduw die door de kasconstructie en aanwezige installaties worden veroorzaakt. Sommige planten krijgen dan veel instraling en laten sneller stress- en verbrandingschade zien. Andere planten staan continu in de schaduw en ontvangen veel minder licht, ze vertonen daardoor een slechte groei en blijven in hun ontwikkeling achter. Voor een gezond en uniform gewas is een regelmatige lichtverdeling essentieel. Dit kan bijvoorbeeld worden bereikt door diffuus licht.

Kasdekmaterialen en schaduwschermen kunnen worden gebruikt om in de kas binnenkomende zonnestraling diffuus te maken. Vroeger werd veelal gehamerd glas als kasdek materiaal gebruikt. Dit glas zorgde voor meer diffuse straling in de kas. Omdat dit glas veel schade gaf door breuk als gevolg van hagel is het nauwelijks nog in de tuinbouw te vinden. Nieuwbouwkassen worden gedekt met glad en doorzichtig floatglas. Hierdoor ontvangen de planten vooral in de zomermaanden veel direct licht. De laatste tijd ontstaat meer en meer de vraag naar diffuus makende kasdek- en schermmaterialen. Van de diffuus makende eigenschappen van deze materialen is nog weinig bekend. Het lichtverstrooiend vermogen en de lichtdoorlatendheid van verschillende materialen bij lichtinval onder verschillende invalshoeken zijn belangrijke eigenschappen bij de beoordeling van diffuse kasdek- en schermmaterialen.

In dit project worden de potenties van het gebruik van meer diffuus en minder direct licht in de Nederlandse kastuinbouw onderzocht. Er wordt onderzocht hoeveel directe straling jaarrond aanwezig is en welke eisen te stellen zijn aan een lichtverstrooiend kasdek- of schermmateriaal. De lichtdoordringing in verschillende gewassen tijdens verschillende groeistadia onder verschillende weersomstandigheden (bewolkte en heldere dagen) en seizoenen wordt onderzocht. Met behulp van plantengroei modellen wordt geanalyseerd in hoeverre een andere lichtverdeling ook de fotosynthese bevordert en de productie verhoogt.

2 Literatuuroverzicht

Effect van diffuus licht op ecosystemen

Ecosystemen profiteren van diffuus licht. Wetenschappers hebben aangetoond dat een toename van diffuus licht op een heldere dag de fotosynthese van een loofbos tijdens de middaguren met 23% verhoogt (Farquhar en Roderick 2003; Gu et al. 2003). De toename van diffuus licht in dit onderzoek resulteerde van een vulkanische aërosol na de uitbarsting van de Mount Pinatubo in 1991. Deze uitbarsting zorgde voor een injectie van SO₂ in de stratosfeer en vormde daar een sulfaat laag. Het aërosol veroorzaakte een afname van de totale hoeveelheid zonnestraling en een toename van de hoeveelheid diffuse straling. Na de uitbarsting was een sterke afname van de hoeveelheid CO₂ in de atmosfeer te meten. Deze afname van CO₂ wordt verklaard door een toename van de fotosynthese op aarde. Bossen zijn grote koolstof verbruikers. Dezelfde mechanismen zijn al bij eerdere vulkaanuitbarstingen geobserveerd. Simulatieberekeningen bevestigen de beschreven theorie. Eerder hebben gewasfysiologen al laten zien dat een gewas diffuus licht efficiënter voor het fotosyntheseproces kan benutten dan directe straling (Goudriaan 1977). Andere wetenschappers lieten zien dat bossen vaak meer CO₂ opnemen bij bewolkte hemel dan bij heldere hemel (Price en Black, 1990). De wetenschappers stelden vast dat temperatuureffecten als gevolg van de vulkaanuitbarsting niet de geobserveerde grote toename van de fotosynthese van bossen kunnen verklaren. Multiple effecten worden aangenomen, waarbij diffuus licht één van de belangrijkste is (Gu et al., 2003).

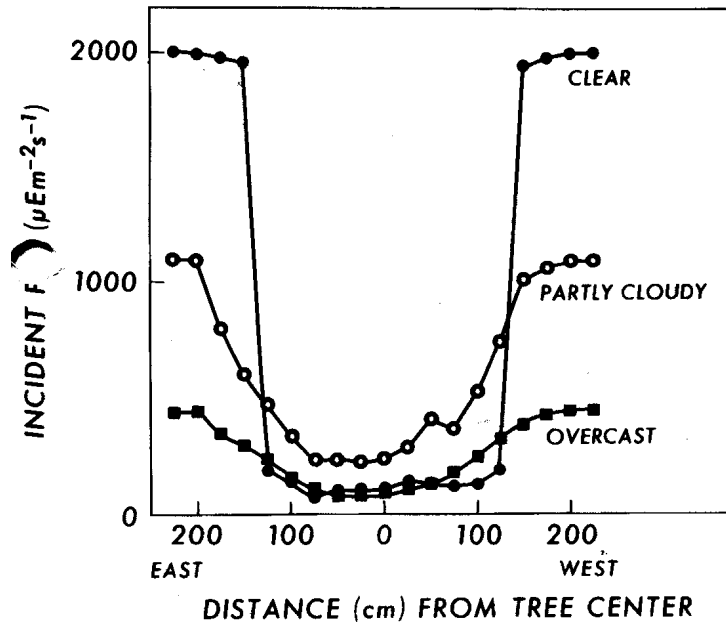
Lichtdoordringing in gewassen

Een belangrijk positief effect van diffuus licht is een betere lichtdoordringing in ecosystemen en in gewassen in het algemeen. Meerdere onderzoeksgroepen onderzochten het effect van bewolking op de lichtdoordringing en de fotosynthese van bomen of kleinere planten op de bosgrond. Bewolking reduceert de hoeveelheid directe straling en verhoogt de hoeveelheid diffuse straling. Gelijktijdig neemt de totale daglichtsom af. Desondanks, reageert het op de bosbodem groeiende kruid *Arnica latifolia* met een 37% hogere koolstof opname op een bewolkte dag dan op een heldere dag (Young en Smith 1983). De wetenschappers stelden vast dat diffuus licht tot een lagere bladtemperatuur en een lager waterdamp deficit tussen blad en lucht en dus tot een lagere transpiratie leidt. Gelijktijdig was de CO₂ opname tijdens bewolking hoger. Deze waarnemingen zijn van belang voor alle planten die gevoelig zijn voor temperatuurveranderingen, zoals veel op de bosbodem groeiende planten. Het wordt aangenomen dat diffuus licht bijdraagt aan het voorkomen van waterstress en zo in staat is de fotosynthese te verhogen (Young en Smith, 1983). Omdat veel van deze plantensoorten nu als potplanten wordt geteeld, zou het kunnen dat ook in huidige rassen nog steeds dezelfde mechanismen aanwezig zijn en diffuus licht in de tuinbouwproductie en belangrijke rol zou kunnen spelen.

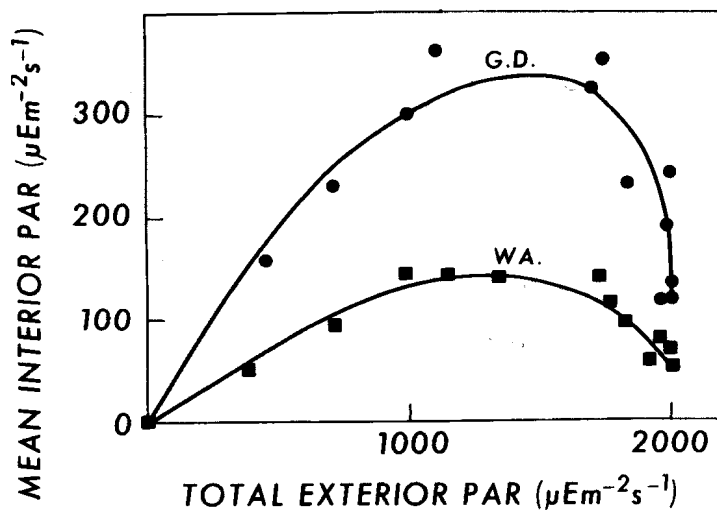
Ook de lichtdoordringing in tuinbouwgewassen wordt verbeterd door diffuus licht. Lakso en Mussleman (1976) en Marini en Barden (1982) onderzochten de lichtdoordringing in appelbomen. De licht hoeveelheid en verdeling is afhankelijk van de afmetingen van de boom, de oriëntatie van de boomrijen, de vorm en dichtheid van het gewas en de hoeveelheid en verdeling van de zonnestraling. Metingen van de lichtintensiteit in appelbomen werden uitgevoerd onder heldere, half bewolkte en bewolkte omstandigheden in verschillende afstanden van het midden van een boom op dezelfde hoogte (Figuur 1). Onderzoekers vonden vergelijkbare lichtintensiteiten intern in het gewas op een bewolkte en heldere dag, terwijl de lichtintensiteiten buiten enorm verschilden. Op een half bewolkte dag was het lichtniveau intern in het gewas zelfs drie keer hoger dan op een heldere of volledig bewolkte dag. Het hoogste lichtniveau intern werd gevonden tijdens periodes met een buitenstraling tussen 60% en 90% van de maximale straling bij heldere omstandigheden. Dit is het geval bij lichte bewolking. De onderzoekers stelden verder vast dat heldere omstandigheden niet optimaal zijn voor de fotosynthese van de appelbomen. Ook reageert een gewas bij een geringer lichtniveau sterker op een toename van de hoeveelheid diffuus licht, dan een gewas bij een hoog lichtniveau op een afname van de totale hoeveelheid licht door toenemende bewolking. De lichtdoordringing is ook afhankelijk van de gewasstructuur (Figuur 2). De onderzoekers stellen vast dat bewolkte klimaten in een hogere lichtbenuttingsefficiëntie van appelbomen resulteren en dit ook leidt tot een hogere productie (Lakso en Mussleman 1976). Andere wetenschappers bevestigen dat diffuus licht op bewolkte dagen beter in een gewas doordringt dan direct licht op heldere dagen. Ze onderstrepen dat ook de morfologie van de appelbomen en de productie methode een grote invloed op de lichtbenutting hebben (Marini en Barden 1982).

De lichtdoordringing in een gras gewas werd onderzocht door Sheehy en Chapas (1976). De onderzoekers hebben de hoeveelheid licht in verschillende horizontale en verticale posities van een gras gewas met verschillende LAI gemeten onder heldere en bewolkte condities. De lichtverdeling in horizontale richting was onder bewolkte condities meer uniform, in verticale richting kwam meer licht onder in het gewas dan onder heldere condities (Figuur 3). In een frequentie verdeling van de hoeveelheid licht in verschillende hoogtes van het gewas laten de auteurs zien dat licht op een bewolkte dag licht dieper in het gewas minder afneemt dan op een heldere dag. Belangrijk zijn ook hier de gewasmorfologie, de vorm en grootte van de bladeren en de bladstand. Hierdoor kunnen verschillende lichtdoordringingen in diverse gras variëteiten worden verklaard. Ook Szeicz (1974) heeft uitgebreide lichtmetingen doorgevoerd in een tarwe gewas. Door een veranderende bewolkingsgraad kan ook de lichtdoordringing van verschillende delen van het zonnenspectrum veranderen. Zo vonden Deckmyn en Impens (1998) dat door de bewolking de spectrale samenstelling van de straling en het spectrum van de lichtdoordringing verandert. Diffuse zonnestraling bevat naar verhouding meer UVB dan PAR in vergelijking met directe straling op heldere dagen, de UVB/PAR verhouding neemt toe. Daarentegen neemt deze verhouding in de ochtend en in de winter, dus bij lage zonnestand, af (CIE 1989). Verder bevat UVB ook op heldere dagen een hoger aandeel diffuse straling dan PAR. Dit leidt tot een betere doordringing van UVB in het gewas op heldere dagen. Op bewolkte dagen is er geen verschil

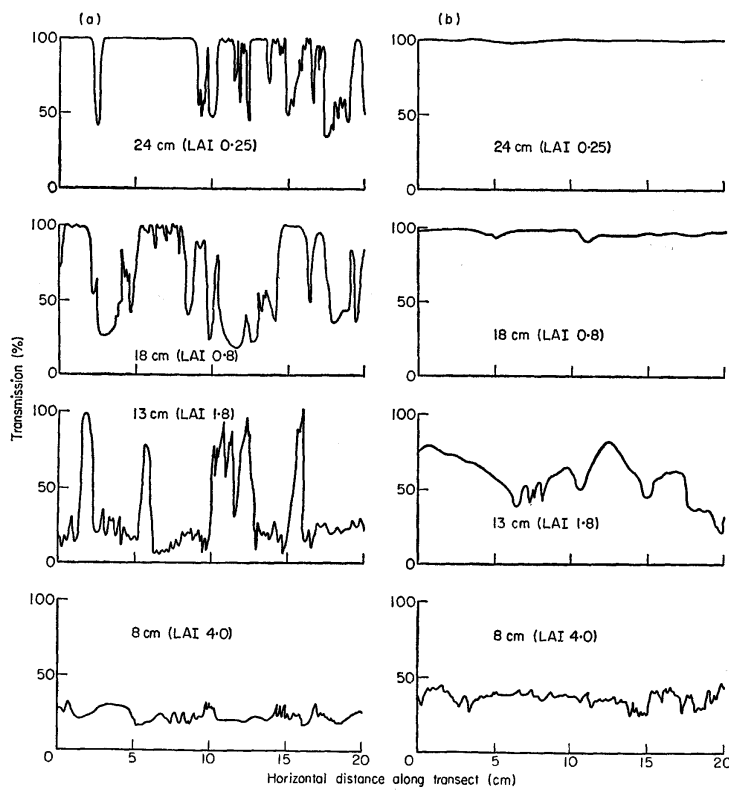
meer in lichtdoordringing (Figuur 4). Deckmyn en Impens (1998) lieten zien, dat ook de spectrale lichtdoordringing afhankelijk is van de diffusiteit van de zonnestraling. Meer diffuse zonnestraling van een bepaalde golflengte dringt dieper door in het gewas (Figuur 5).



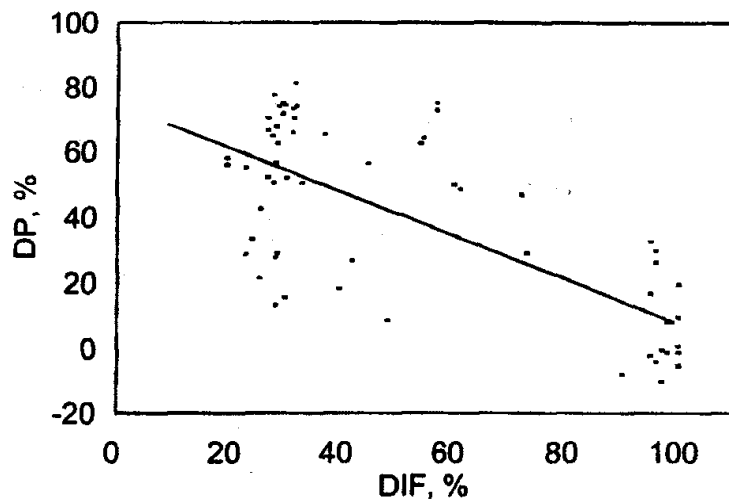
Figuur 1 Horizontale verdeling van de PAR straling in 9 jaar oud appelbomen “Golden Delicious” langs een transectie (Lakso en Musslemann, 1976).



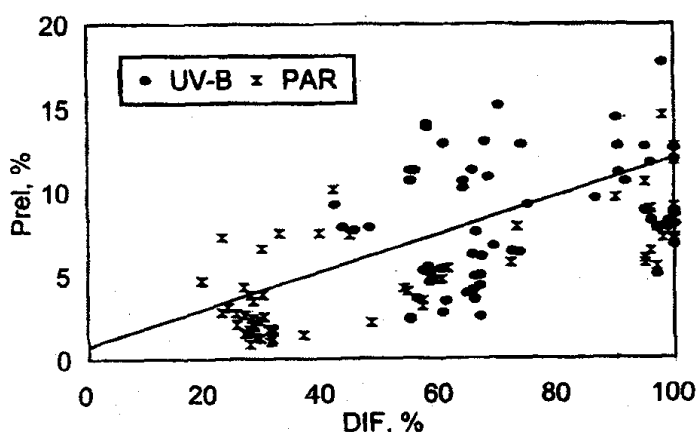
Figuur 2 Gemiddelde interne PAR straling in appelbomen “Golden Delicious” (G.D.) met een open bladstructuur of “Wayne” (WA.) met een dichte bladstructuur als functie van de externe PAR straling langs Oost-West transecties (Lakso en Musslemann, 1976).



Figuur 3 Horizontale verdeling van de zonnestraling in een *Lolium multiflorum* gewas in verschillende hoogtes langs een transectie in verschillende dieptes van het gewas (8cm, 13cm, 18cm en 24cm hoogte vanaf de grond) (Sheehy en Chapas, 1976) bij a. heldere hemel en b. bewolkte hemel.



Figuur 4 Verschil in lichtdoordringing tussen UV-B en PAR ($DP\% = (UV-B \text{ doordringing} - PAR \text{ doordringing}) * 100 / UV-B \text{ doordringing}$) als functie van het aandeel diffuus PAR (DIF%) (Deckmyn en Impens, 1998)

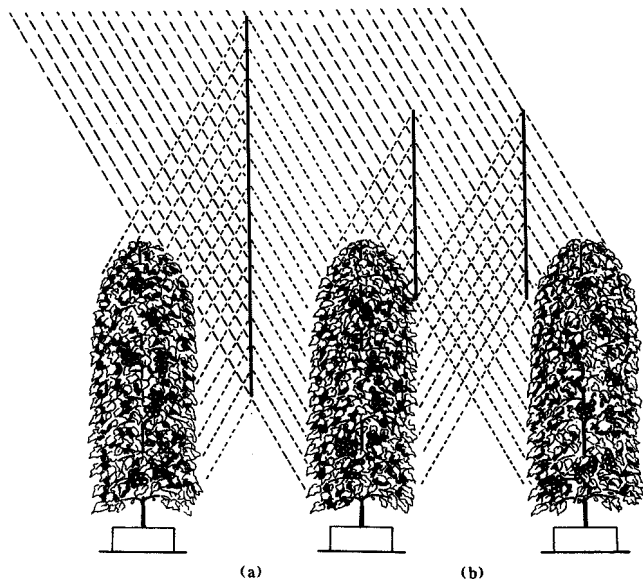


Figuur 5 Relatieve lichtdoordringing van UV-B en PAR (Prel%) als functie van het diffuse aandeel van de straling (DIF%) (Deckmyn en Impens, 1998)

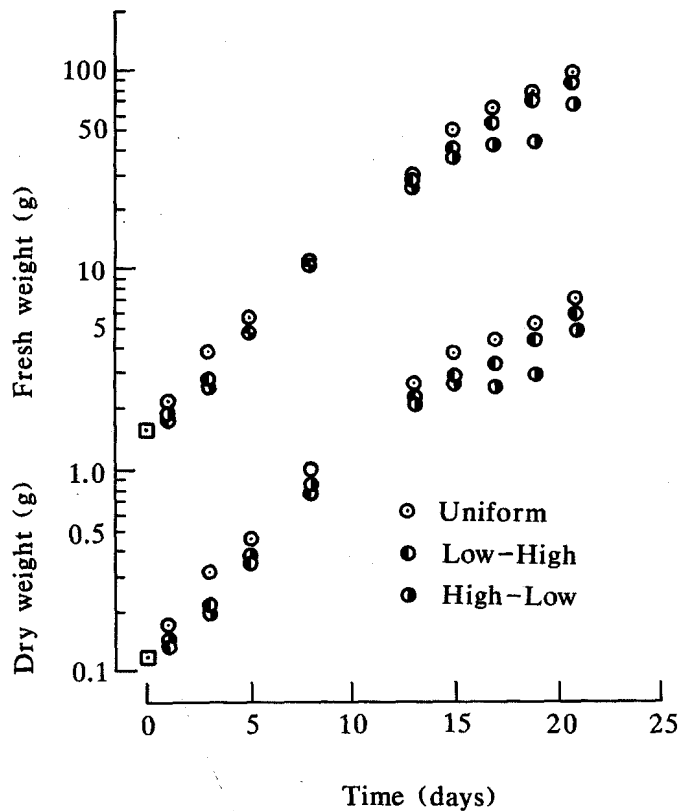
Lichtbenutting op gewasniveau

Op gewasniveau hebben wetenschappers ontdekt dat een herverdeling van de hoeveelheid licht in het gewas de productiviteit kan verhogen. Zo wordt gesteld dat een plant voordelen heeft als de bovenste bladeren zo georiënteerd worden dat ze minder licht onderscheppen en de onderste bladeren naar verhouding meer licht kunnen onderscheppen (Kuroiwa 1970). De lichtverdeling in het gewas wordt verbeterd, het lichtniveau in verschillende bladlagen wordt meer uniform. Experimentele resultaten met *Zea mays* L. (Pendleton et al. 1965) blijken deze hypothese te bevestigen.

Aikman (1989) had de hypothese dat de productiviteit van een gewas wordt verbeterd door een herverdeling van de directe stralingsenergie in het gewas, zodat een groter bladoppervlak een lagere lichtintensiteit onderschept. Daarvoor gebruikte hij verticaal reflecterende schermen, die de directe zonnestraling meer uniform over het hele bladoppervlak van het gewas verdelen (Figuur 6). Aikman (1989) ontwikkelde een model om de resulterende fotosynthetische productiviteit te berekenen. Met behulp van dit model stelde hij een stijging van de jaarlijkse productie van tomaat als de directe straling herverdeeld werd, zodat de helft van de stralingsintensiteit het dubbele bladoppervlak bereikte. Dit resultaat werd bevestigd door experimenten in klimaatkamers met dezelfde lichtsommen en fotoperiodes maar verschillende intensiteiten, een hoge intensiteit en daarna een lage intensiteit, een lage intensiteit en daarna een hoge intensiteit en in een gemiddelde intensiteit. Tomaten, die de hele fotoperiode onder een gemiddelde lichtintensiteit groeiden, hadden het hoogste drogestof- en versgewicht (Figuur 7), het grootste bladoppervlak en de hoogste hoeveelheid chlorofyl a. De productie werd echter niet gemeten. De auteur concludeerde dat een gemiddelde lichtintensiteit verdeeld over een groter bladoppervlak voordelen biedt voor tomaat vergeleken met een hoge intensiteit in de bovenste bladeren en een lage intensiteit in de onderste bladeren. De lichtbenuttingsefficiëntie van het hele gewas wordt verbeterd. In theorie kan deze herverdeling ook door diffuus licht worden bereikt.



Figuur 6 Gebruik van een reflecterend scherm om zonnestraling meer uniform over het gewas te verdelen (Aikman, 1989). A. Een enkel scherm is hoger dan b. twee schermen.



Figuur 7 Drooggewicht en versgewicht van tomaat cv. Counter onder drie lichtbehandelingen met dezelfde daglichtsom en fotoperiode: Uniform ($58\text{W}/\text{m}^2$ tijdens de hele fotoperiode), High-Low ($103\text{W}/\text{m}^2$ voor de helft van de fotoperiode, daarna $13\text{W}/\text{m}^2$), Low-High ($13\text{W}/\text{m}^2$ voor de helft van de fotoperiode, daarna $103\text{W}/\text{m}^2$) (Aikman, 1989).

Lichtbenutting op celniveau

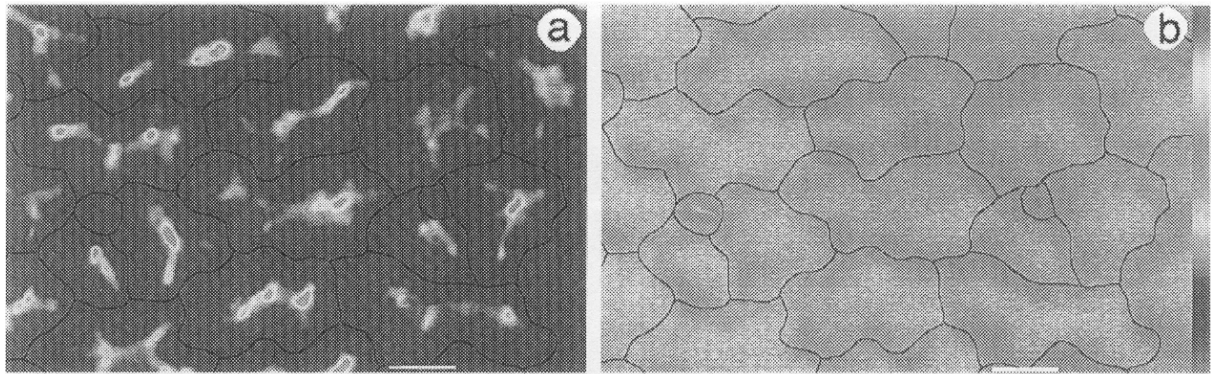
Naast een betere lichtdoordringing in het gewas, kan diffuus licht door de bladeren van een plant beter worden benut voor de fotosynthese op grond van verschillende mechanismen.

Voorbeelden hiervoor zijn de epidermale focusering van licht of de intercellulaire reflectie.

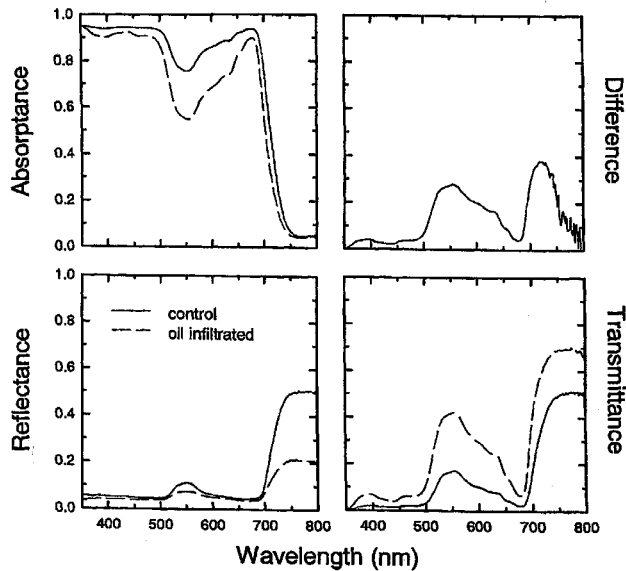
Epidermale focusering wordt door veel planten soorten gebruikt om licht beter te kunnen benutten. Epidermis cellen van deze planten zijn in staat op invallend licht te focuseren tot op een meervoud van de intensiteit van de invallende straling. Als parallel licht door de epidermis valt wordt de invalsweg van de straling veranderd. De stralen worden gebogen zodat de invalshoek verandert. Het gevolg is dat de lichtstralen de mesofylcellen schuiner met een kleinere invalshoek binnenkomen. Deze schuine straling moet een langere weg door de cellen afleggen, waardoor de waarschijnlijkheid van licht absorptie en gebruik in het fotosyntheseproces toeneemt. Het veranderen van de invalshoek van de straling door de epidermis cellen verhoogt de licht absorptie (Vogelmann et al. 1996). Dit effect is sterker in bladeren van schaduwplanten, waar de epidermis cellen meer lensvormig zijn, en in bladeren, waar de chloroplasten beter naar het invallende licht kunnen bewegen (Brugnoli en Björkman 1992). Een nog belangrijker effect zou kunnen zijn, dat de lensvormige epidermis cellen het invangen van diffuus licht van planten op de bosbodem kunnen verhogen door het verkleinen van de spiegelreflectie (Lee 1986), die optreedt als licht met een kleine invalshoek het bladoppervlak bereikt. Omdat tropische schaduwplanten de meest lensvormige epidermis cellen hebben, kan worden aangenomen dat deze in staat zijn om diffuus licht beter in te vangen en te focuseren om zo de plant tot een fotosynthetisch voordeel te verhelpen bij het geringe lichtniveau waarbij ze moeten groeien. Epidermale focusering treedt alleen op bij direct parallel licht (Vogelmann et al. 1996), dit licht wordt dan gebogen en gefocuseerd (Figuur 8 a). Als licht met kleine invalshoeken of diffuus licht op het epidermisoppervlak valt, vindt geen epidermale focusering plaats, het lensvormige oppervlak zorgt automatisch voor een betere lichtopname, een aanpassing is niet nodig (Figuur 8 b).

Andere schaduwplanten hebben een hoger aandeel sponsachtige mesofylcellen, die in staat zijn om de lichtverstrooiing intern in het blad te verhogen. Deze intercellulaire reflectie verhoogt de interne absorptie van licht (Figuur 9). De intercellulaire reflectie is sterker bij schaduwbladeren dan bij zonbladeren (DeLucia et al., 1996). In *Hydrophyllum canadense* vonden de wetenschappers meer terug gereflecteerd licht in het midden van het palisadenparenchym dan in het midden van het sponsachtige mesophyl. Een hogere intercellulaire reflectie verhoogt de interne licht absorptie en daarmee de fotosynthese (Figuur 10). Daardoor kunnen schaduwbladeren hun fotosynthetisch proces ook tijdens periodes met lage lichtintensiteiten boven het compensatiepunt houden en kunnen zij tijdens periodes met lage lichtintensiteiten of diffuus licht de lichtinductie op gang houden.

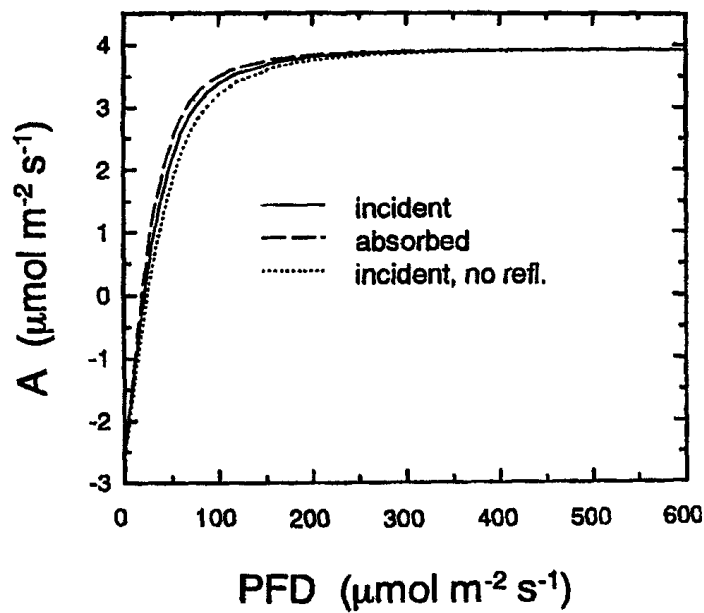
De twee beschreven mechanismen zijn voorbeelden waarmee planten hun lichtefficiëntie kunnen verbeteren. Het is mogelijk dat er nog andere mechanismen zijn, die hier niet beschreven zijn of nog niet bekend zijn.



Figuur 8 Epidermale focussing van licht (Vogelmann et al., 1996), beelden van de epidermis cellen van *Medicago sativa* na een a. belichting met direct parallel licht, b. belichting met diffuus licht. Epidermale focussing treedt alleen op bij direct parallel licht, dit licht wordt dan gebogen en gefocuseerd (a). Als licht met kleine invalshoeken of diffuus licht op het epidermisoppervlak valt, vindt geen epidermale focussing plaats, het lensvormige oppervlak zorgt automatisch voor een betere lichtopname, een aanpassing is niet nodig (b).



Figuur 9 Intercellulaire reflectie van licht en daarmee veranderde absorptie in de bladeren van *Hydrophyllum canadense* (DeLucia et al., 1996). Met olie geïnfiltreerde bladeren tonen minder intercellulaire reflectie, daardoor ook minder absorptie maar meer transmissie van licht.



Figuur 10 Fotosynthese van bladeren van *Hydrophyllum canadense* van afhankelijk van de hoeveelheid geabsorbeerd PAR of de hoeveelheid invallend PAR met en zonder intercellulaire reflectie (DeLucia et al., 1996).

Deze literatuurstudie geeft aanwijzingen voor positieve effecten van diffuus licht. Een inschatting van de potenties van diffuus licht ontbreekt tot nu toe echter. Ook wordt niet voldoende onderbouwing van de mechanismen van lichtdoordringing en lichtbenutting gegeven. Hier liggen kansen voor nader onderzoek.

3 Lichtomstandigheden in Nederland

3.1 Zonnestraling en PAR buiten

Zonnestraling wordt gefilterd door de atmosfeer van de aarde voordat de zogenaamde globale straling de aarde bereikt. Globale straling bestaat uit een direct en een diffuus stralingsaandeel. Het diffuse stralingsaandeel ontstaat door verstrooiing van de zonnestraling door lichtmoleculen (Rayleigh-verstrooiing) en door verstrooiing door stofdeeltjes en waterdruppels in de lucht (Mie-verstrooiing).

Het Nederlandse klimaat kan worden gekarakteriseerd door het SEL-jaar. Het SEL-jaar is een virtueel klimaat, dat het typische verloop van temperatuur en straling in Nederland weergeeft, gebaseerd op echte klimaatmetingen van het KNMI in De Bilt. De methode voor het bepalen van het SEL-jaar wordt beschreven door Breuer en Van de Braak (1989). Op grond van deze data kan een inschatting van de hoeveelheid globale straling jaarrond in Nederland worden gemaakt en van de verdeling tussen het directe en diffuse stralingsaandeel. Voor de gewasgroei is niet zo zeer de hoeveelheid globale straling belangrijk maar de hoeveelheid PAR straling. Het aandeel PAR in de globale straling varieert afhankelijk van de zonnestand (winter/zomer, tijdstip van de dag) en de bewolgingsgraad (diffuse/directe straling). Op basis van metingen van de globale straling en de PAR straling door PPO in Naaldwijk in de jaren 1997-2004 is een analyse gemaakt van de veranderingen van PAR jaarrond.

Het Nederlandse klimaat wordt gekarakteriseerd door een globale straling van rond 3650 MJ/m² per jaar (Breuer en van de Braak, 1989; Velds et al., 1992). De stralingssom in de zomermaanden is ongeveer tien keer zo hoog dan in de wintermaanden (Tabel 1). Het aandeel directe straling is jaarrond 1080 MJ/m². In de wintermaanden van oktober t/m maart is gemiddeld ca. 20% van de straling in deze maanden directe straling, in de zomermaanden van april t/m september is dit gemiddeld ca. 40% van de straling in deze maanden. De hoeveelheid directe straling tijdens de wintermaanden is maar 5.5% van de totale stralingssom jaarrond, in de zomermaanden is dit 24.1%. Het verloop van directe en diffuse straling jaarrond wordt in Figuur 11 weergegeven. Het aandeel PAR in de globale straling blijft op heldere dagen jaarrond ongeveer constant op ca. 44%, op bewolkte dagen neemt het aandeel PAR toe en is dit aandeel in de wintermaanden hoger dan in de zomermaanden, namelijk 49-51% in de maanden november t/m maart en ca. 46-48% in de maanden april t/m oktober (Figuur 12). Deze waarden kunnen worden bevestigd door berekeningen van CIE (1989). Hier wordt het aandeel PAR op heldere dagen bij een zonnestand van 60° geschat op 45% en bij een zonnestand van 10° op 43%. Dit zou voor heldere dagen een ongeveer constante verhouding van PAR geven. Voor bewolkte dagen stelt CIE (1989) geen gegevens afhankelijk van de zonnestand beschikbaar.

Ook in de loop van de dag varieert het aandeel PAR in de globale straling (Figuur 13). Het valt op de op een bewolkte dag het aandeel PAR ongeveer constant blijft, terwijl het aandeel PAR op heldere dagen daalt van de ochtend naar de late middag, in de winter meer dan in de zomer. Dit kan worden verklaard door een toenemende selectieve verstrooiing van het licht door stofdeeltjes, gassen en waterdamp. Volgens McVeigh (1977) neemt de selectieve verstrooiing in

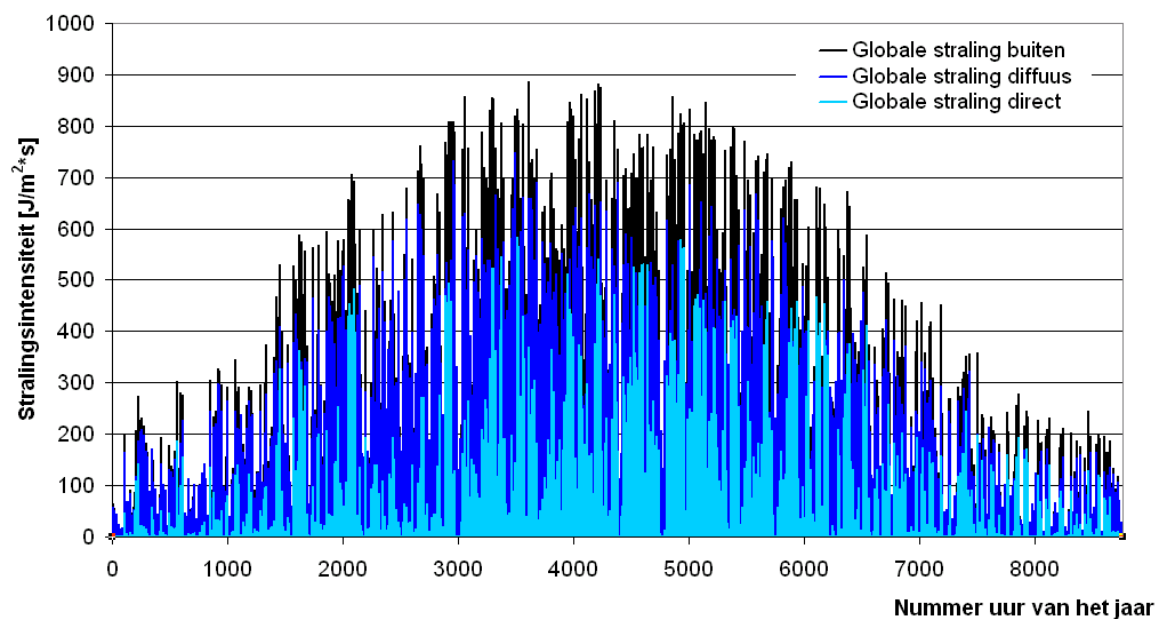
de late middaguren toe, ultraviolette en blauwe straling wordt sterker verstrooid dan rode straling. Dit zou een afname van PAR ten gevolg hebben.

Het aandeel PAR neemt toe met toenemende bewolking (Figuur 14). Op heldere dagen is het aandeel PAR in de globale straling ca. 45% en dit aandeel neemt toe tot ca. 55% op volledig bewolkte dagen. Dit komt ook overeen met gegevens van CIE (1989).

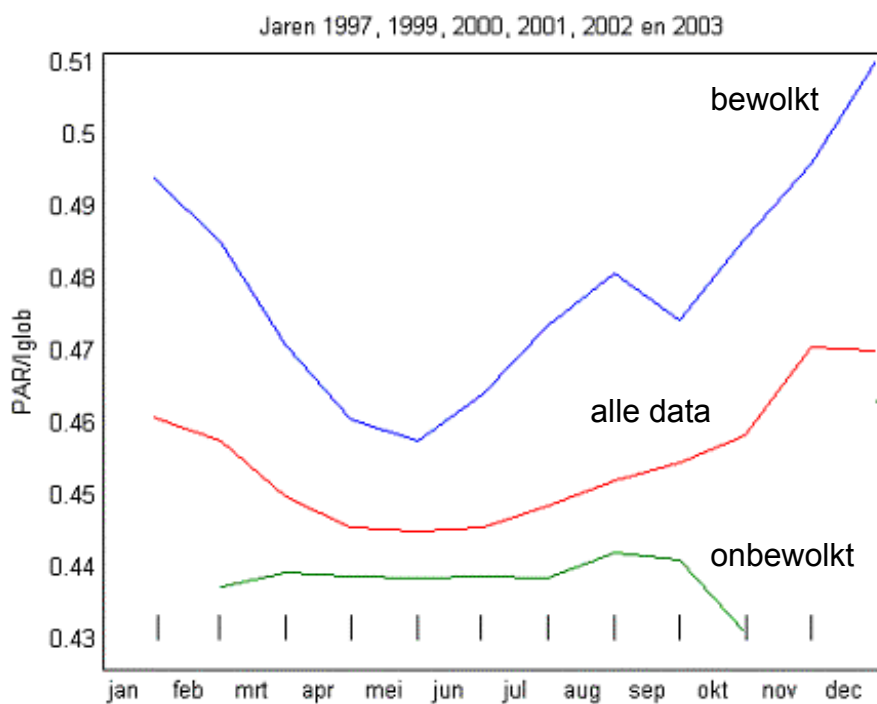
Voor de praktijk betekent dit een variatie van de natuurlijke PAR straling door verschillende buitenomstandigheden. Deze variatie kan ook een belangrijke rol spelen voor de gewasgroei.

Tabel 1 Globale straling in Nederland en het directe en diffuse stralingsaandeel jaarrond, gebaseerd op het SEL-jaar (Breuer en van de Braak, 1989)

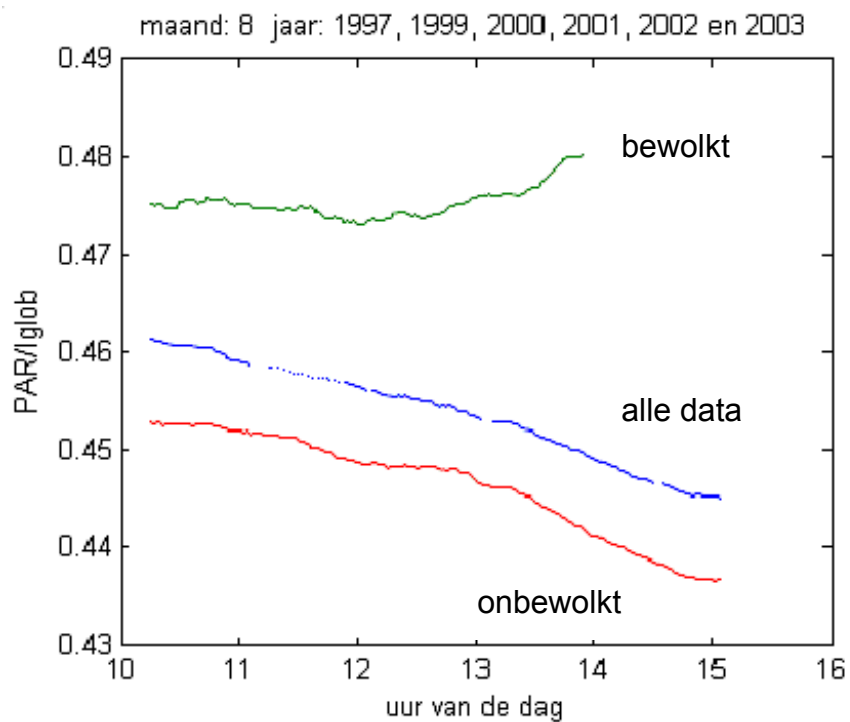
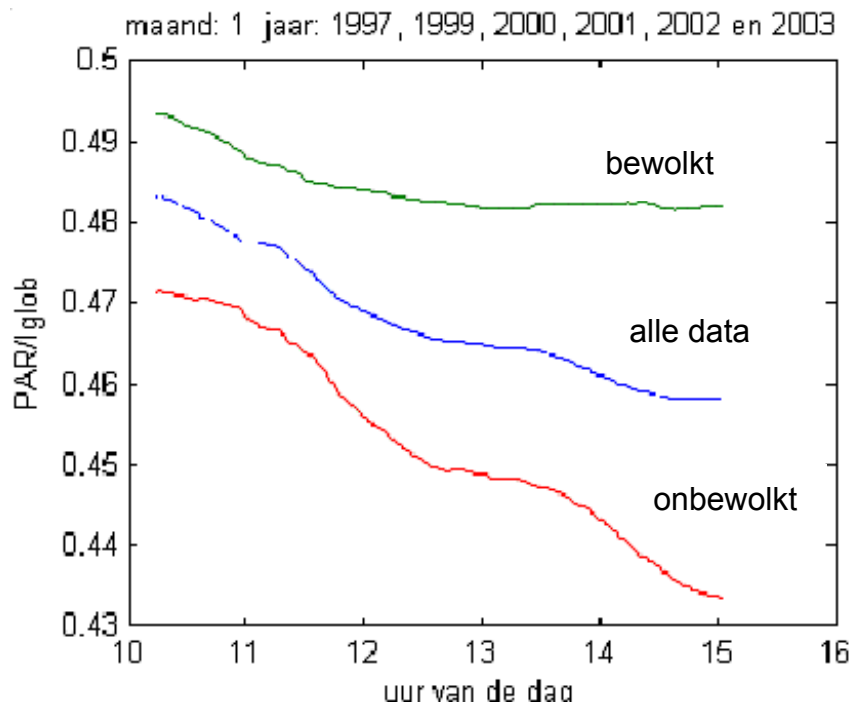
Maand	Globale straling totaal in MJ/m ²	Globale straling direct in MJ/m ²	Globale straling diffuus in MJ/m ²	Aandeel directe straling %	Aandeel diffuse straling %
Januari	62.6	12.8	49.7	20.5	79.5
Februari	104.7	15.8	89.0	15.0	85.0
Maart	314.6	95.0	219.6	30.2	69.8
April	299.1	41.5	257.6	13.9	86.1
Mei	568.0	162.2	405.8	28.6	71.4
Juni	551.5	159.0	392.5	28.8	71.2
Juli	597.4	244.7	352.8	41.0	59.1
Augustus	502.5	148.1	354.4	29.5	70.5
September	342.3	124.0	218.3	36.2	63.8
Oktober	163.7	37.9	125.8	23.1	76.9
November	89.9	26.0	63.9	28.9	71.0
December	54.0	14.4	39.7	26.6	73.4
Totaal	3650	1081	2569		
Winter: Oktober-Maart	789	202	588	5.5% van totaal	16.1% van totaal
Zomer: April-September	2861	880	1981	24.1% van totaal	54.3% van totaal



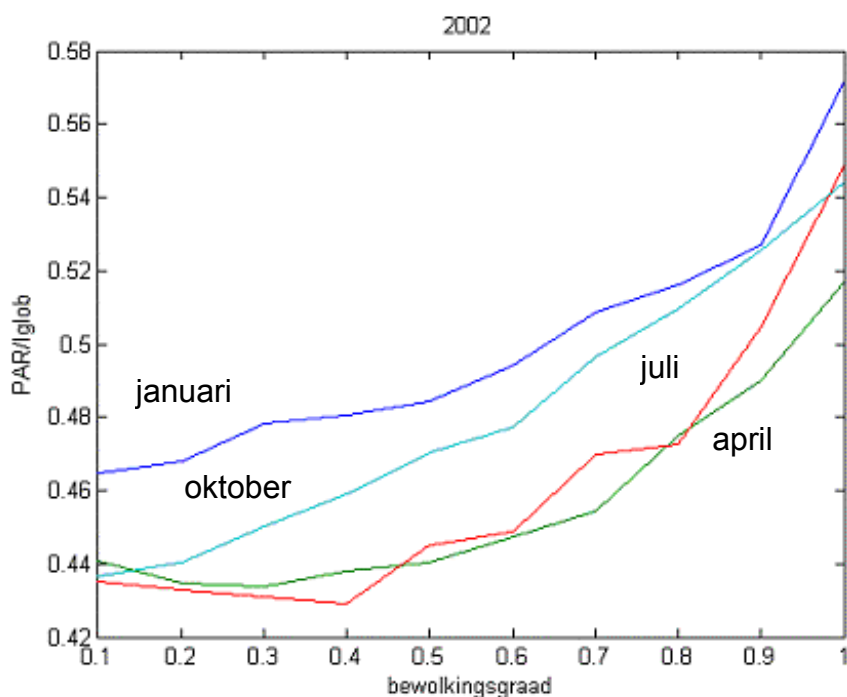
Figuur 11 Verloop van de globale straling en de hoeveelheid directe en diffuse globale straling per uur per jaar, gebaseerd op het SEL-jaar (Breuer en van de Braak, 1989)



Figuur 12 Het aandeel PAR in de globale straling in de loop van het jaar op heldere en bewolkte dagen, gebaseerd op metingen van PPO Naaldwijk van 1997-2003.



Figuur 13 Het aandeel PAR in de globale straling afhankelijk van de zonnestand in de loop van de dag op heldere en bewolkte dagen tijdens de winter (maand januari, boven) en tijdens de zomer (maand augustus, beneden), gebaseerd op metingen van PPO Naaldwijk van 1997-2003.



Figuur 14 Het aandeel PAR in de globale straling afhankelijk van de bewolgingsgraad, gebaseerd op metingen van PPO Naaldwijk in 2002.

3.2 Zonnestraling en PAR in de kas

Slechts een deel van de globale straling komt in een kas. Daarbij is de hoeveelheid straling die in de kas komt afhankelijk van het tijdstip van de dag, het seizoen, de dakhelling, de oriëntatie van de kas, de transmissie van het kasomhullingsmateriaal, soort en afmetingen van kasconstructiedelen en installaties boven in de kas. De hoeveelheid straling in een kas kan worden berekend middels modellen. Voor de berekening van de transmissie van de kas is hier uitgegaan van het transmissiemodel zoals beschreven door de Zwart (1993 en 1996).

In de modelberekeningen is uitgegaan van een virtuele Venlokas met een oppervlakte van 40.500m^2 , waarbij een vierkant wordt verondersteld. De goothoogte is 4.5m, de dakhelling 22° . De kapbreedte en vakmaat zijn respectievelijk 4m en 4.5m. De luchtramen zijn 2-ruits (glasmaat 1.125m) en de hoogte van de luchtramen is 0.825m. De kasoriëntatie gaat zover niet anders aangegeven uit van een nok in Noord-Zuid richting. Om een inschatting te kunnen maken van de hoeveelheid straling in een typische Nederlandse kas wordt in de modelberekening ook rekening gehouden met een lichte en een donkere kas.

Van de 3650 MJ/m^2 per jaar globale straling buiten komen rond 2700 MJ/m^2 per jaar in een lichte kas en 2400 MJ/m^2 per jaar in een donkere kas (Tabel 2). De in de kas komende PAR straling heeft een gemiddeld stralingsaandeel van rond 70% diffuus en rond 30% direct (zie ook hoofdstuk 3.1). In een lichte kas komen dus 970 MJ/m^2 per jaar diffuse straling en 386 MJ/m^2 directe straling, in een donkere kas zijn dit 868 MJ/m^2 diffuse straling en 345 MJ/m^2 directe straling per jaar.

Vooral de transparante kasomhulling heeft invloed op de totale transmissie van de kas. De optische eigenschappen van het materiaal, zoals de transmissie, reflectie en absorptie, bepalen hoeveel straling in de kas komt en daarmee ook hoeveel PAR straling het gewas bereikt. Hierbij zijn (1) de transmissie voor directe straling onder verschillende invalshoeken en (2) de transmissie voor diffuse straling belangrijk. Beide eigenschappen komen terug in de modelberekeningen. Het kasdek materiaal van de referentiekas is helder tuinbouwglas met de optische eigenschappen zoals aangegeven in Bijlage 1. Hier is zowel de transmissie voor diffuse straling weergegeven als ook de transmissie voor directe straling voor verschillende invalshoeken van de straling, waarbij 0 graden een loodrechte lichtinval op het kasdek betekent en 90 graden een lichtinval parallel aan het kasdek.

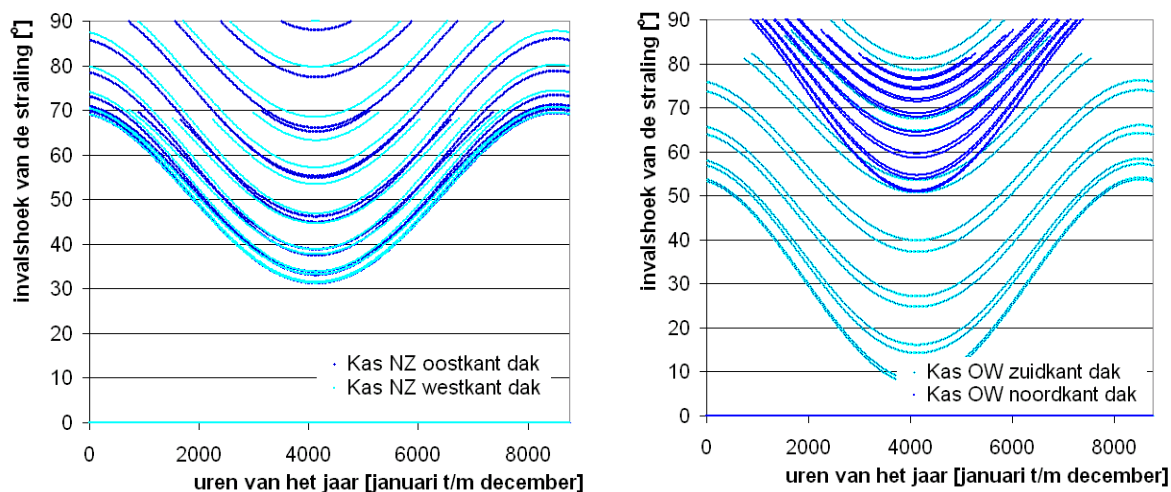
In Figuur 16 is voor twee verschillende kasoriëntaties (Noord-Zuid en Oost-West) weergegeven hoeveel directe en diffuse straling door het kasdek materiaal valt. Het valt bij beide oriëntaties op dat het aandeel diffuse straling hoog is en daarmee de transmissie voor diffuse straling de meest belangrijke optische eigenschap is. Echter, ook de transmissie voor directe straling met verschillende invalshoeken is bepalend voor de totale transmissie van de kas. Bij een dakhelling van 22 graden valt licht nooit loodrecht (0 graden) op het dak. Bij een kasoriëntatie Noord-Zuid varieert de invalshoek van de straling van 30 tot 90 graden op beide kanten van het kasdek, bij een kasoriëntatie Oost-West varieert de invalshoek van 5 tot 90 graden aan de zuidkant en van 50 tot 90 graden aan de noordkant (Figuur 15). Daardoor komt bij een kas met nokrichting Noord-Zuid vooral in de zomer meer licht binnen, bij een kas met nokrichting Oost-West komt in de wintermaanden meer directe straling binnen. Afhankelijk van de kasoriëntatie en het seizoen is ook de transmissie voor directe straling een belangrijke optische eigenschap voor de beoordeling van een kasdek materiaal.

Door de transparante kasomhulling kan ook een verschuiving plaats vinden van de verhouding tussen directe en diffuse straling. Hierbij spelen de optische eigenschappen van het transparante kasdek materiaal een grote rol. Nederlandse kassen worden meestal bedekt met helder tuinbouwglas. Dit glas is niet in staat om de verhouding directe en diffuse straling te veranderen. Er bestaan echter ook andere kasdek materialen of transparante schermen, die in staat zijn om directe straling om te zetten in diffuse straling. Door modelberekeningen wordt een inschatting gemaakt van de verhouding directe en diffuse straling in een kas onder een helder en een sterk lichtverstrooiend materiaal.

Jaarrond kan door een lichtverstrooiend kasdek materiaal of transparant scherm, dat theoretisch in staat is alle directe straling om te zetten in diffuse straling, ca. 1080 MJ/m² globale straling worden omgezet (Tabel 1), dat komt overeen met ongeveer 500 MJ/m² PAR straling, waarvan rond 100 MJ/m² tijdens de wintermaanden en meer dan 400 MJ/m² tijdens de zomermaanden (Figuur 17, Figuur 18). **Potentieel is dus een groter effect van een lichtverstrooiend kasdek- of schermmateriaal tijdens de zomermaanden te verwachten dan tijdens de wintermaanden.**

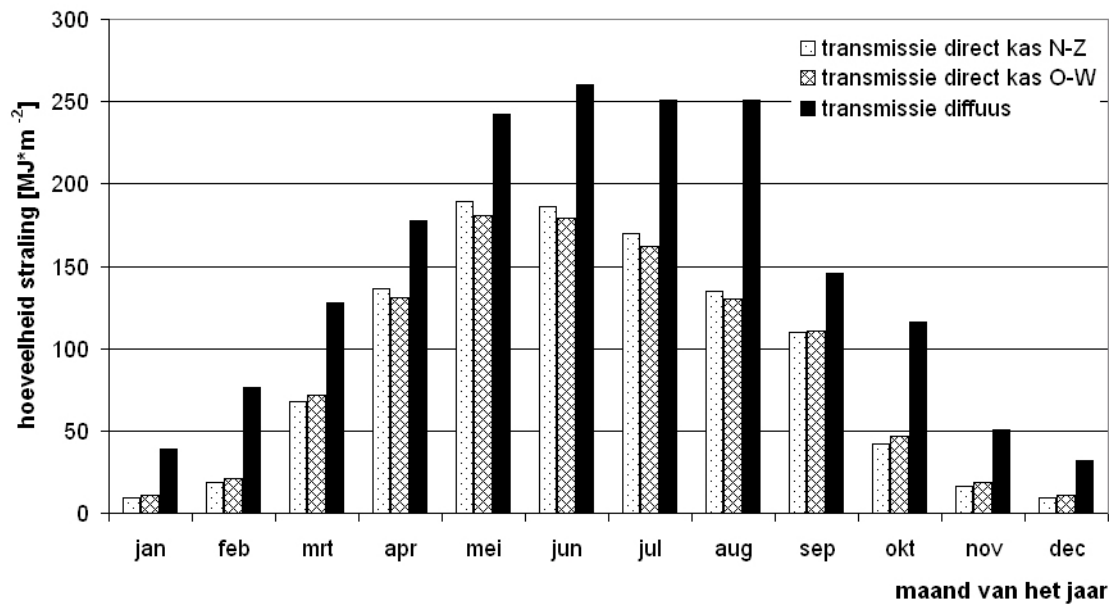
Tabel 2 Globale straling en PAR in een typische kas jaarrond, gebaseerd op het transmissiemodel van de Zwart (1993)

Maand	Globale straling buiten in MJ/m ²	Lichte kas				Donkere kas			
		Globale straling in de kas in MJ/m ²	PAR in de kas in MJ/m ²	PAR diffuus de kas in MJ/m ²	PAR indirect in de kas in MJ/m ²	Globale straling in de kas in MJ/m ²	PAR in de kas in MJ/m ²	PAR diffuus in de kas in MJ/m ²	PAR direct in de kas in MJ/m ²
Januari	62.6	43.6	21.8	18.8	3.0	39.0	19.5	16.8	2.7
Februari	104.7	76.3	38.2	33.6	4.5	68.3	34.1	30.1	4.0
Maart	314.6	230.5	115.3	83.1	32.2	206.2	103.1	74.3	28.8
April	299.1	224.9	112.5	97.5	15.0	201.2	100.6	87.2	13.4
Mei	568.0	428.8	214.4	153.6	60.8	383.6	191.8	137.4	54.4
Juni	551.5	415.9	207.9	148.6	59.4	372.0	186.0	132.9	53.1
Juli	597.4	451.4	225.7	133.5	92.2	403.9	201.9	119.5	82.5
Augustus	502.5	377.7	188.8	134.2	54.7	337.9	168.9	120.0	48.9
September	342.3	252.6	126.3	82.6	43.7	226.0	113.0	73.9	39.1
Oktober	163.7	118.4	59.2	47.6	11.6	105.9	53.0	42.6	10.4
November	89.9	58.4	29.2	23.2	6.0	52.2	26.1	20.8	5.3
December	54.0	32.6	16.3	13.5	2.8	29.2	14.6	12.1	2.5
Totaal	3650	2711	1356	970	386	2425	1213	868	345

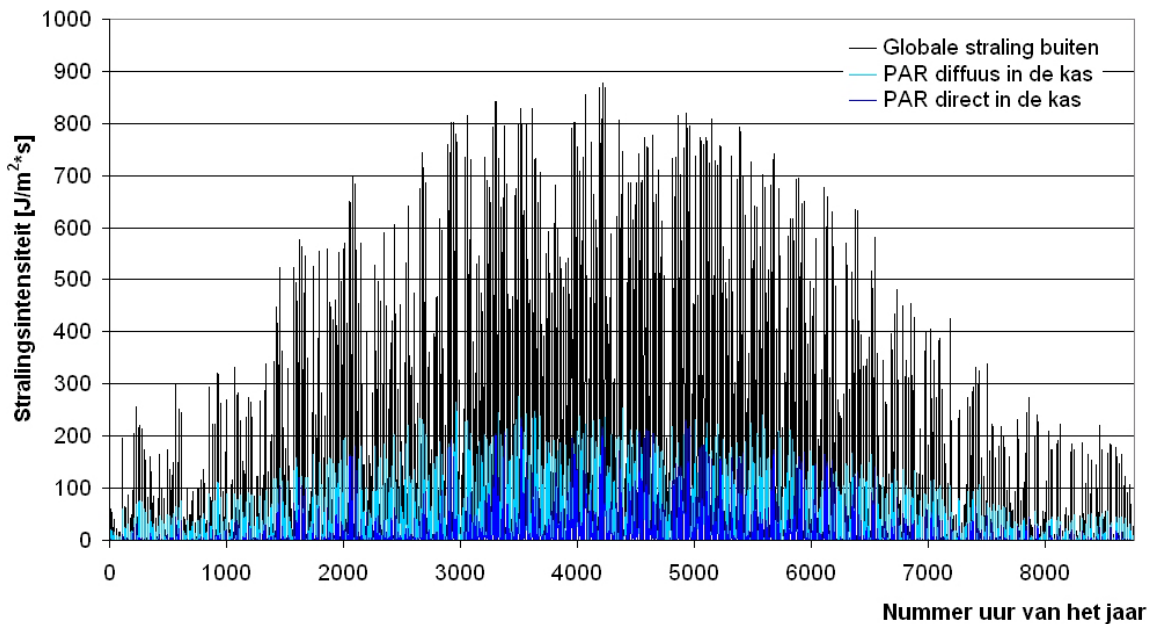


Figuur 15 Invalshoek van de straling op beide dakhelften jaarrond voor een kas met nokrichting NZ (links) en een kas met nokrichting OW (rechts) voor een Venlokas met een dakhelling van 22°.

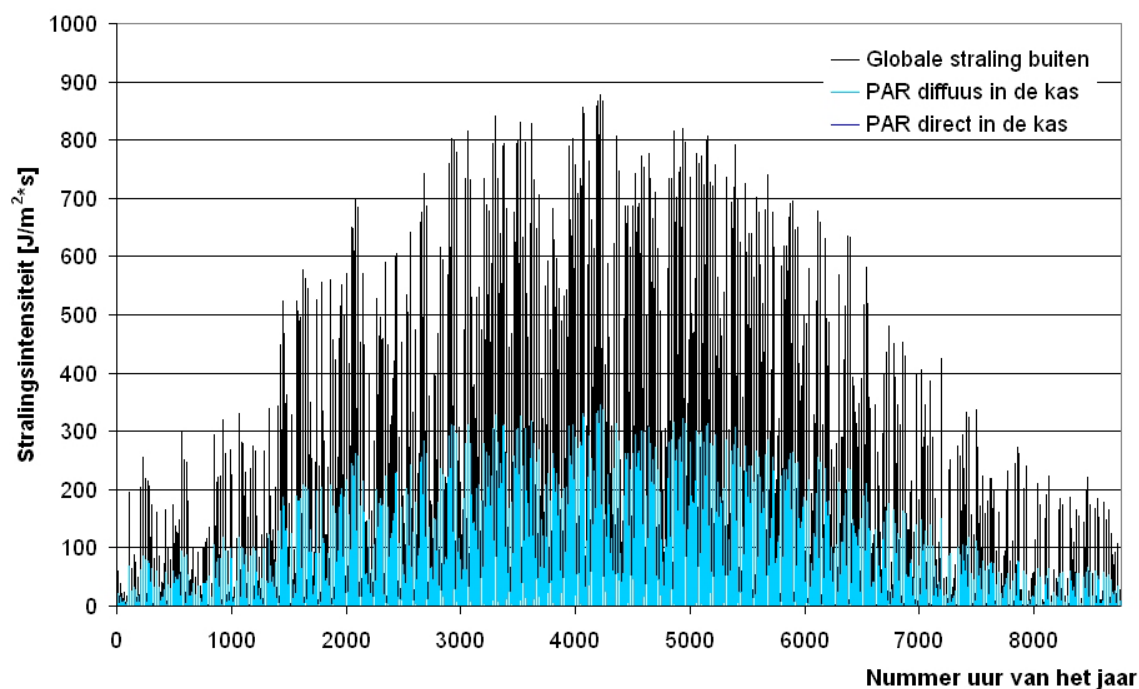
Standaard tuinbouwglas 4mm



Figuur 16 Transmissie van de globale straling door het kasdek materiaal per maand voor standaard tuinbouwglas, opgedeeld in het aandeel diffuse straling en het aandeel directe straling in een kas met twee verschillende nokrichtingen (Noord-Zuid of Oost-West) bij een dakhelling van 22°.



Figuur 17 Verloop van de globale straling buiten de kas en PAR direct en PAR diffuus onder een helder kasdek materiaal in een typische kas per uur per jaar, gebaseerd op het transmissiemodel van de Zwart (1993)



Figuur 18 Verloop van de globale straling buiten de kas en PAR direct en PAR diffuus onder een sterk lichtverstrooiend kasdek materiaal (Haze 1.0) in een typische kas per uur per jaar, gebaseerd op het transmissiemodel van de Zwart (1993)

→ Het Nederlandse klimaat wordt gekarakteriseerd door een globale straling van circa 3650 MJ/m^2 per jaar. De stralingssom in de zomermaanden is ongeveer tien keer hoger dan in de wintermaanden. Het aandeel directe straling is in de winter gemiddeld circa 20%, terwijl het in de zomer ongeveer 40% bedraagt.

→ Het aandeel PAR in de globale straling varieert. Terwijl het aandeel PAR op heldere dagen jaarrond ongeveer constant op ca. 44% blijft, neemt het aandeel PAR op bewolkte dagen toe. De variatie van het aandeel PAR kan ook een belangrijke rol spelen voor de tuinbouwpraktijk.

→ Maar een deel van de globale straling en de PAR straling komen in de kas. Vooral de transparante kasomhulling heeft invloed op de totale transmissie van de kas. Omdat het aandeel natuurlijke diffuse straling groot is, is ook de transmissie van de transparante kasomhulling voor diffuse straling jaarrond belangrijk. Echter, ook de transmissie voor directe straling is bepalend voor de totale lichtsom in de kas en daarmee in het gewas.

→ Aan de transparante kasomhulling kan ook een verschuiving plaatsvinden van de verhouding tussen directe en diffuse straling. Een kasdek materiaal, dat theoretisch in staat is alle directe straling om te zetten in diffuse straling, kan jaarrond circa 1080 MJ/m^2 globale straling omzetten (rond een derde van de totale stralingssom), dat komt overeen met ongeveer 500 MJ/m^2 PAR straling, waarvan ongeveer 100 MJ/m^2 tijdens de wintermaanden en meer dan 400 MJ/m^2 tijdens de zomermaanden.

4 Lichtverstrooiende materialen

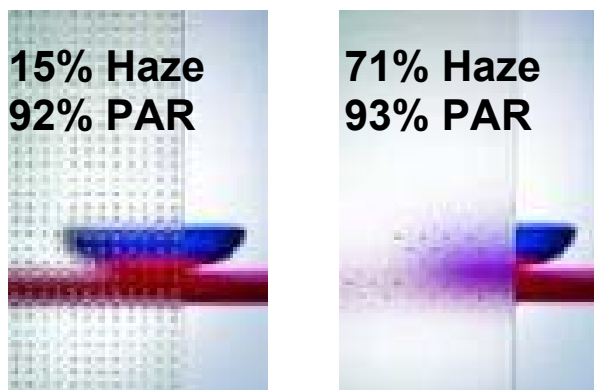
Er bestaat een groot aantal materialen met lichtverstrooiende eigenschappen dat is onderzocht op hun optische eigenschappen voor gebruik in de Nederlandse tuinbouw. Materialen kunnen worden gebruikt als kasdek materiaal of als transparant scherm. Zo zijn glas of kunststofplaten onderzocht, die in de toekomst als diffuse kasdek materialen kunnen worden gebruikt, en zijn folieachtige materialen onderzocht, die in de toekomst als kasdek materialen of schermen kunnen worden gebruikt. Additioneel is gekeken naar verschillende nieuwe krijtmiddelen die in staat zijn om het licht te verstrooien en gelijktijdig een hoge transparantie hebben of die in droge toestand licht verstrooien en in natte toestand transparant zijn. Tabel 3 geeft een overzicht van de onderzochte materialen.

Tabel 3 Overzicht materialen met lichtverstrooiende eigenschappen

Leverancier	Materiaal	Beschrijving	Code
Flabeg	glas	wit+AR+diffuus (matt+matt+AR)	FB04B
	glas	wit+AR (Float+Low iron+AR)	FB04C
	glas	wit+diffuus (matt+matt)	FB04D
	glas	wit (Float+Low iron)	FB04E
Glaverbel	glas	Satinbel matglas 4mm	GB03A
	glas	Crepi 33/33 matglas 4mm	GB03B
	glas	Glamatt matglas 2mm	GB03C
IMAG	glas	standaard tuinbouwglas 4mm	PLA01Z_2004-2
Glaverbel	glas	standaard witglas 4mm	DI05C
Röhm	PMMA	Plexiglas Struktur Farblos SW	RM04A
	PMMA	Plexiglas Struktur Farblos PL	RM04B
	PMMA	Plexiglas Struktur Farblos TU	RM04C
	PMMA	Plexiglas XT Farblos 20070 P	RM04D
	PMMA	Plexiglas XT Farblos 20070 R	RM04E
Asahi	ETFE	F-clean Clear 100µm	AS04C
	ETFE	F-clean Diffused 100µm	AS04B
Oerlemans	PE	van der Heuvel diffused 200µm	OE04A
NN	PE	geleverd Ernst v. Rijssel	NN04A
Rovero	PE	Solar EVA 5 Clear	RV04A
	PE	Solar EVA 5 HD Diffuse	RV04B
BPI	PE	Luminance THB	BI02A
Ludvig Svensson	Polyester	SLS 10 Ultra 1:5	LS04C
	Polyester	SLS 10 Ultra 1:15	LS04D
	Polyester	XLS 10 Firebreak	LS04B
Hermadix	Krijt op glas	Test 1 (1:3) droog	HM05A1
	Krijt op glas	Test 1 (1:3) nat	HM05A2
	Krijt op glas	Test 1 (1:7) droog	HM05B1
	Krijt op glas	Test 1 (1:7) nat	HM05B2
	Krijt op glas	Test 2 (1:1.25)	HM05C
	Krijt op glas	Test 3 (1:2.5)	HM05D
	Krijt op glas	Test 4 (1:2)	HM05E
	Krijt op glas	Test 5 (1:2)	HM05F
	Krijt op glas	Test 6 (1:1.5)	HM05G

De optische eigenschappen van deze materialen zijn onderzocht (Bijlage 1). Hierbij zijn de transmissie voor direct invallende loodrechte straling en ook de transmissie voor direct invallende straling onder verschillende invalshoeken als belangrijke eigenschappen gemeten. Daarnaast is de transmissie voor diffuse straling, dus straling die van alle kanten op het materiaal valt, van belang. Terwijl de transmissie voor directe straling het gedrag van een materiaal op heldere dagen met een groot aandeel directe zonnestraling karakteriseert, zegt de transmissie voor diffuse straling iets over het gedrag van het materiaal op bewolkte dagen.

Transparante materialen kunnen helder en doorzichtig zijn of diffuus en zeer ondoorzichtig. De laatst genoemde materialen zijn in staat om directe straling om te zetten in diffuse straling. Een maat voor de omzetting van directe in diffuse straling is de **Haze**, de **lichtverstrooiingsfactor** of diffusiteit van een materiaal. Deze kan variëren tussen 0 (alleen directe straling) tot 1 (alleen diffuse straling). Een materiaal dat een Haze van 0.3 heeft, is bijvoorbeeld in staat 30% van de directe straling om te zetten in diffuse straling. Een materiaal met een grote Haze is dus in staat om straling sterk te verstrooien. Als men er doorheen kijkt lijkt bijvoorbeeld een lichtbron of een voorwerp wazig (Figuur 19). Ook al kan men door een diffuus materiaal met een grote Haze nauwelijks of niet heen kijken, toch hoeft dit geen consequenties voor de totale lichttransmissie te hebben, hoewel het menselijk oog dit anders waarneemt. Als licht door een materiaal met een grote Haze valt, ontstaat ook minder schaduwwerking van voorwerpen achter het materiaal. Dit is van bijzonder belang in kassen, waar slagschaduw door constructiedelen op planten ontstaat en deze planten structureel minder licht krijgen (Figuur 20).

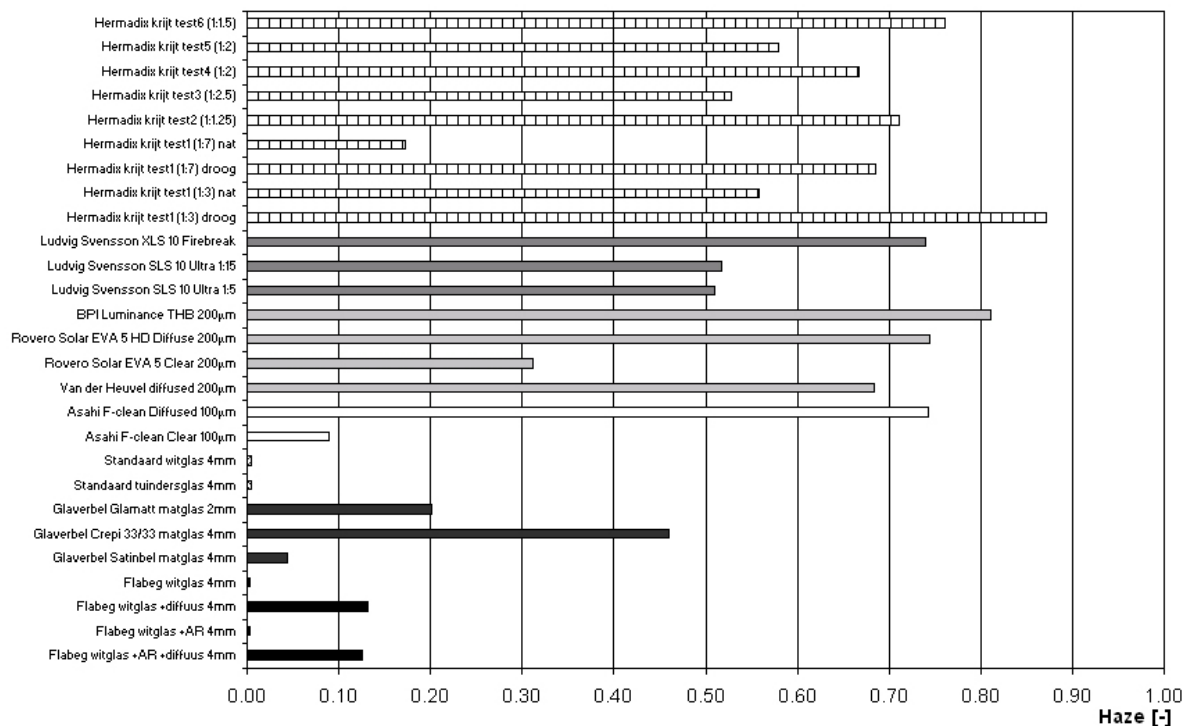


Figuur 19 Materialen met verschillende diffusiteit (Haze) laten voorwerpen wazig verschijnen (links geringe diffusiteit van 15%, rechts hoge diffusiteit van 71%) bij gelijktijdig dezelfde lichttransmissie van 92-93% (Röhm, 2005)



Figuur 20 Kasdekmaterialen met lichtverstrooiend vermogen zorgen voor minder slagschaduw op planten door constructiedelen (links helder kasdek materiaal, rechts diffuus kasdek materiaal)

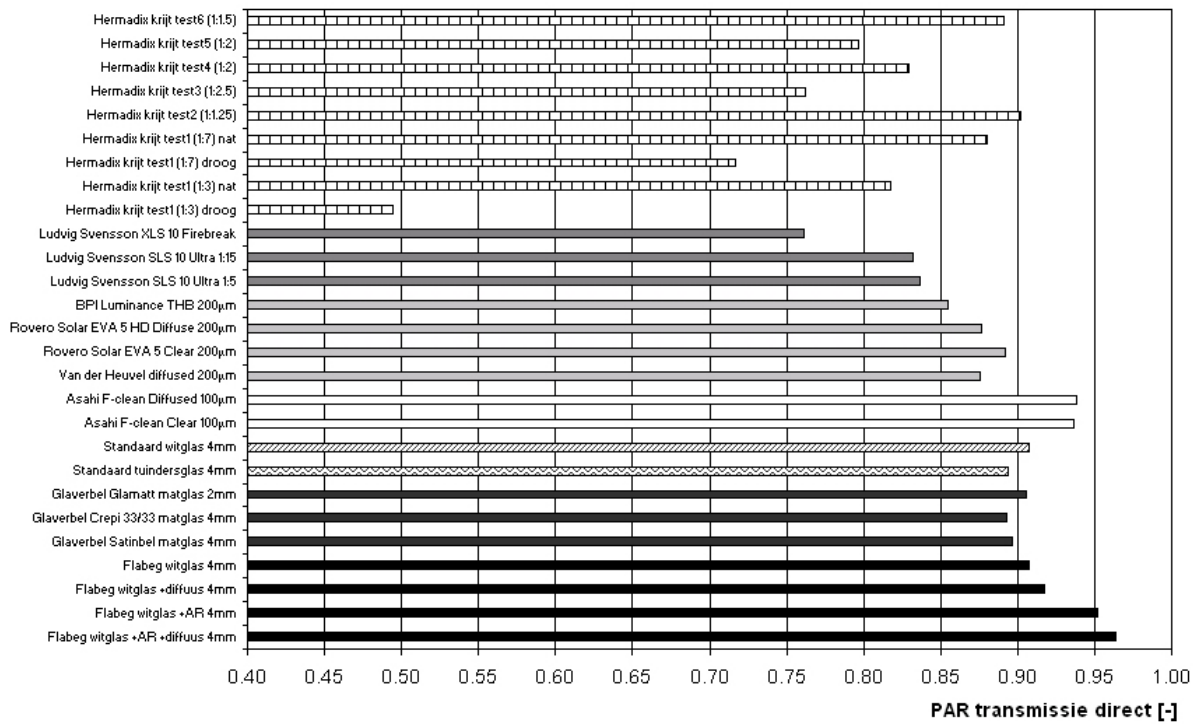
Over het lichtverstrooiend vermogen van verschillende in de tuinbouw gebruikte materialen was tot nu toe nog weinig bekend. Figuur 21 geeft de Haze van verschillende materialen als maat voor het lichtverstrooiend vermogen weer. Helder glas (Standaard tuinbouwglas, Standaard witglas) heeft een Haze van ongeveer nul, direct invallend licht wordt niet verspreid. Er bestaat echter ook glas met een structuur (Glaverbel matglas in verschillende soorten, Flabeg witglas diffuus en Flabeg witglas AR+diffuus), dat in staat is om een deel van de direct invallende straling om te zetten in diffuus licht. Deze glazen hebben een Haze tussen 0.15-0.45. Folie materialen hebben ook in een heldere uitvoering altijd een klein lichtverstrooiend karakter. Zo heeft een transparante PE folie (Rovero Solar EVA 5 Clear) nog een Haze van 0.3. Toegevoegde lichtverstrooiende pigmenten verhogen de Haze verder tot 0.7-0.8. Ook transparante geweven schermmaterialen verstrooien het licht (Ludvig Svensson SLS en XLS doeken), ze hebben een Haze van 0.5-0.7 afhankelijk van het materiaal.



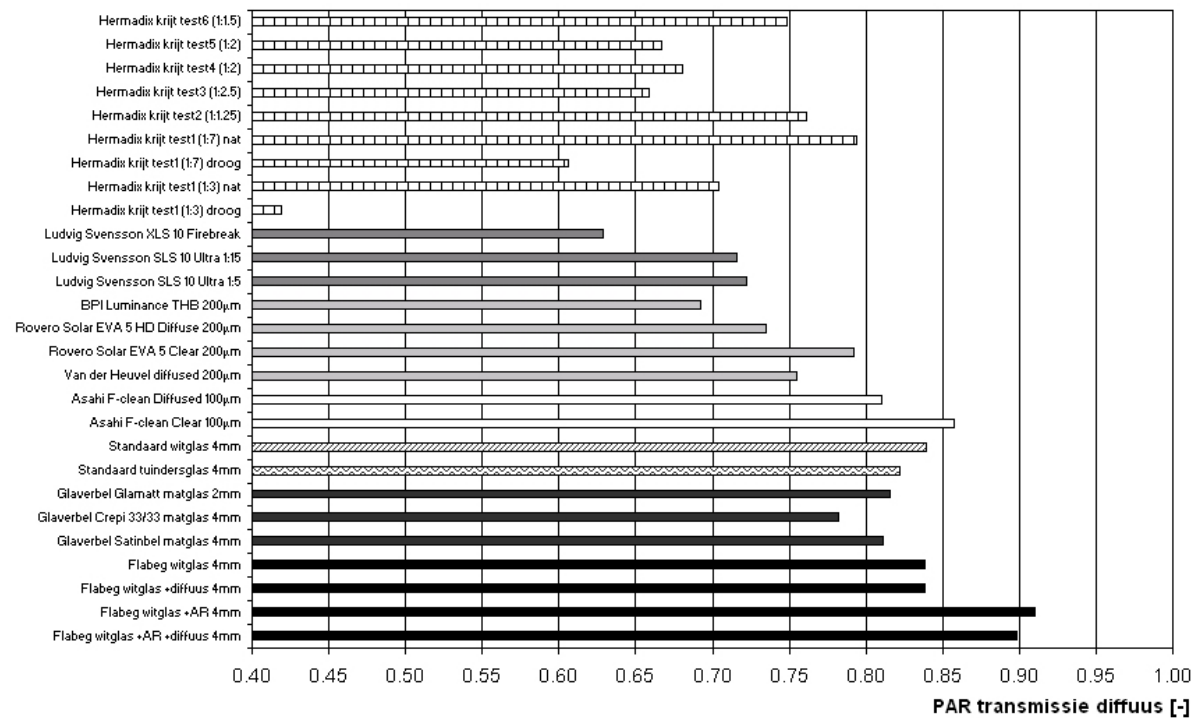
Figuur 21 De Haze, het lichtverstrooiend vermogen, van verschillende materialen

Het valt op dat materialen met lichtverstrooiende eigenschappen een hoge lichttransmissie voor direct invallend licht kunnen hebben, die te vergelijken is met dezelfde materialen in een heldere uitvoering. Bij de foliematerialen neemt door toevoeging van lichtverstrooiende pigmenten in een PE of EVA polymeer de directe lichttransmissie in geringe mate af (Rovero Solar EVA 5HD diffuse en Van der Heuvel diffuse). Daarentegen neemt de directe transmissie van Asahi F-Clean diffuse niet af ten opzichte van het heldere materiaal Asahi F-Clean. Bij glas kan de directe lichttransmissie door een diffuus makende structuur zelfs toenemen (Glaverbel Glamatt matglas, Flabeg witglas diffuus en Flabeg witglas AR+diffuus) (Figuur 22).

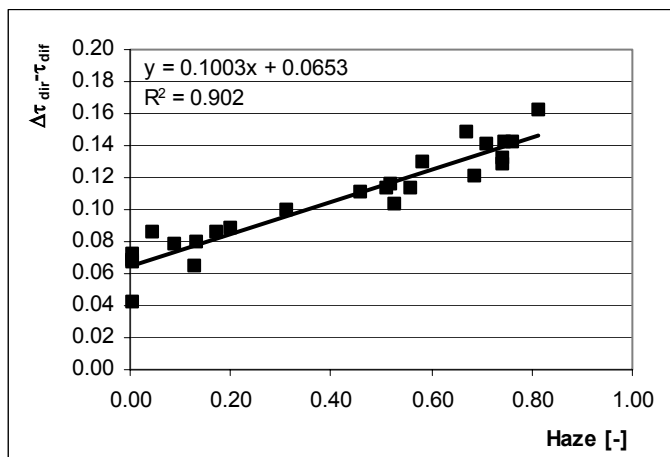
Bij de transmissie voor diffuus invallend licht valt op, dat materialen met lichtverstrooiende eigenschappen een lagere transmissie hebben vergeleken met dezelfde materialen in een heldere uitvoering. Zo neemt de diffuse transmissie van BPI Luminance THB, Rovero Solar EVA 5 HD Diffuse, Asahi F-Clean Diffused, Ludvig Svensson XLS 10 Firebreak en ook glas met lichtverstrooiende structuren af ten opzichte van het adequate heldere materiaal. Alleen bij Flabeg witglas diffuus en Flabeg witglas AR+diffuus is geen verslechtering van de diffuse transmissie te ontdekken ten opzichte van het bijhorende heldere materiaal (Figuur 23).



Figuur 22 De PAR transmissie voor direct invallend licht van verschillende materialen

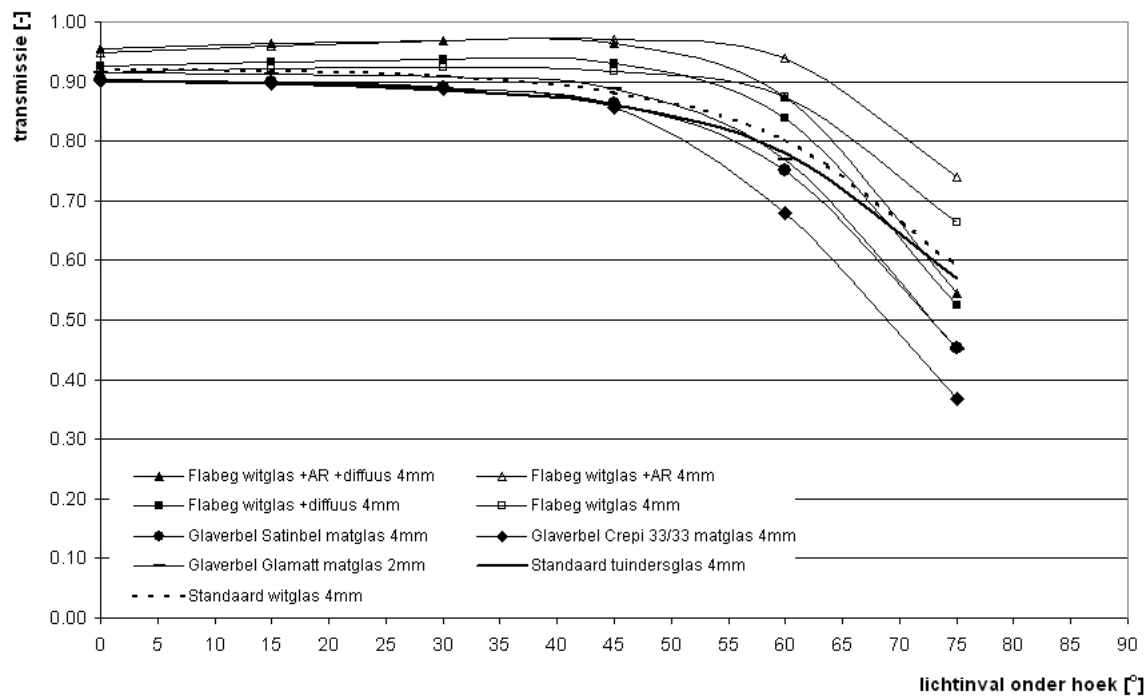


Figuur 23 De PAR transmissie voor diffuus invallend licht van verschillende materialen

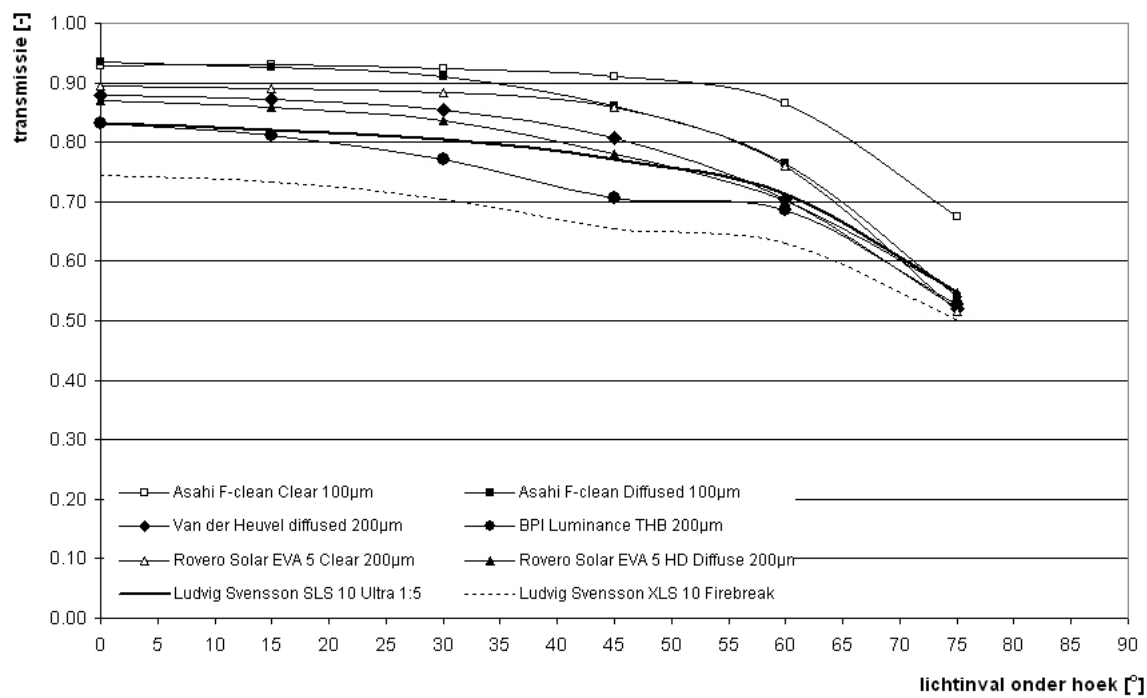


Figuur 24 Correlatie tussen Haze en het verschil tussen de transmissie voor direct licht en de transmissie voor diffuus licht van een materiaal

Er bestaat een duidelijke relatie tussen de Haze en het verschil tussen de transmissie voor direct licht en de transmissie voor diffuus licht (Figuur 24). Terwijl de directe transmissie van een lichtverstrooiend en een helder materiaal hetzelfde kan zijn, neemt de transmissie voor diffuus licht van een lichtverstrooiend materiaal meestal af met toenemende Haze. Dit is te verklaren door de hoekafhankelijke transmissie van de materialen (Figuur 25, Figuur 26, Bijlage 1). Terwijl een helder materiaal (bijvoorbeeld tuinbouwglas in Figuur 25 een afnemende lichttransmissie bij grotere invalshoeken laat zien, is deze afname sterker bij een lichtverstrooiend materiaal. Dit uit zich dan in een lagere transmissie voor diffuus licht, waar licht van alle kanten op het materiaal valt, dus ook met lagere invalshoeken. Het resultaat is, dat de transmissie voor diffuus licht afneemt. Een lichtverstrooiend glas heeft een lagere transmissie dan het adequate heldere materiaal vanaf een invalshoek van 45-50°. Een afwijkend verloop van de hoekafhankelijke transmissie vertoont AR glas, dat eerst een toenemende lichttransmissie heeft bij toenemende invalshoeken, voordat ook deze bij zeer grote hoeken afneemt (Figuur 25). Folie materialen met lichtverstrooiende eigenschappen laten al bij grotere invalshoeken dan 25-30° een afname van de lichttransmissie zien ten opzichte van het bijhorende heldere materiaal. Alleen het lichtverstrooiende scherm materiaal XLS 10 Firebreak heeft naar verhouding een goede transmissie bij grote invalshoeken, daarvan is echter de totale lichttransmissie laag (Figuur 26).



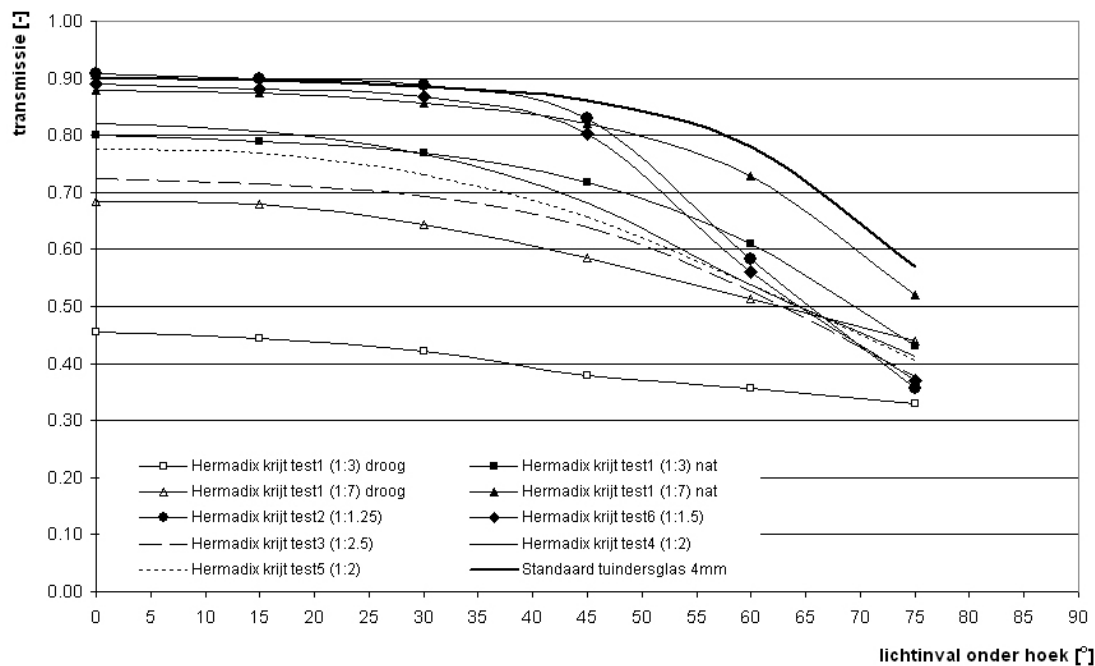
Figuur 25 PAR transmissie van verschillende glassoorten onder verschillende invalshoeken van het licht



Figuur 26 PAR transmissie van verschillende foliesoorten onder verschillende invalshoeken van het licht

Naast glas, folie en schermmaterialen zijn ook diverse krijtmaterialen op hen lichtverstrooiende werking en lichttransmissie onderzocht. Krijt wordt tijdens de zomermaanden vaak gebruikt om de hoeveelheid instraling in de kas te reduceren, maar ook om het licht diffuus te maken. Er zijn nieuwe materialen, die in droge toestand het invallende licht reduceren en diffuus maken en in natte toestand transparant worden. Hermadix test 1 (1:7) heeft bijvoorbeeld een directe transmissie van 0.72 als het droog is. Nat heeft hetzelfde materiaal een directe transmissie van 0.88, het krijtmiddel zelf onderschept veel minder licht (Figuur 22). Dit is vaak de situatie op een regenachtige zomerdag, wanneer reductie van de hoeveelheid straling juist niet meer gewenst is. Wél maakt het krijtmiddel nog bijna 20% van het licht diffuus (Figuur 21). De lichtonderschepping en de diffusiteit zijn hoger als het middel in een kleinere verdunning (bijvoorbeeld 1:3) wordt aangebracht op het glas. In periodes dat de planten meer licht nodig hebben, kan de tuinder zorgen voor een natte kasomhulling en het krijtmiddel wordt weer transparant. Dit soort krijtmiddelen kan dus worden gebruikt om de lichttransmissie van de kas enigszins te regelen.

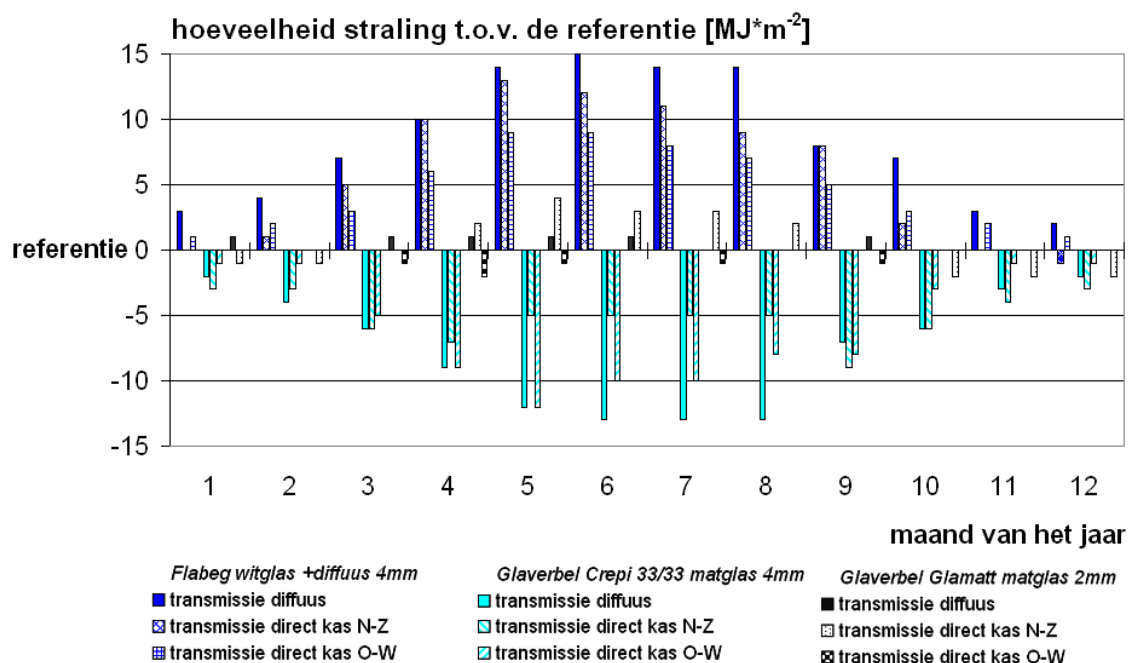
Andere nieuwe krijtmaterialen vertonen een nog hoger lichtverstrooiend vermogen met een Haze van 0.7-0.8 (Figuur 21). Gelijktijdig zijn deze materialen (test2, test6) ook in droge toestand goed transparant met een directe lichttransmissie die tot een invalshoek van 45° vergelijkbaar is met Standaard tuinbouwglas (Figuur 22, Figuur 27). Dat betekent dat het krijtmiddel zelf weinig licht onderschept. Echter, de transmissie voor diffuus invallend licht gaat achteruit (Figuur 23), omdat de lichttransmissie bij grote invalshoeken groter 45° afneemt (Figuur 27). Deze krijtmiddelen kunnen worden gebruikt om de kasomhulling een diffuus karakter te geven. Het binnenkomende licht wordt grotendeels verspreid, slagschaduw wordt vermeden, maar de hoeveelheid licht wordt weinig gereduceerd.



Figuur 27 PAR transmissie van verschillende krijtmaterialen onder verschillende invalshoeken van het licht

De hoekafhankelijke transmissie van de verschillende lichtverstrooiende materialen is blijkbaar een belangrijk kenmerk. Afhankelijk van de geometrie van de kas (met name de oriëntatie en de dakhelling) heeft een lagere transmissie bij grotere invalshoeken gevolgen voor lichtinval in de kas in periodes met directe straling. De invloed zal in de winter anders zijn dan in de zomer. Tijdens de wintermaanden is het aandeel directe straling kleiner dan tijdens de zomermaanden. Echter, in de wintermaanden zijn de invalshoeken op het kasdek groter dan in de zomer. Voor een kas met nokrichting Oost-West zijn er grotere verschillen tussen beide dakhelften en tussen zomer en winter dan voor een kas met nokrichting Noord-Zuid (Figuur 15).

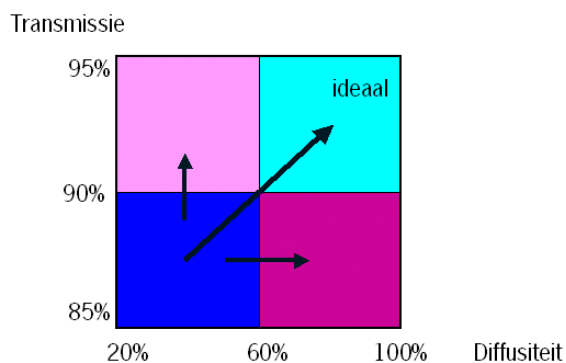
Figuur 28 laat de gevolgen van de hoekafhankelijke transmissie van drie lichtverstrooiende kasdekmaterialen op de hoeveelheid straling in de kas zien ten opzichte van standaard tuinbouwglas. Glaverbel Crepi 33/33 matglas heeft tot 45° dezelfde hoekafhankelijke transmissie dan standaard tuinbouwglas, alleen de transmissie vanaf 60° en de transmissie voor diffuus licht zijn lager. Dit uit zich daardoor in een reductie van de lichtinval van 5-6% op jaarbasis. Een ander diffuus glas Glaverbel Glamatt matglas heeft tot 60° een hogere transmissie en vanaf 60° een lagere transmissie dan standaard tuinbouwglas. Dit resulteert in een klein lichtverlies in de wintermaanden en een kleine lichtwinst in de zomermaanden. Jaarrond is de lichttransmissie vergelijkbaar met standaard tuinbouwglas. Daarentegen heeft Flabeg witglas+diffuus een betere transmissie voor bijna alle invalshoeken en voor diffuse lichtinval, alleen de transmissie voor invalshoeken groter dan 75° is slechter. Dit resulteert in een toename van de hoeveelheid straling in de kas met gemiddeld 6%. Aan deze voorbeelden is te zien, dat de hoekafhankelijke transmissie van een materiaal een grote rol speelt voor de benutting van natuurlijk licht in de kas.



Figuur 28 Gevolgen van de hoekafhankelijke transmissie van drie diffuse glazen gedurende het jaar op de hoeveelheid straling in de kas ten opzichte van standaard tuinbouwglas afhankelijk van de kasoriëntatie jaarrond.

Voor een optimalisatie van een lichtverstrooiend kasdek materiaal zijn de volgende factoren belangrijk (1) het basismateriaal (2) de lichtverstrooiende structuur (3) additionele lichtverhogende coatings. De keuze van het basismateriaal is belangrijk dat de transmissie voor direct licht ook onder kleinere invalshoeken hoog is (bijvoorbeeld Flabeg witglas 4mm of Asahi F-clean Clear 100µm), om een hoge transmissie voor direct licht jaarrond in de kas de kunnen bereiken. De juiste lichtverstrooiende structuur bepaald dan de mate van diffusiteit en de transmissie voor diffuse straling. Er zijn structuren (zoal bijvoorbeeld op Glaverbel Crepi 33/33 matglas), die het licht beter verstrooien dan andere structuren (bijvoorbeeld Glaverbel Glamatt matglas 2mm). Ook zijn er structuren die een grote lichtverstrooiing geven met een hoge transmissie voor diffuse straling (Asahi F-clean Diffused 100µm). Additionele lichtverhogende coatings zoals een anti-reflectiecoating zijn in staat om de totale lichttransmissie van een materiaal onder alle invalshoeken te verhogen (Flabeg witglas+AR 4mm en Flabeg witglas+AR+diffuus 4mm). Een combinatie van het juiste basismateriaal met een goede lichtverstrooiende structuur en eventueel additionele lichtverhogende coatings is nodig voor een optimalisatie van een perfect lichtverstrooiend kasdek materiaal voor de Nederlandse tuinbouw. Hiervoor zijn ons inziens voldoende mogelijkheden.

Het ideale kasdek materiaal heeft een hoge lichtdoorlatendheid (PAR transmissie) en een hoog lichtverstrooiend vermogen (diffusiteit).



→ Er zijn verschillende lichtverstrooiende materialen beschikbaar. De transmissie voor direct licht is vaak hoog. De transmissie voor diffuus licht is naar verhouding lager van een lichtverstrooiend materiaal ten opzichte van een helder materiaal, omdat de lichttransmissie onder kleine invalshoeken afneemt.

→ Het lichtverstrooiend vermogen (Haze) van verschillende kasdek- of schermmaterialen varieert tussen 15-45% voor glasmaterialen en tussen 70-80% voor goede folie- of schermmaterialen.

→ Er zijn reeds materialen, die een hoge lichttransmissie jaarrond combineren met redelijke lichtverstrooiende eigenschappen. Een optimalisatie is echter wenselijk. Een combinatie van het juiste basismateriaal met een goede lichtverstrooiende structuur en eventueel additionele lichtverhogende coatings biedt mogelijkheden voor een optimalisatie van lichtverstrooiende kasdekmaterialen voor de Nederlandse tuinbouw.

5 Kasklimaat

5.1 Het klimaatmodel

Beschrijving KASPRO

Het simulatiemodel (KASPRO) is een uit samenhangende componenten samengesteld model van de eigenschappen van een kas, gewasgegevens, ingestelde setpoints en buitenklimaat, dat de relevante variabelen berekent als functie van de tijd. Dit maakt berekening van de energiestromen en gewasproductie mogelijk.

De basis van het model wordt gevormd door de energie-, water- en CO₂-balansen van de in beschouwing genomen samenhangende onderdelen van het systeem. Het resulteert in een set van niet lineaire, eerste orde differentiaal vergelijkingen die numeriek worden opgelost.

Het kasklimaatmodel heeft als startpunt de kasklimaatregelaar. Kaslucht is een component waarvan de temperatuur, vochtigheid en CO₂-concentratie als primaire variabelen worden beschouwd. De kasklimaatregelaar vergelijkt deze waarden met setpoints. De setpoints zijn functies van tijd en buitenklimaat en aangenomen wordt dat de teler ze van parameters voorziet. Op grond van de vergelijkingen zal de regelaar onder andere het volgende doen:

- De stand van de mengklep van de warmwatertoevoer wordt aangepast, ten einde de temperatuur van de verwarmingbuizen en daarmee de kaslucht te wijzigen. Meestal wordt de temperatuur van twee afzonderlijke verwarmingssystemen geregeld, waarvan één met pijpen dicht bij de grond en één met pijpen in of boven het gewas.
- De stand van de luchtramen wordt aangepast voor warmte en vocht tussen de kas- en buitenlucht.
- De CO₂-gift naar de kas wordt gestart en gestopt.

Naast het kasklimaat, stuurt de regelaar de apparaten aan die van belang zijn voor de warmtevoorziening (ketel, warmtekracht-installatie en evt. warmtepomp, warmteopslagtank etc.) en de CO₂-productie van de ketel. De regelactiviteiten hebben direct of indirect invloed op het brandstofverbruik. Dit is duidelijk het geval bij verhoging van de buistemperatuur, waarbij een faseverschuiving mogelijk is tussen het moment van opwekking (en dus brandstofgebruik) en het gebruik van de warmte. De warmte wordt dan tijdelijk opgeslagen in een warmteopslagtank. Geopende ramen hebben een effect op de energieconsumptie wanneer de regelactiviteiten worden uitgevoerd op grond van het setpoint luchtvochtigheid gedurende perioden van energievraag. De CO₂-gift veroorzaakt een brandstofverbruik indien CO₂ wordt verkregen uit uitlaatgassen van de ketel of de WK-installatie tijdens perioden zonder energievraag.

Omdat het warmtedistributiesysteem in kassen gewoonlijk bestaat uit een warmwatercircuit van pijpen met een groot thermisch vermogen met typische afkoelingeigenschappen, wordt extra aandacht besteed aan de beschrijving van het dynamisch gedrag (De Zwart, 1996). De tank voor korte termijn warmteopslag met zijn grote thermische vermogen is gemodelleerd met een uitgebreid meer lagen model overeenkomstig de uitgangspunten gepresenteerd door Yoo en Pak (1993). Naast de kasklimaatregelaar zijn de kasluchtomstandigheden ook afhankelijk van de

warmte, vocht en CO₂-uitwisseling tussen de kaslucht en zijn directe omgeving. Om deze interacties te beschrijven onderscheidt het model samenhangende componenten voor het gewas, de bodem en het kasdek.

De grond onder de kas vertegenwoordigt een grote warmteopslagcapaciteit met een sterk dempend effect op fluctuaties van de kasluchttemperatuur. Om een goede afspiegeling van dit effect te verkrijgen is de grond onderverdeeld in meerdere lagen.

Het kasdek vormt een belangrijke belemmering voor warmteverlies naar de buitenlucht. Indien de temperatuur van het dek echter onder het dauwpunt van de kaslucht komt, veroorzaakt het dekoppervlak ontvochtiging van de kas.

De buitenomstandigheden dienen als omgevingsfactoren voor het model. De buitenluchttemperatuur en de hemeltemperatuur beïnvloeden de warmteverliezen door convectie en straling bij het kasdek en daardoor de temperatuur van het dek. De buitentemperatuur, vochtigheid en CO₂-concentratie hebben een directe invloed op de primaire toestandsvariabelen via luchtuitwisseling door geopende ramen of kieren. De windsnelheid is een belangrijke indirecte weerconditie omdat deze invloed heeft op de convectieve warmte-uitwisseling aan het dek en in belangrijke mate de luchtuitwisseling door de ramen bepaalt.

Een belangrijk weergegeven is de globale straling. Directe en diffuse straling wordt geabsorbeerd, gereflecteerd en doorgelaten door het dek, het gewas en de grondoppervlakte. Bovendien is straling op gewashoogte belangrijk voor de fotosynthese. Voor de berekening van de warmte-, vocht- en CO₂-stromen tussen de samenhangende componenten, zijn de relaties voor de warmtestroming ontleend aan een aantal auteurs. De warmtestraling is berekend met gebruikmaking van relaties gebaseerd op de wet van Stefan-Boltzmann, en bevat absorptie en emissie. Interceptie van de straling door het gewas is behandeld in overeenstemming met Goudriaan (1988). De transmissie van licht door het dek is berekend middels een methode beschreven door Bot (1983). De convectieve warmte-uitwisseling aan de binnen en buitenkant van het dek is beschreven in vergelijkingen en eveneens gepresenteerd door Bot. De ventilatiestromen, in tuinbouwkundige context, zijn gebaseerd op natuurlijke ventilatie en worden berekend op basis van de theorie gepresenteerd door De Jong (1990). De gewasverdamping, een belangrijk onderdeel van het model, is afgeleid van het werk van Stanghellini (1987). De convectieve warmteoverdracht van verwarmingsbuizen en convectieve warmte-uitwisseling van de bodem is eveneens beschreven door Bot. De warmtegeleiding in de grond is benaderd vanuit de algemene warmtegeleidingtheorie.

Ten gevolge van de complexiteit en de niet lineairiteit van het model, is de oplossing van de differentiaalvergelijkingen uitgevoerd in numerieke voorwaartse integratie. De stapgrootte wordt steeds zodanig gekozen dat geen numerieke instabiliteit ontstaat. Dat betekent dat de tijdsduur per integratiestap vaak niet meer dan 15 sec bedraagt. Wanneer het buitenklimaat en de activiteiten van de klimaatregelaar stabiel zijn, neemt de stapgrootte toe tot 2 minuten, hetgeen overeen komt met de meetfrequentie van de klimaatregelaar.

Vergelijking van de resultaten van het model met metingen in een semi-praktijk kas (4 afdelingen van 200m² elk) toonden een zeer goede overeenkomst. Absolute verschillen tussen model en metingen voor de luchttemperatuur voor gemiddelde 10 minuten waarden bedroegen minder dan 0.5°C in 90% van de tijd. Het energieverbruik (warmte) werd gesimuleerd met een nauwkeurigheid van 95% en de regelactiviteiten met betrekking tot ramen en de CO₂-gift toonden een goede gelijkensis. (de Zwart, 1996). Voor de beschrijving van het buitenklimaat wordt een dataset gebruikt die uitgaat van typisch Nederlandse weersomstandigheden. Deze dataset is wordt aangeduid als het SEL-jaar (Breuer en Van de Braak, 1989).

Setpoints kasklimaat

Met het KASRPO model wordt het kasklimaat van drie verschillende teelten komkommer, paprika en tomaat berekend. De bedrijfsuitrusting en de setpoints zijn beschreven in Bijlage 2.

Diffuse maatregelen

Kasombullingsmateriaal

Het kasdek materiaal in de referentie is helder glas, zonder lichtverstrooiende eigenschappen, een Haze van ongeveer 0 en een transmissie voor direct invallende straling van 90%. De transmissie voor diffuus invallende straling is 83%. De overige optische eigenschappen staan beschreven in Bijlage 1. Berekeningen zijn verder gedaan met kasdekmaterialen met verschillende lichtverstrooiende eigenschappen, met een Haze van 0.3, 0.6, 0.8 en 1.0. Een kasdek materiaal met een Haze van 0.3 is in staat om 30% van de binnenkomende directe straling om te zetten in diffuse straling. Ook de transmissie voor direct PAR werd gevarieerd. Er is uitgegaan van een 5% hogere en 5% lagere transmissie.

	lichtdoorlatendheid kasdek materiaal (transmissie)	lichtverstrooiend vermogen kasdek materiaal (Haze)
Lichte kas	$\tau_{dir}=95\%$ ($\tau_{dif}=88\%$)	0
		0.3
		0.6
		0.8
		1.0
Traditionele kas	$\tau_{dir}=90\%$ ($\tau_{dif}=83\%$)	0
		0.3
		0.6
		0.8
		1.0
Donkere kas	$\tau_{dir}=85\%$ ($\tau_{dif}=78\%$)	0
		0.3
		0.6
		0.8
		1.0

τ_{dir} PAR transmissie kasdek materiaal voor direct licht

τ_{dir} PAR transmissie kasdek materiaal voor direct licht

Beweegbaar horizontaal binnenscherm

Naast het energiescherm, dat vooral tijdens nachturen wordt gesloten, wordt een horizontaal beweegbaar binnenscherm verondersteld, dat ook tijdens daguren wordt gesloten. Dit scherm is transparant en heeft maximaal lichtverstrooiende eigenschappen, dus een Haze van 1.0, en heeft het doel invallende straling in de kas diffuus te maken. De PAR-doorlatendheid van het scherm wordt aangenomen 85%, 90% of 95% te zijn voor direct invallende straling. Er worden verschillende schermstrategieën aangenomen.

- Diffuus:direct 1:1 Het scherm wordt gesloten zodra de hoeveelheid direct in de buitenstraling gelijk wordt aan de hoeveelheid diffuus (ca. 500 uur per jaar)
- Direct > 5W/m² Het scherm wordt gesloten als de hoeveelheid directe straling buiten groter wordt dan 5W/m² (ca. 2500 uur per jaar)
- Direct > 50W/m² Het scherm wordt gesloten als de hoeveelheid directe straling buiten groter wordt dan 50W/m² (ca. 1300 uur per jaar)

	lichtdoorlatendheid kasdek materiaal (transmissie)	lichtverstrooiend vermogen kasdek materiaal (Haze)	schermstrategie
Lichte kas	$\tau_{dir}=95\%$ ($\tau_{dif}=88\%$)	1.0	Diffuus:direct 1:1 Direct > 5W/m ² Direct > 50W/m ²
Traditionele kas	$\tau_{dir}=90\%$ ($\tau_{dif}=83\%$)	1.0	Diffuus:direct 1:1 Direct > 5W/m ² Direct > 50W/m ²
Donkere kas	$\tau_{dir}=85\%$ ($\tau_{dif}=78\%$)	1.0	Diffuus:direct 1:1 Direct > 5W/m ² Direct > 50W/m ²

τ_{dir} PAR transmissie kasdek materiaal voor direct licht

τ_{dif} PAR transmissie kasdek materiaal voor diffuus licht

5.2 Effect van een lichtverstrooiend kasdek materiaal

Een lichtverstrooiend kasdek materiaal heeft nauwelijks gevolgen voor het kasklimaat. Dit geldt voor alle drie gewassen: komkommer, paprika en tomaat. Het gasverbruik blijft constant (Bijlage 3), evenals de gemiddelde kasluchttemperatuur (Bijlage 4) en de gemiddelde relatieve luchtvochtigheid (Bijlage 5) of de CO₂-concentratie (Bijlage 6). Verder zijn er geen verschillen in de gemiddelde gewastemperatuur (Bijlage 7). Er is een kleine afname van de gewasverdamping door toenemende diffusiteit (Bijlage 8) te constateren, vooral bij hoge PAR niveaus.

5.3 Effect van een lichtverstrooiend scherm

Een lichtverstrooiend transparant scherm heeft invloed op het kasklimaat, als het scherm overdag wordt gesloten om directe straling om te zetten in diffuse straling. Het scherm belemmert de luchtuitwisseling tussen kas- en buitenlucht, waardoor de kasluchttemperatuur in de zomermaanden enorm op kan open. Als het scherm vaak wordt gesloten stijgt de gemiddelde kasluchttemperatuur met meer dan 3.5°C (Bijlage 11), waardoor de kas 30-40% meer gelucht moet worden (Bijlage 12). Als een andere schermstrategie wordt gekozen, waarbij het scherm minder vaak wordt gesloten, loopt de gemiddelde kasluchttemperatuur altijd nog met 1.5°C op, maar dan is het effect van het scherm op de lichtverstrooiing aanzienlijk minder. Ook de gemiddelde gewastemperatuur neemt toe. Het invloed op het kasklimaat is afhankelijk van de gekozen schermstrategie. In Bijlage 9 is het aantal schermuren per schermstrategie aangegeven. Een ook overdag gesloten scherm zorgt voor een besparing op het gasverbruik tot 2-4%, afhankelijk van de schermstrategie en het gewas (Bijlage 13). Echter, een gesloten scherm vormt ook een tweede lichtonderscheppende laag in de kas, waardoor de hoeveelheid PAR afhankelijk van de schermstrategie wordt gereduceerd (Bijlage 10). Deze afname kan oplopen tot 15% minder PAR ten opzichte van de referentie zonder gebruik van een lichtverstrooiend scherm. In berekeningen zoals beschreven in hoofdstuk 6 is vastgesteld, dat een hogere diffusiteit van een materiaal een reductie van de hoeveelheid PAR maar ten dele compenseert. Omdat de lichtreductie door een scherm altijd aanzienlijk zal blijven, is een diffuus scherm verder niet geanalyseerd.

→ Een lichtverstrooiend kasdek materiaal heeft nauwelijks gevolgen voor het kasklimaat. Dit geldt voor alle drie gewassen: komkommer, paprika en tomaat.

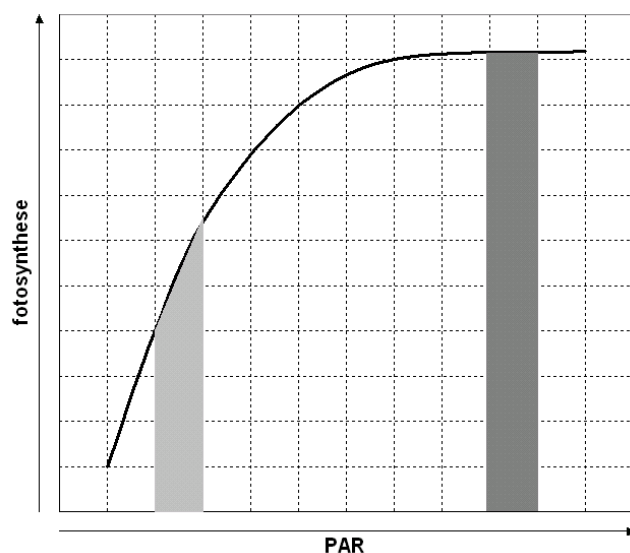
→ Een lichtverstrooiend binnenscherm vormt een barrière voor de luchtuitwisseling. Hierdoor kan de gemiddelde kasluchttemperatuur meer dan 3.5°C stijgen, waardoor de kas 30-40% meer gelucht moet worden. Verder vormt een scherm een tweede lichtonderscheppende laag in de kas, waardoor de hoeveelheid PAR tot 15% kan worden gereduceerd. Omdat in de analyse van de gewasreactie werd vastgesteld dat een hogere diffusiteit van een materiaal een reductie van de hoeveelheid PAR maar ten dele compenseert, is het gebruik van scherm, met het doel het licht diffuus te maken, niet aan te raden.

6 Gewasreactie

De lichtonderschepping

In elk gewas wordt het invallende licht voornamelijk onderschept door de bladeren. De hoeveelheid blad per eenheid grondoppervlak en de oriëntatie van de bladeren ontwikkelt zich dynamisch in het groeiseizoen en bepaalt welke fractie van het invallende licht onderschept kan worden. Deze eigenschappen zijn gewasspecifiek en kunnen beschreven worden door de lichtextinctiecoëfficiënt k_t . De extinctiecoëfficiënt voor diffuse straling is kleiner dan de extinctiecoëfficiënt voor directe straling. Dit houdt in dat diffuse straling minder goed onderschept kan worden en dieper kan doordringen in een gewas. De onderschepte straling en de verticale verdeling van het bladgroen (chlorofyl) in het bladerdek bepalen samen met de efficiëntie van het chlorofyl de uiteindelijke hoeveelheid fotosynthese die per bladlaag gerealiseerd kan worden (Spitters, 1986; Goudriaan, 1988).

De hoeveelheid straling in een gewas neemt dus van boven naar beneden af, omdat tussenliggende bladlagen het invallende licht onderscheppen. Onderin het gewas bevindt zich over het algemeen minder chlorofyl dan boven in het gewas, omdat rubisco (een belangrijk enzym voor de fotosynthese) onder invloed van veroudering en door minder licht onder in het gewas uiteenvalt en naar groeiende plantendelen boven in de plant wordt getransporteerd (Ono et al., 1996). De verticale chlorofylverdeling volgt ook min of meer de lichtverdeling in het gewas. Toch kan bovenin het gewas de hoeveelheid chlorofyl beperkend zijn om al het onderschepte licht efficiënt te verwerken. Dit komt omdat het chlorofyl een bepaalde mate van verzadiging kent, waardoor er per tijdseenheid maar een beperkte hoeveelheid straling verwerkt kan worden. Hierdoor neemt de efficiëntie van de fotosynthese af bij toenemende lichtintensiteiten (Figuur 29).



Figuur 29 Fotosyntheseactiviteit afhankelijk van de hoeveelheid geabsorbeerde PAR

Voor het doorrekenen van de effecten van de verstrooiing van het licht door verschillende kasdekmaterialen wordt gebruik gemaakt van modelsimulaties die in de volgende paragrafen besproken worden.

Het gewasmodel

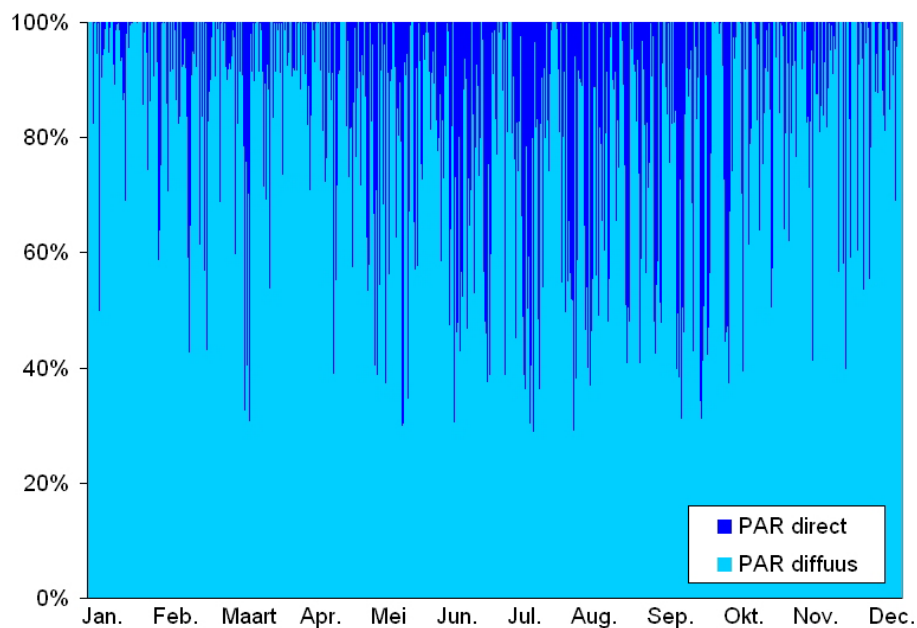
De modelsimulaties zijn uitgevoerd met het INTKAM-gewasgroeimodel van Plant Research International (Marcelis et al., 2000), dat is gebaseerd op het HORTSIM model (Gijzen et al., 1998). De lichtdoordringing en onderschepping in het gewas is gebaseerd op het model van Spitters (1986) en de theorie van Goudriaan (1988). Het model berekent de fotosynthesesnelheid op basis van gedetailleerde biochemische vergelijkingen (Farquhar et al., 1980) die rekening houden met de effecten van straling, temperatuur, CO₂-concentratie en het dampdruktekort van de atmosfeer. De assimilaten die door fotosynthese zijn verkregen worden op basis van relatieve sinksterktes van de plantorganen verdeeld, waardoor de groeisnelheden van de plantorganen berekend kan worden. De toename van het bladoppervlak wordt berekend uit de gewichtstoename van het blad en het potentiële specifieke bladoppervlak (SLA, m² g⁻¹). De verdamping wordt berekend met behulp van de Penman-Monteith vergelijkingen en maakt gebruik van het model voor stomataire geleidbaarheid zoals beschreven door Nederhoff en de Graaff (1993). Op verschillende niveaus in het gewas wordt de hoeveelheid onderschepte straling berekend. De fotosynthese en verdamping op gewasniveau wordt verkregen door de snelheden op de verschillende gewasdiepten te integreren. De gewasontwikkeling wordt dagelijks berekend via de temperatuurafhankelijke ontwikkeling van internodiën. Het wordt verondersteld dat de verschillende bladlagen dezelfde potentiële fotosynthesecapaciteit hebben.

Met behulp van INTKAM werden de dagelijkse lichtonderschepping en fotosynthese van het gewas uitgerekend voor zes bladlagen of -compartimenten. De bovenste (1) en de onderste bladlaag (6) bedragen ieder 10 % van het totale bladoppervlak en de vier tussenliggende bladlagen (2, 3, 4 en 5) bedragen ieder 20 % van het totale bladoppervlak.

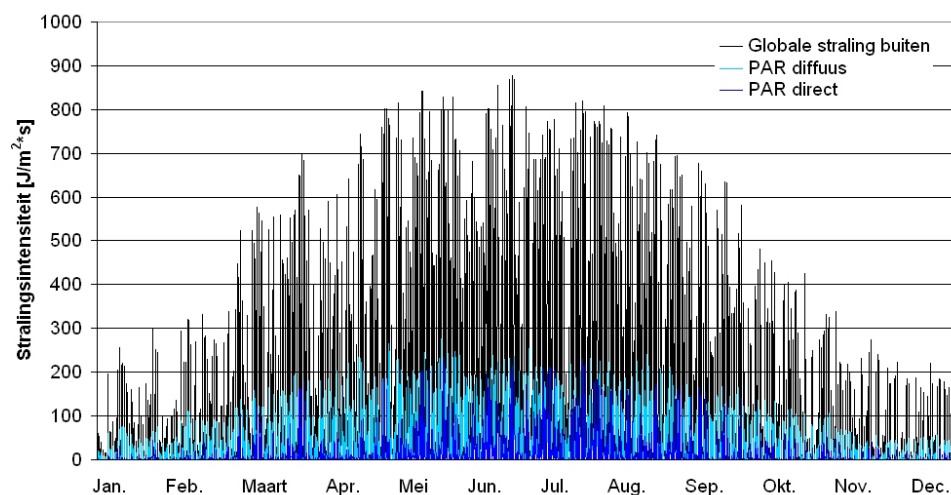
Er zijn drie gewassen gekozen voor de modelsimulaties met INTKAM: komkommer, paprika en tomaat. Komkommer heeft een relatief korte productieperiode en daarom worden er drie teelten in het jaar gesimuleerd (Tabel 4). Door het vergelijken van de drie teelten van komkommer kunnen seizoenseffecten van diffuus licht goed worden onderzocht omdat de hoeveelheid en de fractie diffuus licht seizoensafhankelijk is. Ook paprika en tomaat zijn belangrijke gewassen in Nederland. Er worden verschillende effecten verwacht omdat de hoeveelheid blad bij paprika en tomaat substantieel verschilt: bij tomaat wordt het blad geplukt en bij paprika gebeurt dit tot nu toe niet veel in de praktijk. De lichtdoordringing en daarmee de gewasreactie zullen daarom verschillend zijn.

Tabel 4 De teelt van komkommer, paprika en tomaat voor de modelsimulaties met INTKAM (dag in het jaar tussen haakjes).

	Komkommer			Paprika	Tomaat
	Winterteelt	Voorjaarsteelt	Najaarsteelt		
Datum start teelt	16-dec (350)	1-mei (121)	1-aug (213)	21-nov (325)	12-dec (346)
Datum einde teelt	30-apr (120)	31-jul (212)	5-nov (309)	6-nov (310)	20-nov (324)
Aantal dagen	136	92	97	341	344

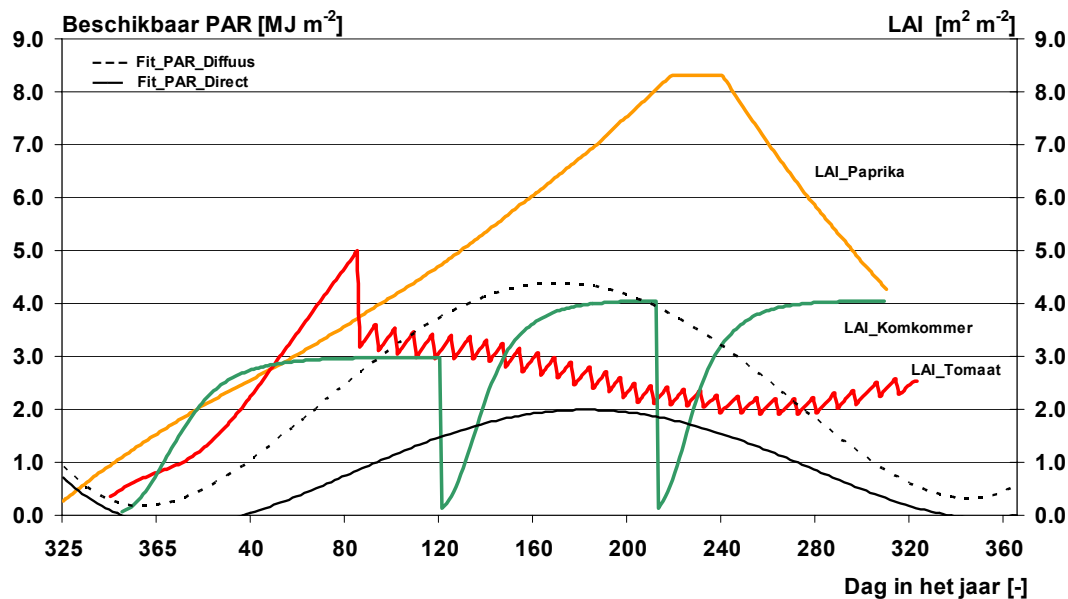


Figuur 30 Relatieve verdeling van directe en diffuse PAR binnen de kas, dat gebruikt is voor de modelsimulaties met INTKAM.



Figuur 31 Absolute verdeling van directe en diffuse PAR binnen de kas, dat gebruikt is voor de modelsimulaties met INTKAM.

Op basis van de hoeveelheid en de fractie directe en diffuse zonnestraling per periode (Figuur 30), de bladontwikkeling van de gewassen en de teeltperiode in het jaar (Tabel 4) worden de relatieve effecten van lichtverstrooiende kasmaterialen als volgt verwacht (in afnemende volgorde): Paprika > Tomaat > Komkommer (voorjaar) > Komkommer (najaar) > Komkommer (winter). Bovendien wordt verwacht dat het effect zal toenemen met toenemende mate van het lichtverstrooiende vermogen (diffusiteit of Haze) van het kasdek.



Figuur 32 Fit van diffuse (---) en directe (—) straling (PAR; MJ m⁻²) in de kas onder een helder kasdek (Haze=0.0) met een PAR doorlatendheid van 90 % en ontwikkeling van het bladoppervlak (LAI; m² m⁻²) van komkommer, paprika en tomaat zoals berekend met het INTKAM-simulatiemodel.

Figuur 32 laat de modelresultaten zien voor de bladontwikkeling (LAI; Leaf Area Index, m² m⁻²) van komkommer, paprika en tomaat bij de aangeboden diffuse en directe straling van het SEL-jaar. Bij paprika worden veel grotere bladoppervlakken bereikt dan bij tomaat en komkommer. Bij tomaat ligt de oorzaak hiervan in het bladplukken (in de grafiek te zien als een “zaagtand” vanaf dag 80), terwijl bij komkommer de kortere teeltperiodes en de timing in het seizoen de ontwikkeling van het bladoppervlak bepalen. De opstartperiodes bij de komkommerteelten (3 op jaarbasis) waarbij het bladoppervlak zich opnieuw moet ontwikkelen, heeft een remmende werking op het voordeel dat met diffuus licht behaald zou kunnen worden. De lagere LAI waarden in het begin van de teelt resulteren in een verminderde lichtonderschepping, speciaal bij diffuus licht dat minder geabsorbeerd kan worden dan direct licht.

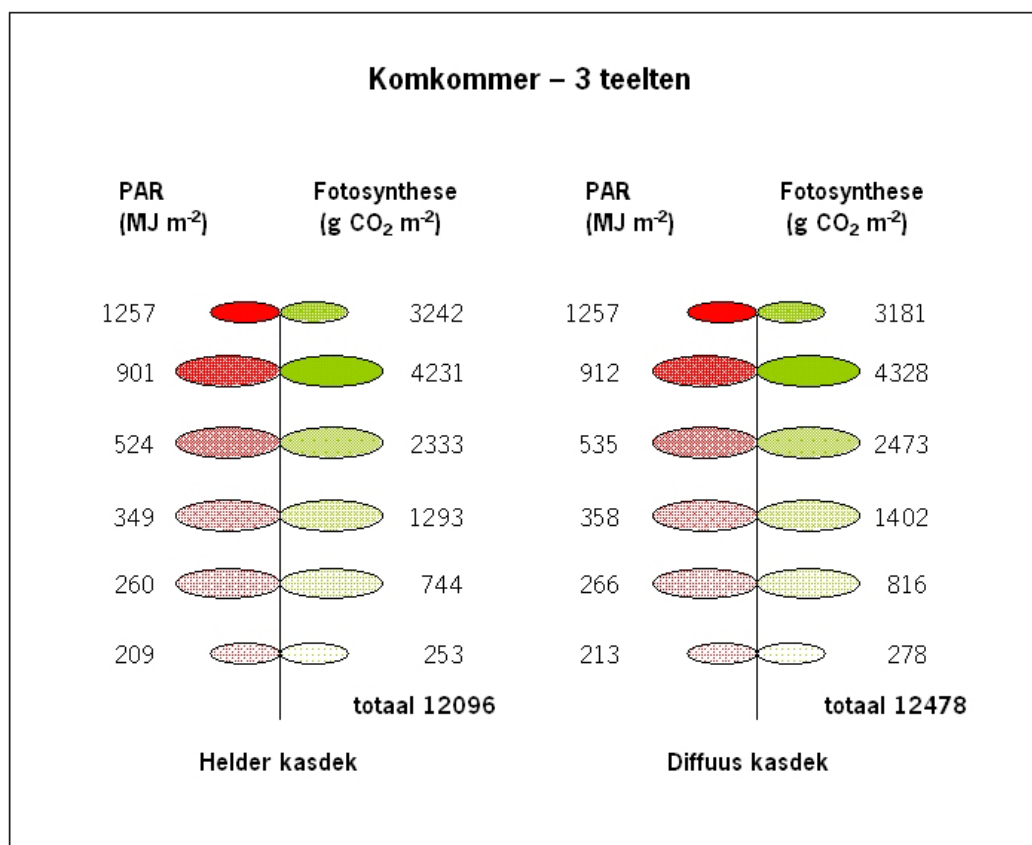
De modelsimulaties worden gebruikt om deze hypothesen te toetsen en tevens een kwantitatief beeld te geven van de effecten van diffuus en direct licht voor de fotosynthese en de vruchtproductie van de verschillende gewassen. Verder worden er per gewas conclusies

getrokken voor de toepassing van lichtverstrooiende kasdekmaterialen. Omdat bij het huidige kasdek materiaal (glas) ongeveer 90 % PAR-transmissie gerealiseerd wordt, is er voor gekozen om in detail in te gaan op de simulatie van de productie bij een kasdek met 90 % PAR-transmissie. Voor dit kasdek materiaal wordt er dieper ingegaan op de verschillen tussen een kasdek met maximale lichtverstrooiende eigenschappen (Haze=1.0) en een helder kasdek (Haze=0.0). De overige simulatieresultaten voor kasdekken met een Haze van 0.3, 0.6 en 0.8 staan opgenomen in Bijlage 14 t/m Bijlage 18.

6.1 Komkommer

Komkommer jaarrond

De effecten voor de komkommerteelt worden eerst besproken voor de 3 teelten als geheel (jaarrond) om te kunnen vergelijken met de paprika- en tomaatteelt. De winter-, voorjaars- en najaarsteelt worden ook apart besproken. Figuur 33 geeft een samenvatting van de simulatieresultaten voor de komkommerteelt onder een helder glasdek (Haze=0.0) en de situatie waarbij al het inkomende directe licht is omgezet in diffuus licht (Haze=1.0).



Figuur 33 De hoeveelheid beschikbare PAR en de fotosynthese van komkommer onder een kasdek met 90 % PAR doorlatendheid. Vergelijken wordt het effect van een teelt onder een helder kasdek (Haze=0.0) en een teelt onder een volledig diffuus kasdek (Haze=1.0) op de lichtdoordringing (MJ PAR m⁻² a⁻¹) en fotosynthese (g CO₂ m⁻² a⁻¹) voor 3 teeltperiodes van komkommer en weergegeven per 6 bladlagen.

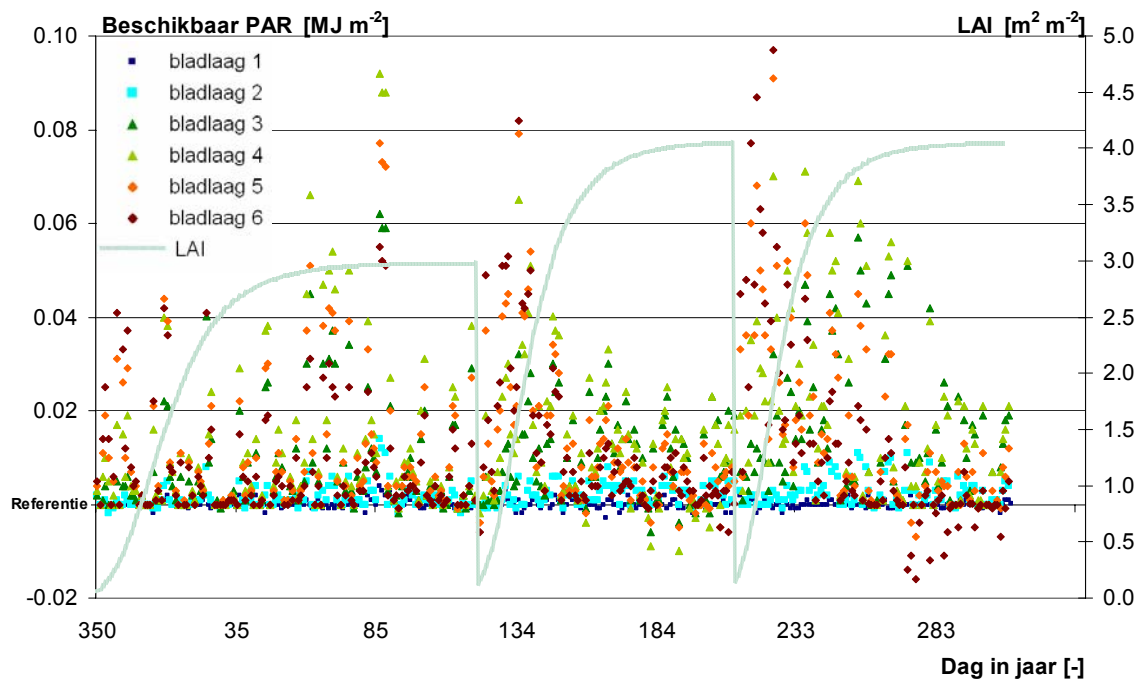
Tabel 5 Het verschil in PAR beschikbaar, PAR geabsorbeerd en fotosynthese (CO₂-assimilatie) per 6 bladlagen tussen een diffuus kasdek materiaal (Haze=1.0) en een helder kasdek materiaal (Haze=0.0) voor 3 teeltperiodes van komkommer. Ook wordt de efficiëntie van de benutting van het geabsorbeerde PAR voor de fotosynthese aangegeven (CO₂-assimilatie in g CO₂ d⁻¹ per MJ PAR geabsorbeerd) van een diffuus kasdek materiaal ten opzichte van een helder kasdek materiaal in %.

Bladlaag	PAR beschikbaar (MJ m ⁻²)	PAR geabsorbeerd (MJ m ⁻²)	CO ₂ -assimilatie (g CO ₂ m ⁻² d ⁻¹)	Efficiëntie (%)
1	0.1	-10.8	-61.2	1.17
2	10.8	-0.9	97.6	2.55
3	11.6	2.8	140.5	4.33
4	8.9	2.5	108.4	5.50
5	6.0	1.9	71.9	5.69
6	4.3	0.8	25.5	5.34
1 t/m 6		-3.7	382.7	3.52

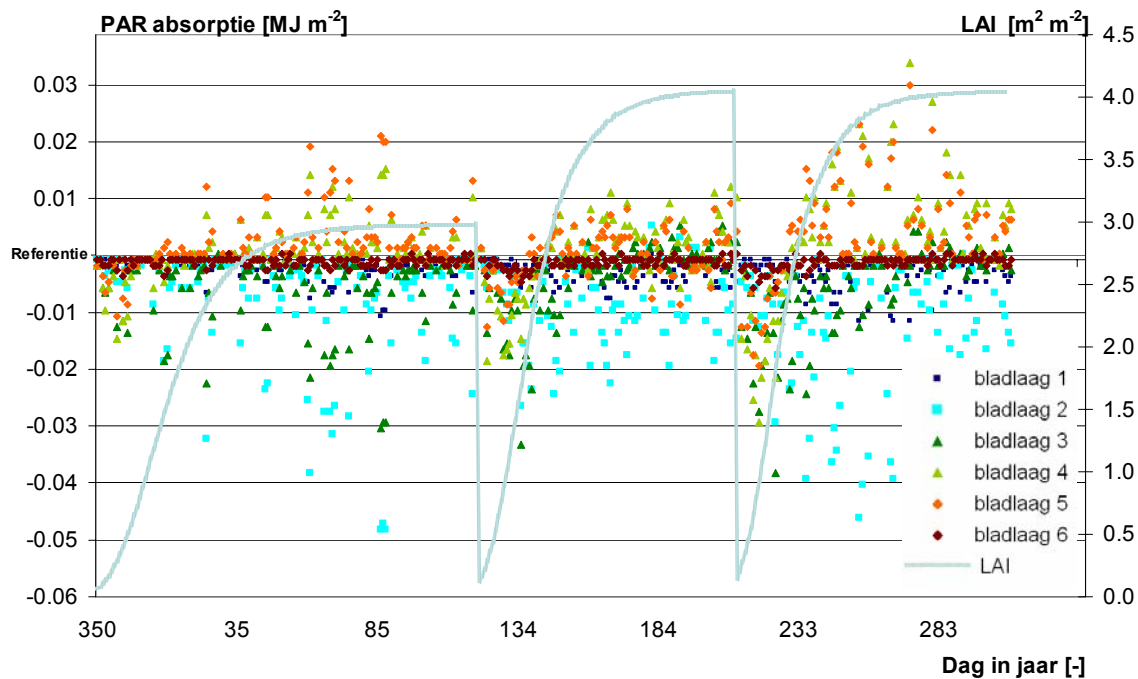
De beschikbare PAR waarden per bladlaag in Figuur 33 laten zien dat het licht dieper doordringt in het gewas bij diffuus licht (meer PAR beschikbaar voor diepere lagen). De bovenste 10 % van het bladoppervlak kan daardoor minder licht absorberen en laat daarom ook een lagere fotosynthese zien. Vanaf bladlaag 2 is al een positief effect te zien op de fotosynthese die jaarrond in totaal met 3.2 % is verhoogd bij volledig diffuus licht. Omdat de verdeling van assimilaten over de verschillende organen niet evenredig is, betekent dit op jaarbasis een verhoging van de vruchtproductie met gemiddeld 4.4 % dat overeenkomt met ca. 3.7 kg m⁻² versgewicht gemiddeld over 3 teelten.

In Tabel 5 is het **verschil** in PAR beschikbaar, PAR geabsorbeerd en fotosynthese (CO₂-assimilatie) per bladlaag aangegeven tussen een diffuus kasdek materiaal en een helder kasdek materiaal. Ook wordt de efficiëntie van de benutting van het geabsorbeerde PAR voor de fotosynthese aangegeven (CO₂-assimilatie in g CO₂ d⁻¹ per MJ PAR geabsorbeerd). Om het voordeel van een diffuus kasdek materiaal ten opzichte van een helder kasdek materiaal uit te drukken, wordt de efficiëntie aangegeven in % (efficiëntie van een diffuus kasdek materiaal als percentage van de efficiëntie van een helder kasdek materiaal). De efficiëntie neemt vooral toe voor de lagere bladlagen. Gemiddeld wordt de efficiëntie van de lichtbenutting van de 3 komkommerteelten met 3.5% verhoogd.

In Figuur 34 is voor de 3 teelten van komkommer het verschil in beschikbaar PAR weergegeven per bladlaag voor een teelt bij volledig diffuus licht (Haze=1.0) ten opzichte van een helder kasdek materiaal (Haze=0.0). Het lichtprofiel verschuift van de bovenste bladlagen naar de lagere bladlagen. Voor de eerste bladlaag van 10 % is de PAR beschikbaarheid in beide situaties gelijk. Door de lagere interceptie van de diffuse straling van alle bladlagen, krijgen de onderliggende bladlagen meer PAR aangeboden, vooral als de LAI klein is aan het begin van een teelt.

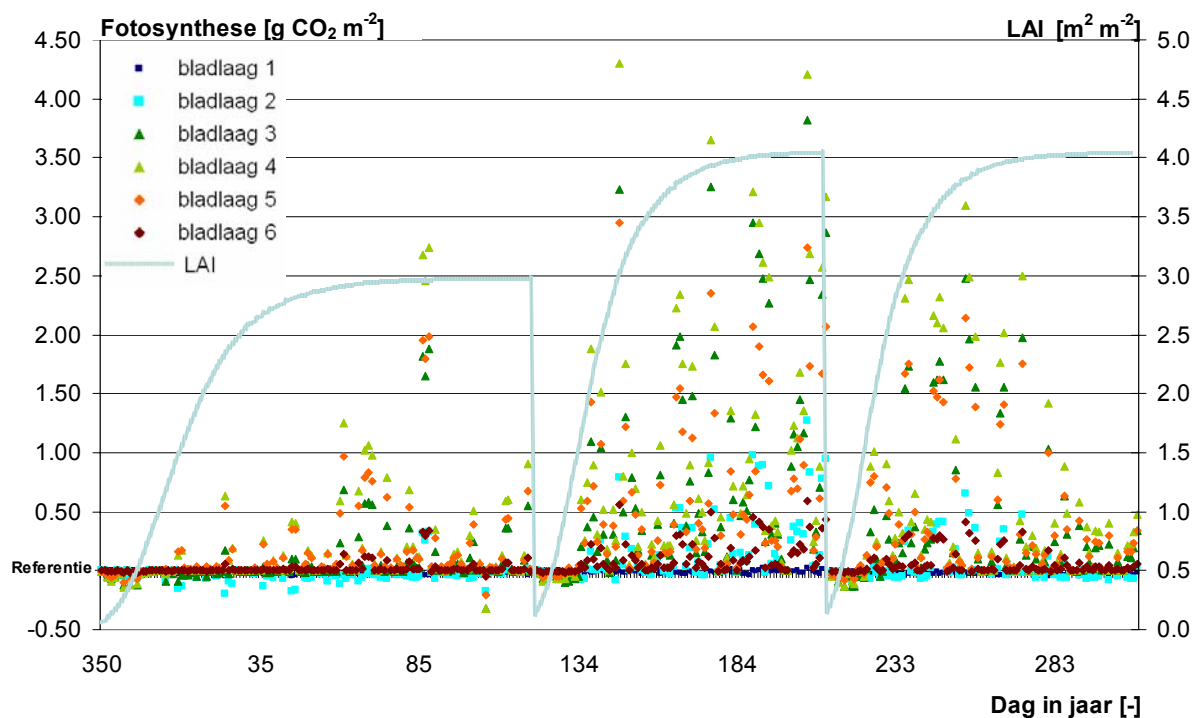


Figuur 34 Het verschil in PAR beschikbaarheid (MJ m^{-2}) per bladlaag bij volledig diffuus licht ($\text{Haze}=1.0$) ten opzichte van een helder kasdek materiaal ($\text{Haze}=0.0$, referentie) voor de winter-, voorjaars- en najaarsteelt van komkommer zoals berekend door het INTKAM-simulatiemodel. Ter oriëntatie is de ontwikkeling van het bladoppervlak (LAI ; $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$) op de rechter y-as weergegeven.



Figuur 35 Het verschil in PAR absorptie (MJ m^{-2}) per bladlaag bij volledig diffuus licht ($\text{Haze}=1.0$) en ten opzichte van een helder kasdek materiaal ($\text{Haze}=0.0$, referentie) voor de winter-, voorjaars- en najaarsteelt van komkommer zoals berekend door het INTKAM-simulatiemodel. Ter oriëntatie is de ontwikkeling van het bladoppervlak (LAI ; $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$) op de rechter y-as weergegeven.

In Figuur 35 is voor de drie teelten van komkommer per bladlaag het verschil in PAR absorptie weergegeven bij volledig diffuus licht (Haze=1.0) ten opzichte van een helder kasdek materiaal (Haze=0.0). Gedurende de gehele teeltperiode absorberen de bovenste lagen van het bladoppervlak minder straling (waarden onder de x-as). Voor de derde en vierde bladlaag van 20 % is dat alleen nog maar negatief als het bladerdek nog niet gesloten is ($LAI < 3.5 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$). De derde, vierde en soms ook vijfde bladlaag van 20 % compenseren dit ruimschoots bij het sluiten van het bladerdek en absorberen meer PAR, met als gevolg een hogere fotosynthese.



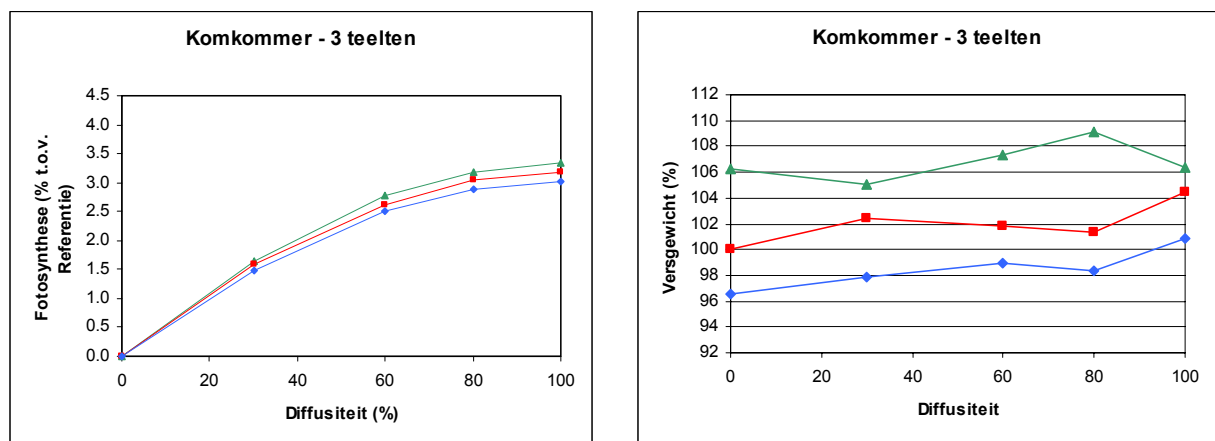
Figuur 36 Het verschil in fotosynthese ($\text{g CO}_2 \text{ m}^{-2}$) bij volledig diffuus licht (Haze=1.0) en ten opzichte van een helder kasdek materiaal (Haze=0.0, referentie) per bladlaag voor de winter-, voorjaars- en najaarsteelt van komkommer zoals berekend door het INTKAM-simulatiemodel. Ter oriëntatie is de ontwikkeling van het bladoppervlak (LAI; $\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$) op de rechter y-as weergegeven.

In Figuur 36 is voor de drie teelten van komkommer per bladlaag het verschil in fotosynthese weergegeven bij volledig diffuus licht (Haze=1.0) ten opzichte van een helder kasdek materiaal (Haze=0.0). Gedurende de gehele teeltperiode realiseert de bovenste 10 % van het bladoppervlak minder fotosynthese (waarden onder de x-as). Voor de tweede, derde, vierde en soms ook vijfde bladlaag is de fotosynthese altijd hoger, behalve aan het begin van de teelten, bij lage waarden voor het bladoppervlak. Voor de bovenste bladlagen zijn de gevolgen voor de fotosynthese bij verminderde lichtonderschepping niet groot, omdat bij de hoge lichtintensiteiten boven in het gewas de fotosynthese-efficiëntie toch nauwelijks achteruit gaat bij iets lagere lichtonderschepping (Figuur 33). In de latere fases van de teelt profiteren de derde, vierde, vijfde

en zesde bladlaag van het hogere PAR aanbod en absorberen daarvan een grotere fractie die gebruikt wordt voor de fotosynthese. Jaarrond leidt dit tot een totale toename van de fotosynthese van gemiddeld 3.2 % over 3 teelten.

Zoals verwacht is de toename van de fotosynthese in de zomerteelt het hoogste met 4.0 %, gevolgd door de herfstteelt met 3.4 % en de winterteelt met 1.5 %. Vooral in de zomermaanden is een stijging van de versgewichtproductie (5.9 %) te halen (zie volgende paragraaf) door het omzetten van direct licht in diffuus licht.

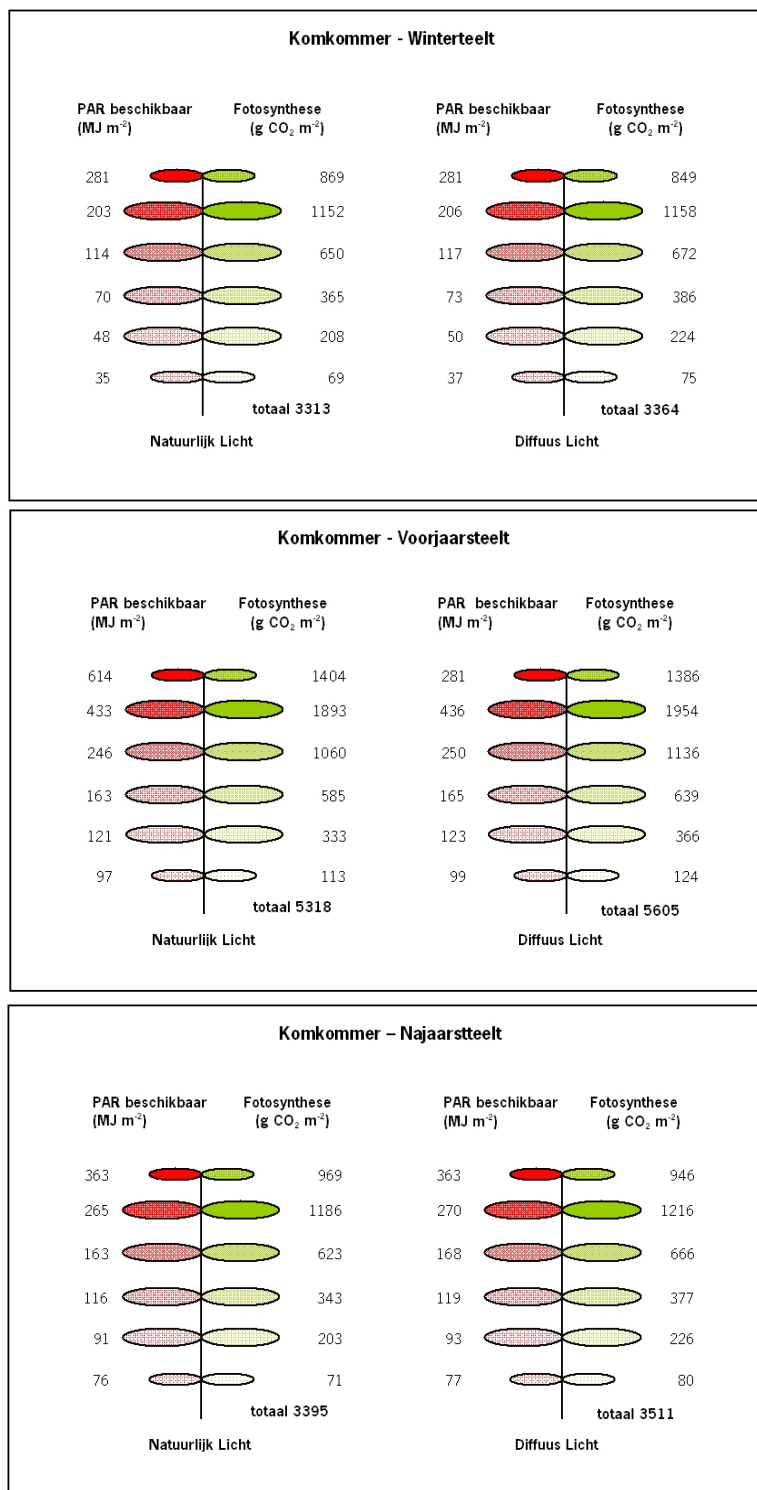
In Figuur 37 zijn de resultaten van de simulaties voor de productie bij verschillende kasdekken met een PAR doorlatendheid van 85, 90 en 95 %, en een Haze van 0.0 (helder), 0.3, 0.6, 0.8 en 1.0 (volledig diffuus) procentueel weergegeven. Een verschil van 5 % in stralingsaanbod resulteert ongeveer in 5 % verschil in versgewichtproductie. Een kasdek materiaal dat in staat is om al het directe licht te verstrooien en gelijktijdig een hogere PAR doorlatendheid heeft zal dus de productie van komkommer jaarrond met 9.1% kunnen verhogen. De totale gewasfotosynthese reageert gelijkmatig op een toenemende lichtverstrooiing, maar het effect van een hogere lichtverstrooiing op de versgewichtproductie is niet volledig gelijkmatig. Het ongelijkmatige effect op de versgewichtproductie heeft waarschijnlijk te maken met de modelberekeningen voor de vruchtzetting aan het begin van de teeltperiodes en met de onderhoudsademhaling.



Figuur 37 De invloed van PAR doorlatendheid van het kasdek (85% -♦-; 90% -■-; 95 % -▲-) en Haze op de fotosynthese en op de relatieve toename van de versgewichtproductie van drie komkommerteelten samen. PAR90 zonder lichtverstrooiend dek als referentie voor alle PAR doorlatendheden (rechts) en bij 0% lichtverstrooiing voor elke PAR doorlatendheid als referentie (links).

In de volgende paragraaf wordt een overzicht van de afzonderlijke komkommerteelten weergegeven.

De winter-, voorjaars- en najaarsteelten van komkommer



Figuur 38 De hoeveelheid beschikbare PAR en de fotosynthese van komkommer onder een kasdek met 90 % PAR doorlatendheid. Vergelijken wordt het effect van een teelt onder een helder kasdek (Haze=0.0) en een teelt onder een volledig diffuus kasdek (Haze=1.0) op de lichtdoordringing (MJ PAR m⁻² a⁻¹) en fotosynthese (g CO₂ m⁻² a⁻¹) voor de afzonderlijke teeltperiodes van komkommer en weergegeven per 6 bladlagen.

Tabel 6 Het verschil in PAR beschikbaar, PAR geabsorbeerd en fotosynthese (CO₂-assimilatie) per 6 bladlagen tussen een diffuus kasdek materiaal (Haze=1.0) en een helder kasdek materiaal (Haze=0.0) voor 3 teelten van komkommer (winterteelt, voorjaarsteelt, najaarsteelt). Ook wordt de efficiëntie van de benutting van het geabsorbeerde PAR voor de fotosynthese aangegeven (CO₂-assimilatie in g CO₂ d⁻¹ per MJ PAR geabsorbeerd) van een diffuus kasdek materiaal ten opzichte van een helder kasdek materiaal in %.

Winterteelt				
Bladlaag	PAR beschikbaar (MJ m ⁻²)	PAR geabsorbeerd (MJ m ⁻²)	CO ₂ -assimilatie (g CO ₂ m ⁻² d ⁻¹)	Efficiëntie (%)
1	0.1	-2.8	-20.3	1.31
2	2.8	-0.7	6.2	1.35
3	3.5	0.7	21.5	1.71
4	2.9	0.8	20.4	2.19
5	1.9	0.6	15.4	2.50
6	1.4	0.2	6.0	2.91
1 t/m 6		-1.3	49.1	1.99
Voorjaarsteelt				
Bladlaag	PAR beschikbaar (MJ m ⁻²)	PAR geabsorbeerd (MJ m ⁻²)	CO ₂ -assimilatie (g CO ₂ m ⁻² d ⁻¹)	Efficiëntie (%)
1	0.0	-3.5	-17.4	0.70
2	3.5	0.1	60.8	3.18
3	3.4	0.9	75.7	5.98
4	2.5	0.6	54.4	7.66
5	1.8	0.5	33.5	7.86
6	1.3	0.2	11.1	6.89
1 t/m 6		-1.2	218.1	4.28
Najaarsteelt				
Bladlaag	PAR beschikbaar (MJ m ⁻²)	PAR geabsorbeerd (MJ m ⁻²)	CO ₂ -assimilatie (g CO ₂ m ⁻² d ⁻¹)	Efficiëntie (%)
1	0.0	-4.5	-23.5	2.27
2	4.5	-0.2	30.5	2.82
3	4.7	1.2	43.4	4.24
4	3.6	1.1	33.7	5.33
5	2.3	0.8	23.0	5.43
6	1.6	0.3	8.4	5.24
1 t/m 6		-1.2	115.5	3.84

Figuur 38 geeft een samenvatting van de simulatieresultaten voor de drie afzonderlijke teelten van komkommer onder een helder kasdek (Haze=0.0) en onder een 100 % diffuus kasdek. De PAR waarden in Figuur 38 laten zien dat het licht dieper doordringt in het gewas bij diffuus licht (meer PAR beschikbaar voor diepere lagen). De bovenste 10 % van het bladoppervlak zal daardoor wel minder licht absorberen en laat daarom ook een lagere fotosynthese zien. Alle diepere bladlagen compenseren dit ruimschoots en laten een hogere fotosynthese zien. Dit is vooral duidelijk in de voorjaarsteelt. In de winterperiode zijn de effecten geringer vanwege de lage PAR beschikbaarheid en de lagere fractie direct licht die omgezet kan worden in diffuus licht. De gewasfotosynthese wordt in totaal met 1.5 % in de wintersteelt, 5.6 % in de voorjaarsteelt en 3.4 % in de najaarsteelt verhoogd bij volledig diffuus licht (Haze=1.0). Ook de efficiëntie van de lichtbenutting (Tabel 6) is het hoogst in de voorjaarsteelt, gevolgd van de najaarsteelt en de wintersteelt. Omdat de extra fotosynthese relatief sterk ten goede komt aan de vruchtproductie betekent dit een toename van de versgewichtproductie van 3.0 % in de wintersteelt, 5.9 % in de voorjaarsteelt en 3.2 % in de najaarsteelt, dat overeenkomt met respectievelijk ca. 0.7, 2.3 en 0.7 kg m⁻² (Tabel 7).

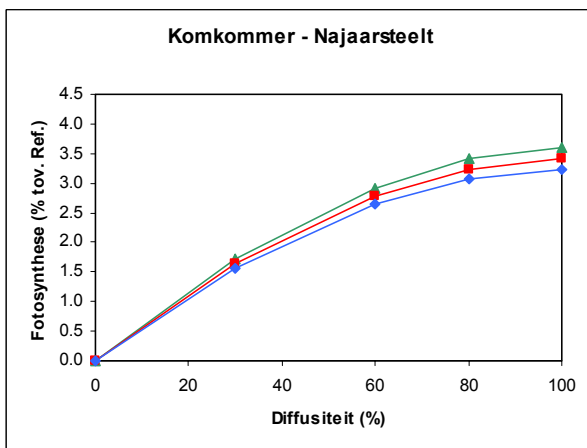
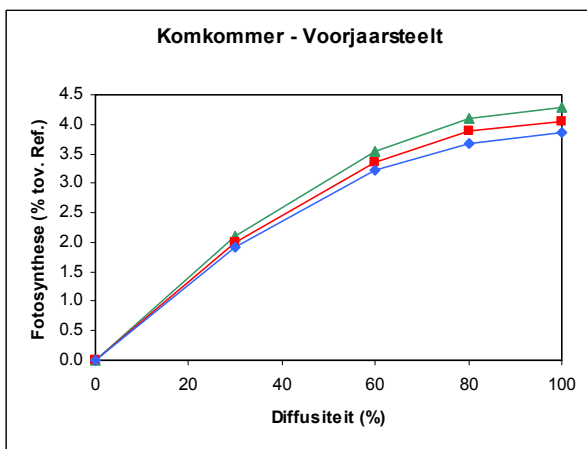
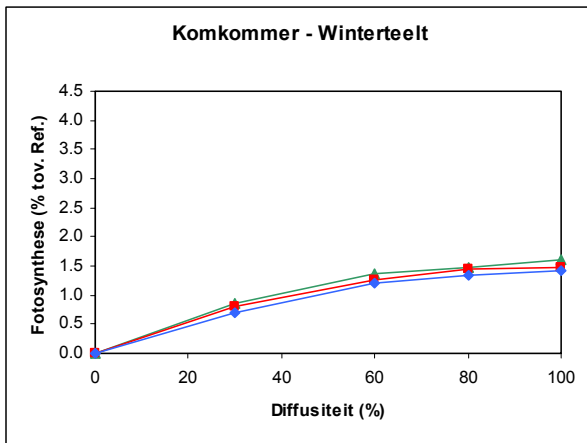
Tabel 7 Toename van de fotosynthese en vruchtproductie door het volledig diffuus maken van het binnenkomende licht bij een kasdek met 90 % PAR-doorlatendheid.

Teelt	Extra fotosynthese (%)	Extra vruchtproductie (%)	Extra vruchtproductie (kg m ⁻²)
Winter	1.5	3.0	0.7
Voorjaar	5.6	5.9	2.3
Najaar	3.4	3.2	0.7

Voor de drie teelten afzonderlijk is de verse vruchtproductie (kg m⁻²) berekend per periode van 7 dagen. In Bijlage 14, Bijlage 15 en Bijlage 16 staan de simulaties voor meerdere kasdekken: met een PAR doorlatendheid van 85, 90 en 95 %, en een diffusiteit van 0.0 (helder), 0.3, 0.6, 0.8 en 1.0 (volledig diffuus). In Figuur 39 zijn de resultaten procentueel weergegeven.

Het effect van de lichtverstrooiing op de fotosynthese is in alle seizoenen positief. De lijnen liggen bij de wintersteelt dicht bij elkaar vanwege de al eerder genoemde lage lichtsommen en de kleinere fractie direct licht in de winter. In voorjaar en najaar is duidelijk te zien dat de lichtverstrooiing een extra positief effect heeft bij hoge lichtdoorlatendheid van het kasdek. Ook is duidelijk dat een kasdek dat 80 % van het directe licht omzet in diffuus licht al bijna hetzelfde effect heeft als een volledig diffuus kasdek.

Het effect van de Haze op de versgewichtproductie van vruchten is minder gelijkmatig verdeeld over de verschillende PAR-doorlatendheden van het kasdek dan bij de fotosynthese. Dit heeft te maken met de verdeling van de assimilaten over de verschillende delen van de plant, en is afhankelijk van het investeren van de extra fotosyntheseproducten (assimilaten) in blad (vegetatief) of vruchten (generatief). Kasproeven zullen moeten aantonen hoe de verdeling van assimilaten uitpakt en hoe het verloop van de vruchtproductie precies is.



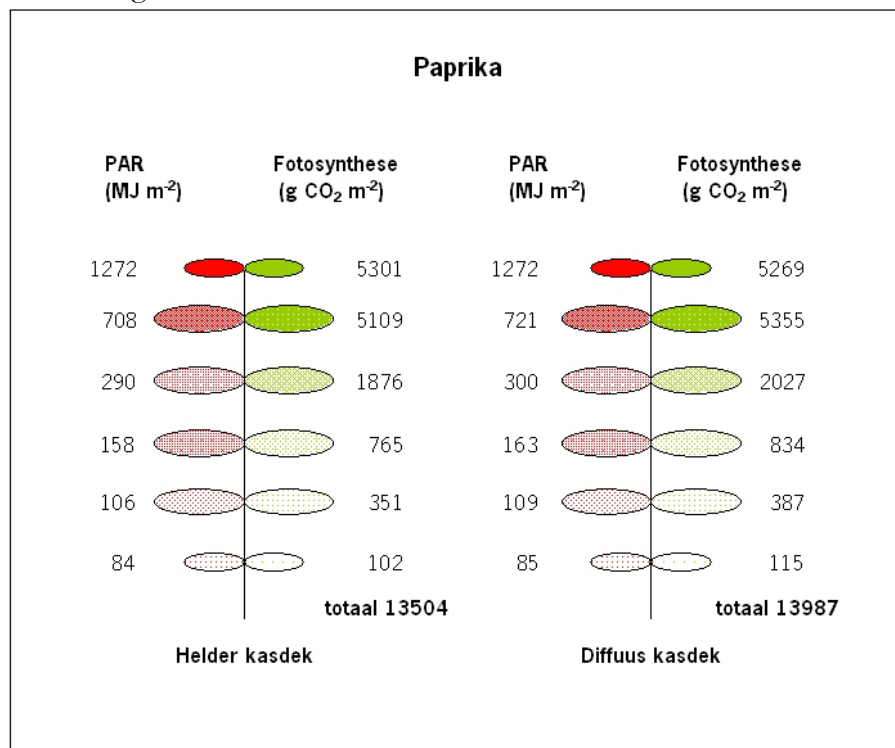
Figuur 39 De invloed van PAR doorlatendheid van het kasdek (85% -♦-; 90% -■-; 95 % -▲-) en Haze op de fotosynthese van de 3 komkommerteelten. PAR90 zonder lichtverstrooiend dek als referentie voor alle PAR doorlatendheden.

Conclusies en aanbevelingen voor de komkommerteelt

- Vooral in de voorjaars- en de najaarsteelt profiteert komkommer in hoge mate van diffuus licht dat dieper in het gewas doordringt. De bij direct licht optredende inefficiëntie van het fotosynthesesysteem in de bovenste bladeren die veroorzaakt wordt door lichtverzadiging bij een hoge PAR onderschepping, wordt hierdoor verminderd. De onderliggende bladlagen hebben voldoende capaciteit om de doorgelaten diffuse straling te onderscheppen en efficiënt te gebruiken, en realiseren daardoor een toename in de fotosynthese.
- De winterteelt van komkommer profiteert wat minder van het verstrooien van direct licht. Dat komt doordat het PAR niveau lager is in de winter en het aandeel diffuus PAR-licht in de winter al groot is, en dus het effect van het verstrooien van het niet-diffuse licht kleiner zal zijn dan in de zomer. Ook heeft een winterteelt van komkommer een lagere PAR onderschepping door de tragere opbouw van de bladoppervlakte en een mindere hoeveelheid blad aan het einde van de teelt.
- Het effect van de lichtverstrooiing op de fotosynthese is in alle seizoenen positief. In voorjaar en najaar heeft de lichtverstrooiing een extra positief effect heeft bij hoge lichtdoorlatendheid van het kasdek. Een kasdek dat 80 % van het directe licht omzet in diffuus licht heeft al bijna hetzelfde effect als een volledig diffuus kasdek.
- Diffuus licht heeft alleen bij kleine bladoppervlakten (aan het begin van de teelt) een negatief effect op de fotosynthese en daarmee op de uiteindelijke vruchtproductie. Direct licht wordt per eenheid bladoppervlak beter onderschept en dat is een voordeel bij lage bladoppervlakten aan het begin van de teelt. Het zou daarom voor de vruchtproductie beter zijn om het natuurlijke licht in de beginperiodes van de (drie) teelten niet diffuus te maken of sneller voor een groot bladoppervlak of hogere plantdichtheid te zorgen.

6.2 Paprika

Figuur 40 geeft een samenvatting van de simulatieresultaten voor de teelt van paprika bij natuurlijke lichtomstandigheden van het SEL-jaar en de situatie waarbij al het inkomende directe licht is omgezet in diffuus licht.



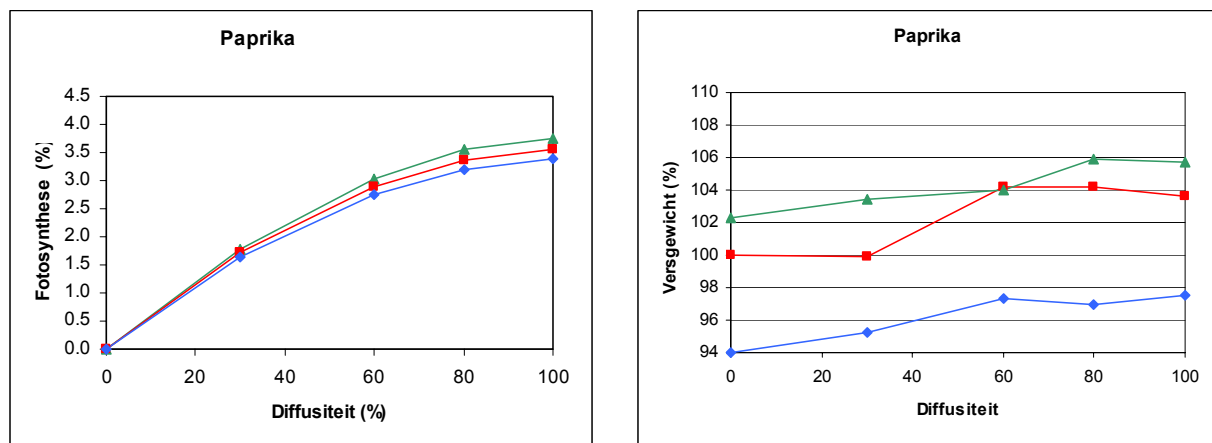
Figuur 40 Lichtomstandigheden in de kas bij 90 % PAR doorlatendheid van een helder kasdek (Haze=0.0) en het effect van volledig diffuus licht (Haze=1.0) op de lichtdoordringing (MJ PAR m⁻² a⁻¹) en fotosynthese (g CO₂ m⁻² a⁻¹) voor de teelt van paprika, weergegeven per 6 bladlagen.

Tabel 8 Het verschil in PAR beschikbaar, PAR geabsorbeerd en fotosynthese (CO₂-assimilatie) per 6 bladlagen tussen een diffuus kasdekmateriaal (Haze=1.0) en een helder kasdekmateriaal (Haze=0.0) voor een paprikateelt. Ook wordt de efficiëntie van de benutting van het geabsorbeerde PAR voor de fotosynthese aangegeven (CO₂-assimilatie in g CO₂ d⁻¹ per MJ PAR geabsorbeerd) van een diffuus kasdekmateriaal ten opzichte van een helder kasdekmateriaal in %.

Bladlaag	PAR beschikbaar (MJ m ⁻²)	PAR geabsorbeerd (MJ m ⁻²)	CO ₂ -assimilatie (g CO ₂ m ⁻² d ⁻¹)	Efficiëntie (%)
1	0.5	-12.5	-32.8	1.63
2	13.1	3.6	245.5	3.90
3	9.5	4.1	151.0	4.83
4	5.4	2.5	69.0	4.00
5	2.9	1.6	35.3	2.72
6	1.4	0.6	13.4	2.87
1 t/m 6		-0.1	481.3	3.57

In overeenstemming met de resultaten van komkommer, laten de PAR waarden in Figuur 40 en Tabel 8 zien dat het licht dieper doordringt in een paprikagewas bij diffuser licht (meer PAR beschikbaar voor diepere lagen). Alle onderste bladlagen laten een hogere fotosynthese zien en een hogere efficiëntie in de lichtbenutting, terwijl de eerste bladlaag relatief weinig fotosynthese verliest, zelfs minder als bij komkommer. De effecten zijn groot vanwege het grote bladoppervlak dat paprika ontwikkelt gedurende de teelt (Figuur 32).

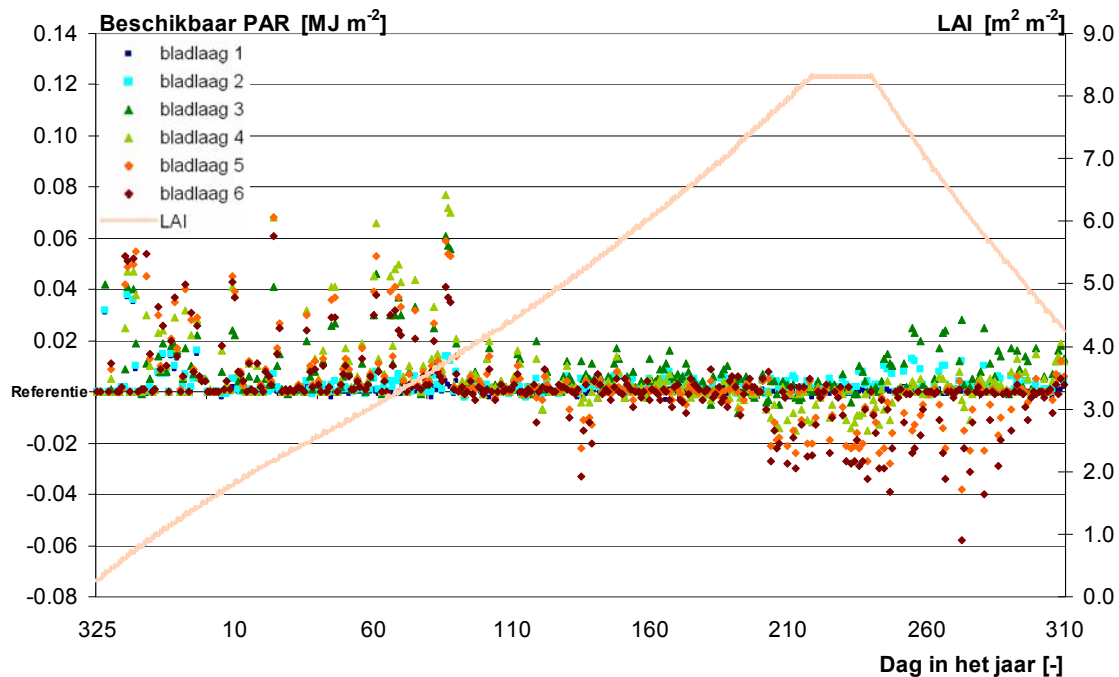
Op jaarbasis wordt de gewasfotosynthese met 3.4 % verhoogd bij volledig diffuus licht. Omdat de verdeling van assimilaten relatief meer ten goede komt aan de vruchten dan aan de vegetatieve delen van de plant, betekent dit voor de teelt van paprika een verhoging van de jaarlijkse vruchtproductie met 4.1 % dat overeenkomt met ca. 1.4 kg m⁻² versgewicht. Net zoals bij de teelt van komkommer zijn er in het groeiseizoen duidelijke verschillen aan te wijzen voor het verstrooien van het PAR. In de winter- en voorjaarsperiode (periode 0 t/m 5; 21 november t/m 19 mei) resulteren de lagere LAI en de lagere directe PAR niveaus in een winst van 0.1 kg m⁻² versgewicht. Het meest wordt geprofiteerd in de zomerperiode (periode 6 t/m 8; 20 mei t/m 13 augustus) met een toename van 0.8 kg m⁻² versgewicht. In het najaar (periode 9 t/m 11; 14 augustus t/m 6 november) neemt de LAI langzaam af en zijn de directe PAR niveaus weer lager waardoor er een toename van 0.4 kg m⁻² versgewicht wordt gerealiseerd. Een lichtverstrooiend kasdek materiaal leidt vooral in de zomer- en najaarsmaanden tot een meeropbrengst van paprika. Gecombineerd met een hoge PAR doorlatendheid van het kasdek materiaal kunnen grote meeropbrengsten van paprika worden bereikt (Bijlage 17).



Figuur 41 De invloed van PAR doorlatendheid van het kasdek (85% -♦-; 90% -■-; 95% -▲-) en Haze op de fotosynthese en op de relatieve toename van de versgewichtproductie van paprika. PAR90 zonder lichtverstrooiend dek als referentie voor alle PAR doorlatendheden (rechts) en bij 0 % lichtverstrooiing voor elke PAR doorlatendheid als referentie (links).

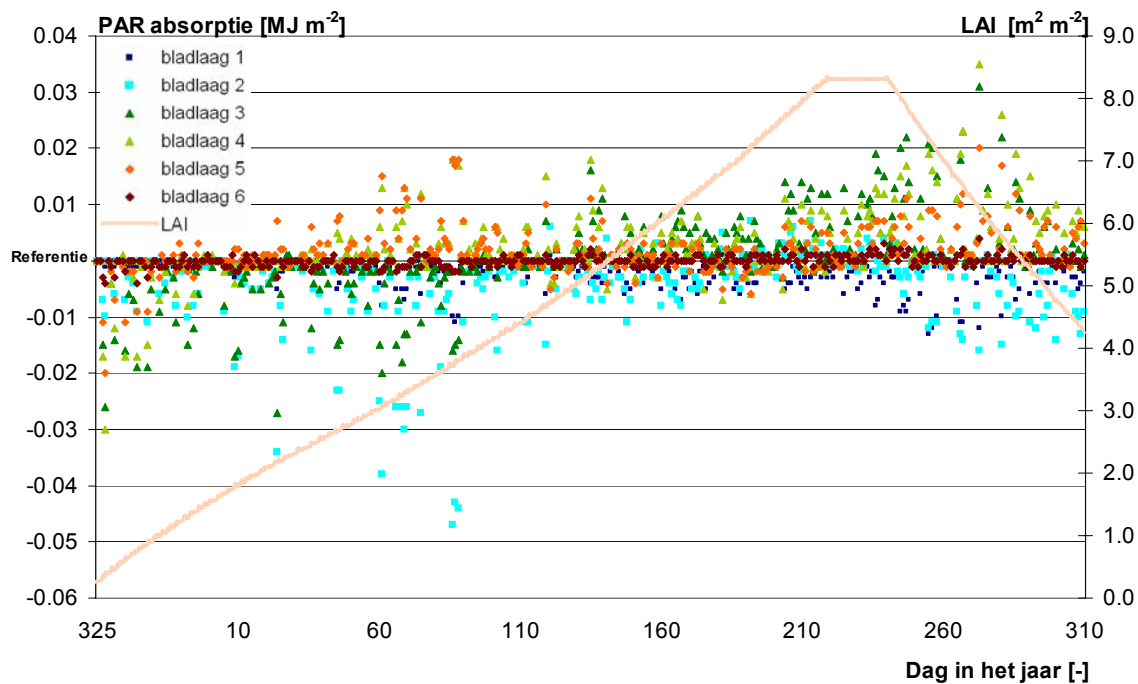
Voor de teelt van paprika is de verse vruchtproductie (kg m⁻²) berekend per periode van 28 dagen. In Bijlage 17 staan de simulaties voor meerdere kasdekken: met een PAR doorlatendheid van 85, 90 en 95 %, en een diffusiteit van 0.0 (helder), 0.3, 0.6, 0.8 en 1.0 (volledig diffuus). In Figuur 41 zijn de resultaten van PAR doorlatendheid en Haze van het kasdek procentueel

weergegeven voor de vruchtproductie en de fotosynthese. Het positieve effect van 5 % meer licht op de versgewichtproductie (uitgaande van 90 % PAR-doorlatend dek) is kleiner dan het negatieve effect van 5 % minder licht. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de afvlakking van de fotosynthetische efficiëntie bij hogere lichtniveaus (Figuur 29). Dit is minder duidelijk te zien bij de andere gewassen en heeft waarschijnlijk te maken met de verschillende lichtbehoeften van de gewassen. De fotosynthese neemt vooral sterk toe tussen de 0 en 60 % diffusiteit van het kasdek.

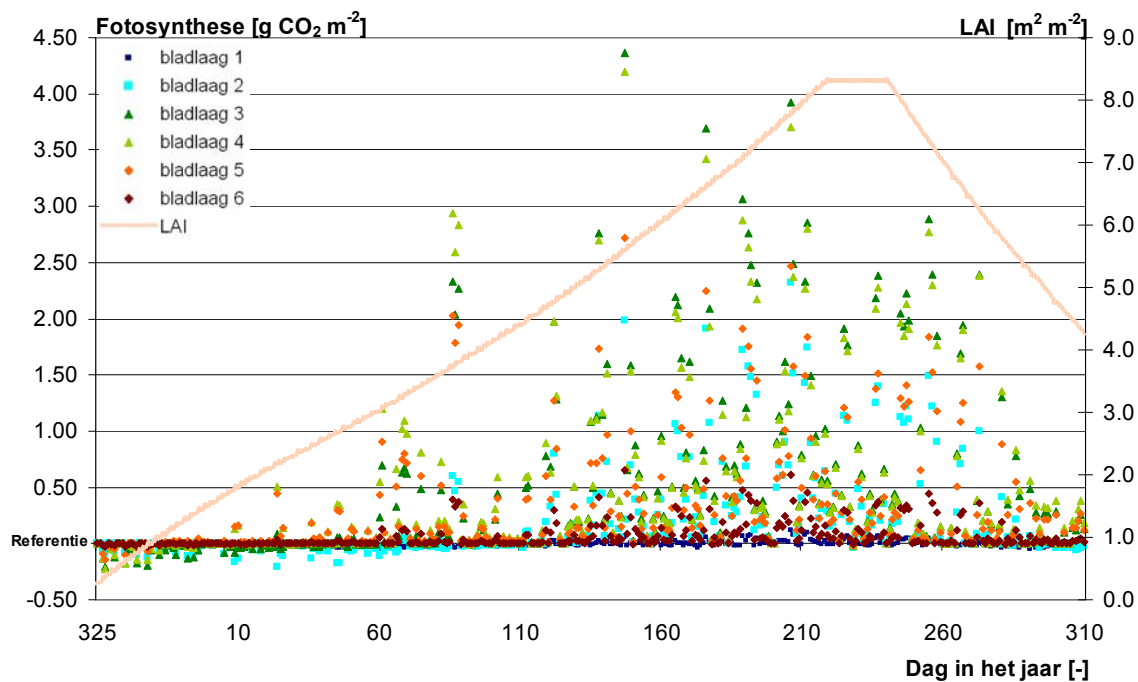


Figuur 42 Het verschil in PAR beschikbaarheid (MJ m^{-2}) per bladlaag bij volledig diffuus licht ($\text{Haze}=1.0$) ten opzichte van een helder kasdekmateriaal ($\text{Haze}=0.0$, referentie) voor de teelt van paprika zoals berekend door het INTKAM-simulatiemodel. Ter oriëntatie is de ontwikkeling van het bladoppervlak (LAI ; $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$) op de rechter y-as weergegeven.

In Figuur 42 is voor de teelt van paprika het verschil in beschikbaar PAR weergegeven per bladlaag bij volledig diffuus licht ($\text{Haze}=1.0$) ten opzichte van een helder kasdek ($\text{Haze}=0.0$). Voor de bovenste bladlaag (10 %) is de PAR beschikbaarheid in beide situaties gelijk. Door lagere interceptie van de diffuse straling per bladlaag, krijgen de onderliggende bladlagen meer PAR straling aangeboden.



Figuur 43 Het verschil in PAR absorptie (MJ m^{-2}) per bladlaag bij volledig diffuus licht ($\text{Haze}=1.0$) ten opzichte van een helder kasdek materiaal ($\text{Haze}=0.0$, referentie) voor de teelt van paprika zoals berekend door het INTKAM-simulatiemodel. Ter oriëntatie is de ontwikkeling van het bladoppervlak (LAI ; $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$) op de rechter y-as weergegeven.



Figuur 44 Het verschil in fotosynthese ($\text{g CO}_2 \text{m}^{-2}$) bij volledig diffuus licht ($\text{Haze}=1.0$) ten opzichte van een helder kasdek materiaal ($\text{Haze}=0.0$, referentie) per bladlaag voor de teelt van paprika zoals berekend door het INTKAM-simulatiemodel. Ter oriëntatie is de ontwikkeling van het bladoppervlak (LAI ; $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$) op de rechter y-as weergegeven.

In Figuur 43 is voor de teelt van paprika per bladlaag het verschil in PAR absorptie weergegeven bij volledig diffuus licht (Haze=1.0) ten opzichte van een helder kasdek (Haze=0.0). Door het verstrooien van het licht absorberen vooral de lagen 3, 4, 5 en 6 in de tweede helft van de teelt veel meer licht. Wanneer het bladerdek echter nog niet gesloten is ($LAI < 4 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$) is de absorptie voor de bladlagen 2, 3 en 4 onder een diffuus kasdek lager dan onder een helder kasdek

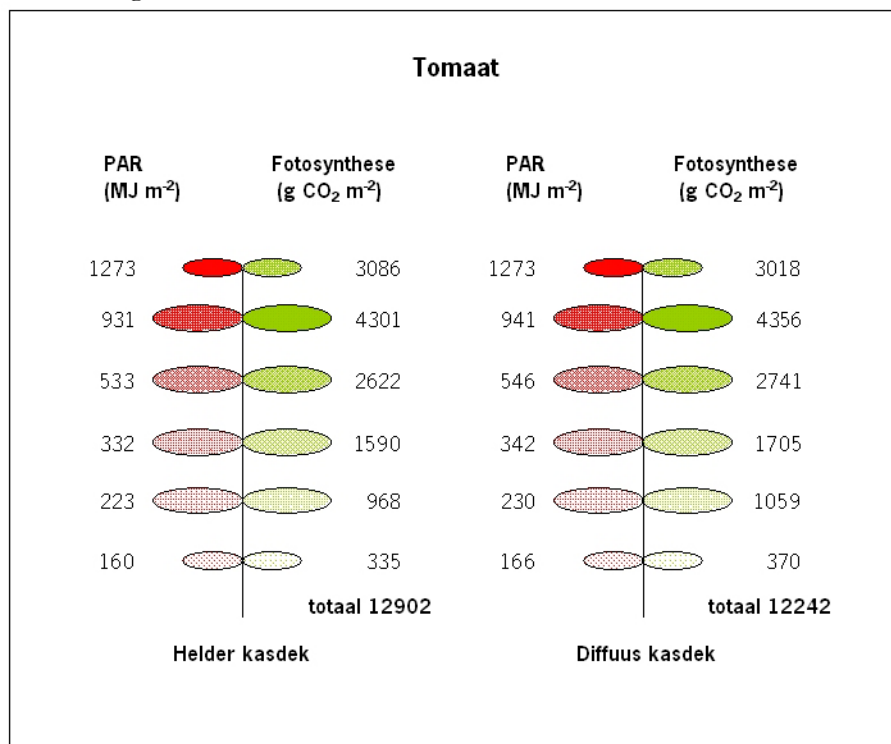
In Figuur 44 is voor de teelt van paprika per bladlaag het verschil in fotosynthese weergegeven bij volledig diffuus licht (Haze=1.0) ten opzichte van een helder kasdek (Haze=0.0). In de tweede helft van de teelt (bladoppervlakte $>4 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$), profiteren de tweede, derde, vierde, vijfde en zesde laag van het hogere PAR aanbod en realiseren een hogere fotosynthese. Voor de bovenste bladlagen zijn de nadelen voor op fotosynthese minder extreem bij verminderde lichtonderschepping, omdat bij de hoge lichtintensiteiten boven in het gewas de fotosynthese-efficiëntie nauwelijks achteruit gaat bij (iets) lagere lichtonderschepping (Figuur 29). De bovenste 10 % van het bladoppervlak realiseert minder fotosynthese. Voor de tweede bladlaag van 20 % is dit alleen het geval aan het begin van de teelt, bij lage waarden voor het bladoppervlak.

Conclusies en aanbevelingen voor de paprikateelt

- Door het hoge bladoppervlak profiteert paprika in grote mate van diffuus licht dat dieper in het gewas doordringt. De inefficiëntie van het fotosynthesesysteem in de bovenste bladeren die veroorzaakt wordt door lichtverzadiging bij een hoge PAR onderschepping, wordt hierdoor verminderd. De onderliggende bladlagen hebben voldoende capaciteit om de doorgelaten diffuse straling te onderscheppen en efficiënt te gebruiken en realiseren daardoor een toename in de fotosynthese.
- Diffuus licht heeft bij lage bladoppervlakten (begin van de teelt) een negatief effect op de totale fotosynthese en daarmee op de uiteindelijke vruchtproductie. Direct licht wordt per eenheid bladoppervlak beter onderschept en dat is een voordeel bij lage bladoppervlakten aan het begin van de teelt. Het zou daarom voor de vruchtproductie beter zijn om het natuurlijke licht aan het begin van de teelt in de wintermaanden niet diffuus te maken.
- In eerdere studies is het nut van bladplukken bij paprika aangetoond (Grashof et al., 2004; Dueck et al., 2005). Om al het aangeboden PAR te onderscheppen en efficiënt te gebruiken zal er genoeg bladoppervlak over moeten blijven om de doorgelaten diffuse straling te onderscheppen.

6.3 Tomaat

Figuur 45 geeft een samenvatting van de simulatieresultaten voor de teelt van tomaat bij natuurlijke lichtomstandigheden van het SEL-jaar en de situatie waarbij al het inkomende directe licht is omgezet.



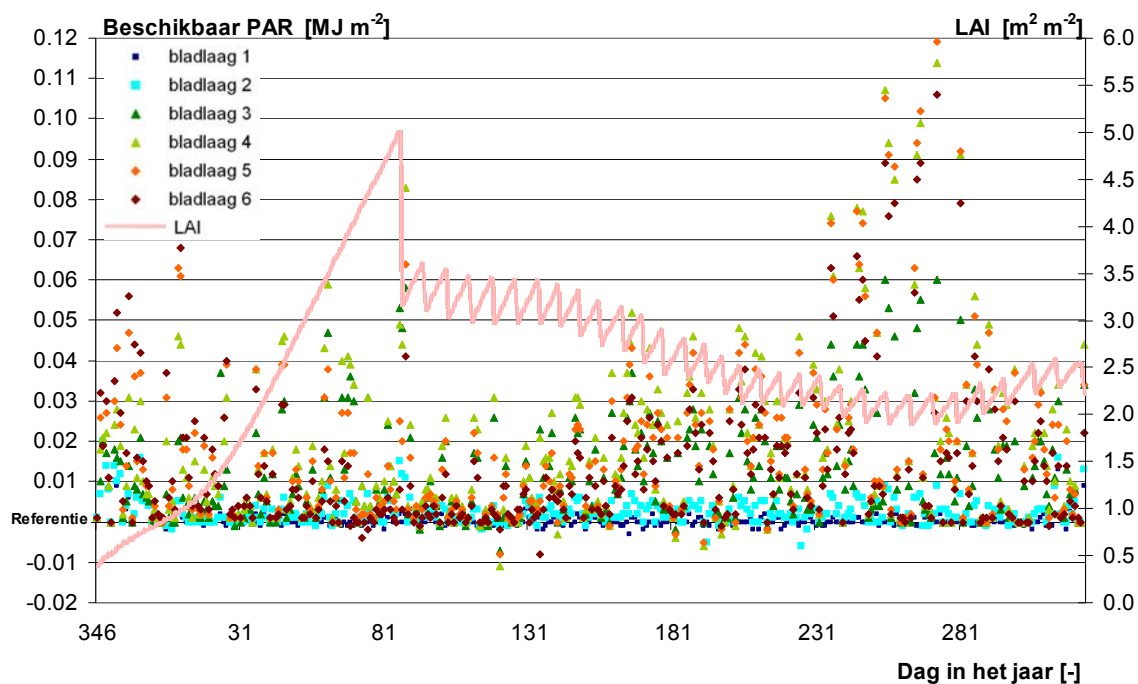
Figuur 45 Lichtomstandigheden in de kas bij 90 % PAR doorlatendheid van een helder kasdek (Haze=0.0) en het effect van volledig diffuus licht (Haze=1.0) op de lichtdoordringing (MJ PAR m⁻² a⁻¹) en fotosynthese (g CO₂ m⁻² a⁻¹) voor de teelt van tomaat, weergegeven per 6 bladlagen.

Tabel 9 Het verschil in PAR beschikbaar, PAR geabsorbeerd en fotosynthese (CO₂-assimilatie) per 6 bladlagen tussen een diffuus kasdek materiaal (Haze=1.0) en een helder kasdek materiaal (Haze=0.0) voor een tomatenteelt. Ook wordt de efficiëntie van de benutting van het geabsorbeerde PAR voor de fotosynthese aangegeven (CO₂-assimilatie in g CO₂ d⁻¹ per MJ PAR geabsorbeerd) van een diffuus kasdek materiaal ten opzichte van een helder kasdek materiaal in %.

Bladlaag	PAR beschikbaar (MJ m ⁻²)	PAR geabsorbeerd (MJ m ⁻²)	CO ₂ -assimilatie (g CO ₂ m ⁻² d ⁻¹)	Efficiëntie (%)
1	0.2	-10.0	-67.4	0.75
2	10.2	-2.1	55.5	1.82
3	12.3	2.4	119.6	3.32
4	10.1	2.5	115.1	4.83
5	7.4	2.1	91.3	5.80
6	5.4	0.9	35.4	5.94
1 t/m 6		-4.0	349.6	3.08

Zoals bij komkommer en bij paprika is ook bij tomaat te zien dat het licht dieper doordringt in het gewas bij diffuser licht (meer PAR beschikbaar voor diepere lagen, Figuur 45 en Tabel 9). Alle diepere bladlagen laten een hogere fotosynthese zien en een hogere efficiëntie in de lichtbenutting, terwijl de eerste bladlaag relatief weinig fotosynthese verliest. Omdat bij tomaat het blad geplukt wordt tijdens de teeltperiode (Figuur 32), worden de positieve effecten van het diffuse licht enigszins gedrukt.

De gewasfotosynthese wordt in totaal met 2.7 % verhoogd bij volledig diffuus licht. Omdat de verdeling van assimilaten iets meer ten goede komt aan de vruchten dan aan de vegetatieve delen, betekent dit voor de teelt van tomaat een verhoging van de vruchtproductie met 2.9 % dat overeenkomt met ca. 2.4 kg m⁻² versgewicht. In de winter- en voorjaarsperiode (periode 0 t/m 5; 12 december t/m 19 mei, Bijlage 18) resulteren de lagere LAI (door en bladplukken) en de lagere directe PAR niveaus in een winst van 0.6 kg m⁻² meer versgewicht. Het meest wordt geprofiteerd in de zomerperiode (periode 6 t/m 8; 20 mei t/m 13 augustus) met 1.6 kg m⁻² meer versgewicht. In het najaar (periode 9 t/m 11; 14 augustus t/m 6 november) neemt de LAI langzaam af en zijn de directe PAR niveaus weer lager waardoor er 0.2 kg m⁻² meer versgewicht wordt gerealiseerd. Onder een lichtverstrooiend kasdek materiaal dat gelijktijdig ook een hoge PAR doorlatendheid heeft kan in totaal een goede productiestijging van tomaat worden gerealiseerd (Bijlage 18).



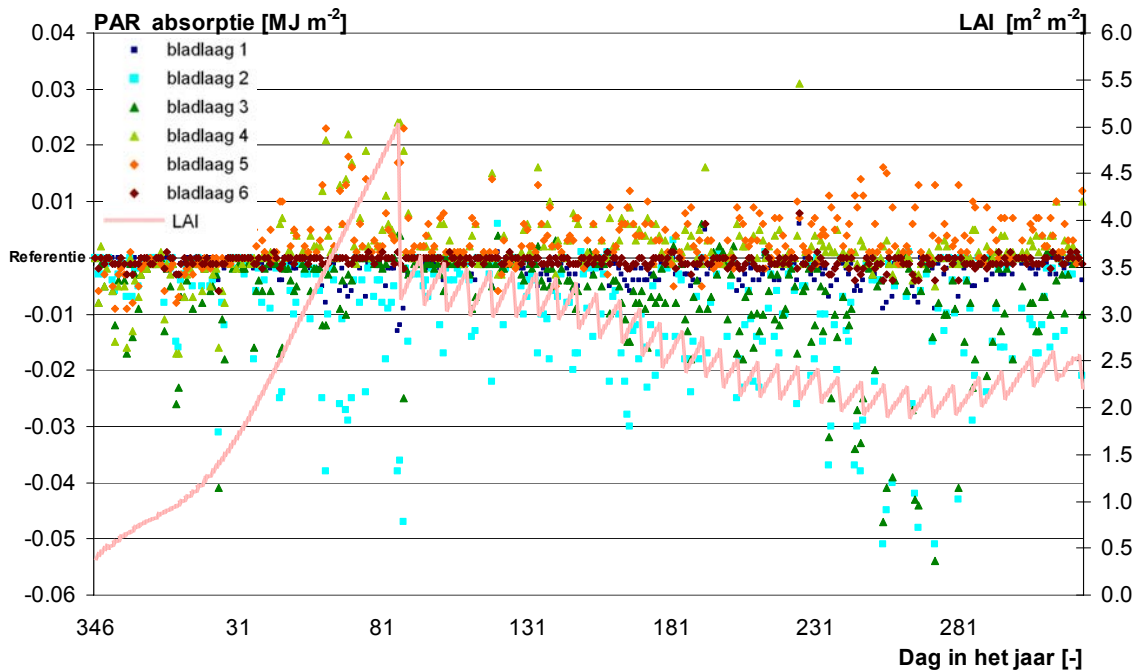
Figuur 46 Het verschil in PAR beschikbaarheid (MJ m⁻²) per bladlaag bij volledig diffuus licht (Haze=1.0) ten opzichte van een helder kasdek materiaal (Haze=0.0, referentie) voor de teelt van tomaat zoals berekend door het INTKAM-simulatiemodel. Ter oriëntatie is de ontwikkeling van het bladoppervlak (LAI; m² m⁻²) op de rechter y-as weergegeven.

In Figuur 46 is voor de teelt van tomaat het verschil in beschikbaar PAR weergegeven per bladlaag bij volledig diffuus licht (Haze=1.0) ten opzichte van een helder kasdek materiaal

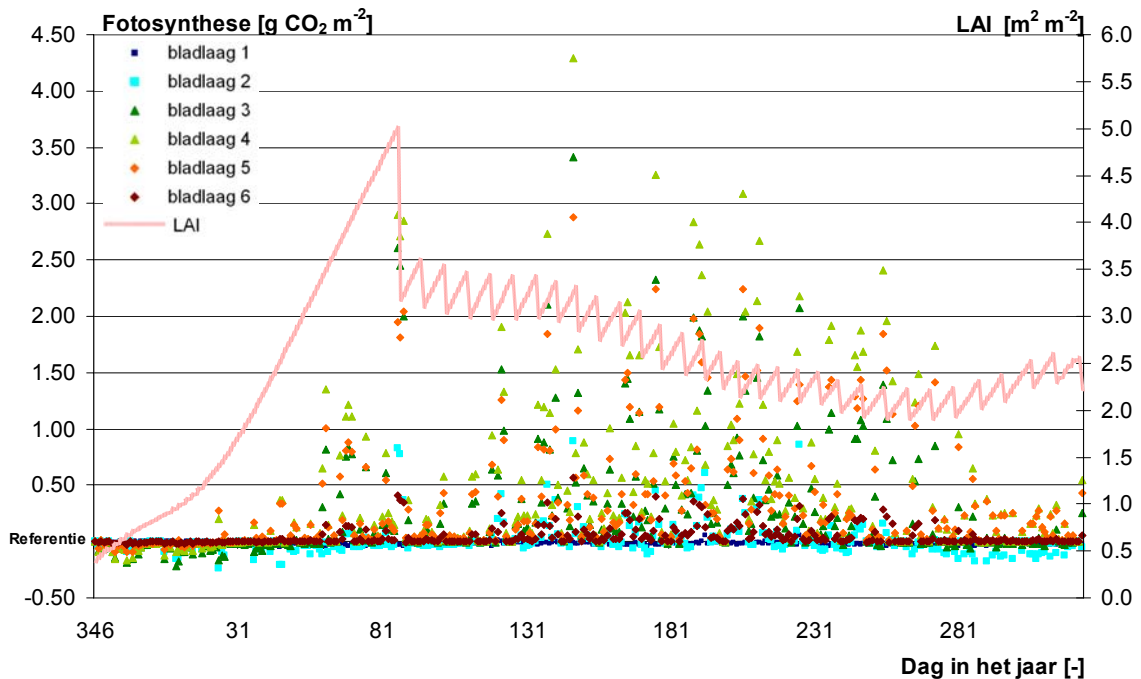
(Haze=0.0). Voor de eerste bladlaag is de PAR beschikbaarheid in beide situaties gelijk. Door lagere interceptie van de diffuse straling per bladlaag, krijgen de onderliggende bladlagen meer PAR straling aangeboden, waar de lagen 3, 4 en 5 in absolute zin het meest van profiteren. In Figuur 47 is voor de teelt van tomaat per bladlaag het verschil in PAR absorptie weergegeven bij volledig diffuus licht (Haze=1.0) ten opzichte van een helder kasdek materiaal (Haze=0.0). Gedurende de gehele teeltperiode absorbeert de bovenste 10 % van het bladoppervlak (laag 1) minder PAR (negatieve waarden). Voor de tweede bladlaag van 20 % is dat alleen negatief in het begin van de teelt als het bladerdek nog niet gesloten is ($LAI < 4 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$). Ook bij het bladplukken in de latere fase van de teelt kan de tweede bladlaag minder PAR onderscheppen. De derde, vierde, vijfde en zesde bladlaag van 20 % profiteren van het hogere PAR aanbod en absorberen daarvan een grotere fractie.

In Figuur 48 is voor de teelt van tomaat per bladlaag het verschil in fotosynthese weergegeven bij volledig diffuus licht (Haze=1.0) ten opzichte van een helder kasdek materiaal (Haze=0.0). Gedurende de gehele teeltperiode realiseert de bovenste 10 % van het bladoppervlak iets minder fotosynthese (negatieve waarden). Voor de tweede, derde en vierde bladlaag van 20 % is dit alleen het geval aan het begin van de teelt, bij lage waarden voor het bladoppervlak. In het latere gedeelte van de teelt profiteren de tweede, derde, vierde, vijfde en zesde laag van het hogere PAR aanbod en realiseren een hogere fotosynthese. Pas aan het einde van de teelt neemt de fotosynthese van de tweede bladlaag af doordat het bladplukken ervoor zorgt dat niet alle PAR meer onderschept kan worden. Voor de bovenste bladlagen zijn de gevolgen voor de fotosynthese minder extreem bij verminderde lichtonderschepping, omdat bij de hoge lichtintensiteiten boven in het gewas de fotosynthese-efficiëntie nauwelijks achteruit gaat bij (iets) lagere lichtonderschepping (Figuur 29). De dieper gelegen bladlagen kunnen profiteren van het verhoogde PAR aanbod en realiseren een hogere fotosynthese van het totale gewas.

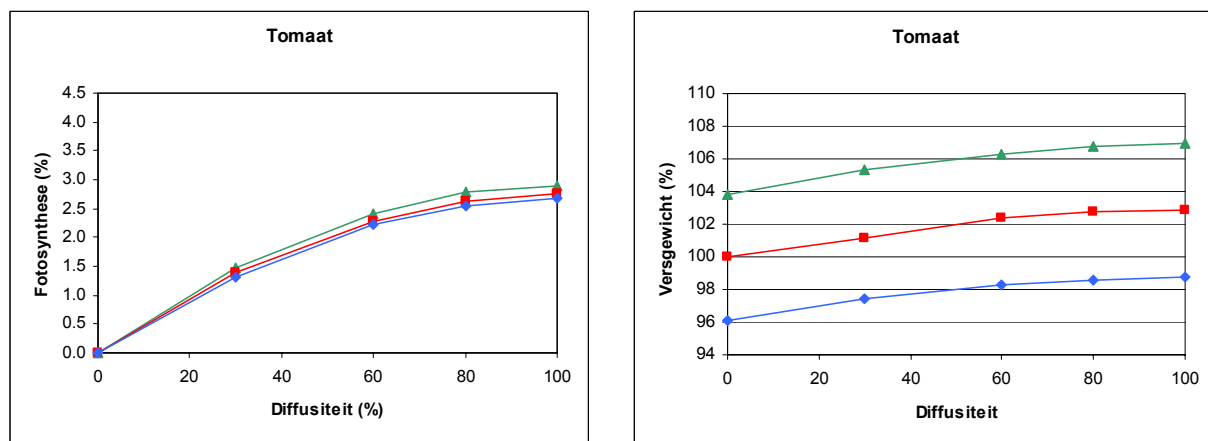
Voor de teelt van tomaat is de verse vruchtproductie (kg m^{-2}) berekend per periode van 28 dagen (Bijlage 18). In deze bijlage staan de simulaties voor de productie bij verschillende kasdekken: met een PAR doorlatendheid van 85, 90 en 95 %, en een diffusiteit van 0 (=helder), 0.3, 0.6, 0.8 en 1.0 (volledig diffuus). In Figuur 49 is dit procentueel weergegeven. In Figuur 49 wordt per PAR doorlatendheid van het kasdek voor de verschillende Haze-factoren (0.0, 0.3, 0.6, 0.8, en 1.0) aangegeven wat de consequenties zijn voor de relatieve toename van de versgewichtproductie van tomaat. De verschillende PAR niveaus laten dezelfde patroon zien bij een toenemende Haze: de versgewichtproductie neemt toe met toenemende Haze, maar de respons vlakt af. De verklaring hiervoor is dat er wel winst geboekt wordt door een betere lichtverdeling in het gewas, maar dat er een steeds grotere fractie van het PAR door het gewas heen op de grond valt, die niet meer gebruikt kan worden. Bij hogere PAR niveaus en afhankelijk van de Haze wordt een kleine, maar relatief hogere toename van het versgewicht van de vruchten gerealiseerd. De oorzaak hiervan moet worden gezocht in het feit dat bij een hogere PAR onderschepping er meer in vruchtgewicht wordt geïnvesteerd dan in andere plantorganen door een veranderde Source/Sink verhouding die de verdeling van assimilaten aanstuurt.



Figuur 47 Het verschil in PAR absorptie (MJ m^{-2}) per bladlaag bij volledig diffuus licht ($\text{Haze}=1.0$) ten opzichte van een helder kasdek materiaal ($\text{Haze}=0.0$, referentie) voor de teelt van tomaat zoals berekend door het INTKAM-simulatiemodel. Ter oriëntatie is de ontwikkeling van het bladoppervlak (LAI ; $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$) op de rechter y-as weergegeven.



Figuur 48 Het verschil in fotosynthese ($\text{g CO}_2 \text{m}^{-2}$) bij volledig diffuus licht ($\text{Haze}=1.0$) ten opzichte van een helder kasdek materiaal ($\text{Haze}=0.0$, referentie) per bladlaag voor de teelt van tomaat zoals berekend door het INTKAM-simulatiemodel. Ter oriëntatie is de ontwikkeling van het bladoppervlak (LAI ; $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$) op de rechter y-as weergegeven.



Figuur 49 De invloed van PAR doorlatendheid van het kasdek (85% -♦-; 90% -■-; 95% -▲-) en Haze op de fotosynthese en op de relatieve toename van de versgewichtproductie van tomaat. PAR90 zonder lichtverstrooiend dek als referentie voor alle PAR doorlatendheden (rechts) en bij 0% lichtverstrooiing voor elke PAR doorlatendheid als referentie (links).

Conclusies en aanbevelingen voor de tomaatteelt

- Tomaat profiteert van diffuus licht dat dieper in het gewas doordringt. De inefficiëntie van het fotosynthesesysteem in de bovenste bladeren, dat veroorzaakt wordt door lichtverzadiging bij een hoge PAR onderschepping, wordt hierdoor verminderd. Door het bladplukken neemt de capaciteit van onderliggende bladlagen om de doorgelaten diffuse straling alsnog te onderscheppen af. Daardoor wordt de mogelijke toename van de fotosynthese niet volledig benut. Mogelijk moet de hoeveelheid blad dat wordt geplukt worden aangepast.
- Diffuus licht heeft bij lage bladoppervlakten (begin van de teelt) een negatief effect op de fotosynthese en daarmee op de uiteindelijke vruchtproductie. Direct licht wordt per eenheid bladoppervlak beter onderschept en dat is een voordeel is bij lage bladoppervlakten aan het begin van de teelt. Het zou daarom voor de vruchtproductie beter zijn om het natuurlijke licht in de wintermaanden niet diffuus te maken of sneller voor een groot bladoppervlak of hogere plantdichtheid te zorgen.
- Een lichtverstrooiend kasdek materiaal geeft een extra positief effect heeft bij hoge lichtdoorlatendheid van het kasdek. Een kasdek dat 80% van het directe licht omzet in diffuus licht heeft al bijna hetzelfde effect als een volledig diffuus kasdek.

7 Economisch perspectief

7.1 Materialen en methoden

Er is een economische analyse uitgevoerd naar de maximale investeringskosten voor lichtverstrooiende kasdekmaterialen. Baten door hogere opbrengsten van komkommer, paprika en tomaat zijn tegenovergesteld met de daaraan verbondene kosten.

Gebaseerd op standaardgegevens uit de KWIN (2003-2004) zijn de kosten en baten voor de referentiesituatie in kaart gebracht. Prijzen voor de geoogste producten (komkommer, paprika en tomaat), zijn per seizoen uit de KWIN genomen (teelt G18, G21 en G51). De opbrengst geoogst versproduct is berekend met INTKAM zoals beschreven in hoofdstuk 6. Als deze vermenigvuldigd wordt met de prijs kunnen de baten voor de gewasopbrengst worden berekend. Het gasverbruik wordt met KASPRO berekend zoals beschreven in hoofdstuk 5. De gasprijs wordt volgens de KWIN (2003-2004) uniform vastgesteld op 25.0 cent per m³ gas. De invloed van prijsveranderingen door een hogere of lagere afnamecapaciteit of door prijsfluctuatie op de markt is in deze berekeningen klein en wordt niet meegenomen.

Het waterverbruik is gebaseerd op het gebruik van leidingwater met een prijs van 91 €cent per m³ water. De kosten voor plantmateriaal, gewasbescherming, bemesting, substraat, plastic folie, draden, clips en hun afvoer is volgens de KWIN (2003-2004). Arbeidskosten, fust en verpakking, veilingkosten en rente op het omlopende vermogen zijn evenwel gebaseerd op de KWIN (2003-2004), maar zijn bovendien afhankelijk van de teeltopbrengst. Voor de loonkosten wordt een uurtarief van €16 aangenomen.

Het standaard kasdek materiaal is glas met een prijs van €3,85 per m² materiaal. Omdat voor een Venlo-kas 1,23m² glasmateriaal per 1m² kasgrondvlak nodig is, zijn de investeringskosten hiervan €4.74 per m² kasgrondvlak. Er wordt rekening gehouden met een afschrijvingpercentage van 20% voor het materiaal, dus een terugverdientijd van 5 jaar. Het onderhoudspercentage bedraagt volgens de KWIN (2003-2004) 0,5%, de rente 3%. Met deze gegevens kunnen de jaarlijkse kosten van het kasdek materiaal worden berekend.

Bij het berekenen van de referentiesituatie wordt niet een echte kosten-batenanalyse per teelt gemaakt. Diverse kosten, die in alle cases gelijk blijven, worden buiten beschouwing gelaten. Alleen de relevante meeropbrengsten, kostenbesparingen en meerkosten worden meegenomen.

Naast de referentiesituatie wordt geanalyseerd wat de meerkosten per m² kas voor lichtverstrooiende kasdekmaterialen mogen zijn. Er zijn twee materialen uitgerekend: Een lichtverstrooiend materiaal met dezelfde lichtdoorlatendheid als de referentie (PAR90) en een lichtverstrooiend materiaal met een hogere lichtdoorlatendheid dan de referentie (PAR95). Door een lichtverstrooiend kasdek materiaal stijgen de gewasopbrengsten. Hierdoor stijgen echter ook de arbeidskosten en kosten voor fust, verpakking, veiling en rente op omlopend vermogen.

7.2 Resultaten

De resultaten van de economische analyse worden samengevat in (Tabel 10 t/m Tabel 12). De maximale meerkosten voor een lichtverstrooiend kasdek materiaal liggen rond de €6-9 per m² kas voor paprika en komkommer en rond de €4.5-12 per m² kas voor tomaat afhankelijk van de optische eigenschappen van het materiaal. Als een materiaal slechtere lichtverstrooiende eigenschappen heeft zijn de gewasopbrengsten naar verwachting lager. In dit geval zullen ook de maximale meerkosten voor het kasdek materiaal dalen. De maximale investeringskosten zijn echter hoog en bieden voldoende perspectief voor het ontwikkelen van nieuwe lichtverstrooiende kasdek materialen.

Tabel 10 Kosten-batenanalyse van een tomatenteelt onder twee lichtverstrooiende kasdek materialen ten opzichte van een helder kasdek materiaal en maximale meerkosten voor de investering

Tomaat (KWIN G51)	Helder kasdek materiaal, Referentie (PAR90, Haze 0)			Lichtverstrooiend kasdek materiaal (PAR90, Haze 1.0)		Lichtverstrooiend kasdek materiaal (PAR95, Haze 1.0)	
	<i>opbrengst</i> [kg/m ²]	<i>prijs</i> [€/aantal]	<i>baten</i> [€/m ² /jaar]	<i>opbrengst</i> [kg/m ²]	<i>baten</i> [€/m ² /jaar]	<i>opbrengst</i> [kg/m ²]	<i>baten</i> [€/m ² /jaar]
opbrengst teelt [€/m²/jaar]	81.6	0.54-1.67	66.89	84.0	68.76	87.3	71.49
	<i>aantal</i> [aantal/m ²]	<i>prijs</i> [€/aantal]	<i>kosten</i> [€/m ² /jaar]	<i>aantal</i> [aantal/m ²]	<i>kosten</i> [€/m ² /jaar]	<i>aantal</i> [aantal/m ²]	<i>kosten</i> [€/m ² /jaar]
gasverbruik [m ³ per m ²]	44.60	0.250	11.15	44.80	11.20	44.50	11.13
kosten energie [€/m²/jaar]			11.15		11.20		11.13
plantmateriaal [planten per m ²]	2.5	0.64	1.59		1.59		1.59
arbeidskosten teelt [h per m ²]	1.392	16.00	22.28	1.433	22.93	1.489	23.82
gewasbescherming			0.57		0.57		0.57
bemesting			0.45		0.45		0.45
water [m ³ per m ²]	0.8	0.91	0.80	0.8	0.80	0.8	0.80
substraat en afvoer			1.30		1.30		1.30
plastic folie, draden, clips en afvoer			0.97		0.97		0.97
fust en verpakking	81.6	0.01	0.82	84.0	0.84	87.3	0.87
veilingkosten	66.89	2.75%	1.84	68.76	1.89	71.49	1.97
rente omlopend vermogen	66.89	1%	0.67	68.76	0.69	71.49	0.71
kosten teelt [€/m²/jaar]			31.28		32.03		33.06
maximale meerkosten investering							
kasdek materiaal [€/m² kas]			nvt		€4.56		€12.15

Tabel 11 Kosten-batenanalyse van een paprikateelt onder twee lichtverstrooiende kasdekmaterialen ten opzichte van een helder kasdek materiaal en maximale meerkosten voor de investering

Paprika (KWIN G21)	Helder kasdek materiaal, Referentie (PAR90, Haze 0)			Lichtverstrooiend kasdek materiaal (PAR90, Haze 1.0)		Lichtverstrooiend kasdek materiaal (PAR95, Haze 1.0)	
	<i>opbrengst</i> [kg/m ²]	<i>prijs</i> [€/aantal]	<i>baten</i> [€/m ² /jaar]	<i>opbrengst</i> [kg/m ²]	<i>baten</i> [€/m ² /jaar]	<i>opbrengst</i> [kg/m ²]	<i>baten</i> [€/m ² /jaar]
opbrengst teelt [€/m²/jaar]	33.1	0.92-3.50	47.36	34.5	49.23	35.3	50.17
	<i>aantal</i> [aantal/m ²]	<i>prijs</i> [€/aantal]	<i>kosten</i> [€/m ² /jaar]	<i>aantal</i> [aantal/m ²]	<i>kosten</i> [€/m ² /jaar]	<i>aantal</i> [aantal/m ²]	<i>kosten</i> [€/m ² /jaar]
gasverbruik [m ³ per m ²]	42.00	0.250	10.50	42.20	10.55	41.90	10.48
stomen			0.14		0.14		0.14
kosten energie [€/m²/jaar]			10.64		10.69		10.62
plantmateriaal [planten per m ²]	3.3	1.02	3.37		3.37		3.37
arbeidskosten teelt [h per m ²]	0.981	16.00	15.70	1.021	16.34	1.046	16.74
gewasbescherming			0.79		0.79		0.79
bemesting			0.68		0.68		0.68
water [m ³ per m ²]	0.8	0.91	0.80	0.8	0.80	0.8	0.80
plastic folie, draden, clips en afvoer			0.90		0.90		0.90
koeling	33.1	0.01	0.23	34.5	0.31	35.3	0.32
fust en verpakking	33.1	0.01	0.30	34.5	0.31	35.3	0.32
heffingen	33.1	0.03	0.89	34.5	0.31	35.3	0.32
veilingkosten	47.36	2.75%	1.30	49.23	1.35	50.17	1.38
rente omlopend vermogen	47.36	1%	0.47	49.23	0.49	50.17	0.50
kosten teelt [€/m²/jaar]			25.44		25.66		26.11
maximale meerkosten investering							
kasdek materiaal [€/m² kas]			nvt		€6.82		€9.21

Tabel 12 Kosten-batenanalyse van drie komkommerteelten onder twee lichtverstrooiende kasdekmaterialen ten opzichte van een helder kasdek materiaal en maximale meerkosten voor de investering

Komkommer 3 teelten (KWIN G18)	Helder kasdek materiaal, Referentie (PAR90, Haze 0)			Lichtverstrooiend kasdek materiaal (PAR90, Haze 1.0)		Lichtverstrooiend kasdek materiaal (PAR95, Haze 1.0)	
	<i>opbrengst</i> [kg/m ²]	<i>prijs</i> [€/aantal]	<i>baten</i> [€/m ² /jaar]	<i>opbrengst</i> [kg/m ²]	<i>baten</i> [€/m ² /jaar]	<i>opbrengst</i> [kg/m ²]	<i>baten</i> [€/m ² /jaar]
opbrengst teelt [€/m²/jaar]	84.4	0.38-1.46	45.07	88.1	46.20	89.7	47.22
	<i>aantal</i> [aantal/m ²]	<i>prijs</i> [€/aantal]	<i>kosten</i> [€/m ² /jaar]	<i>aantal</i> [aantal/m ²]	<i>kosten</i> [€/m ² /jaar]	<i>aantal</i> [aantal/m ²]	<i>kosten</i> [€/m ² /jaar]
gasverbruik [m ³ per m ²]	44.20	0.250	11.05	44.50	11.13	44.20	11.05
stomen			0.14		0.14		0.14
kosten energie [€/m²/jaar]			11.19		11.27		11.19
plantmateriaal [planten per m ²]	4.8	1.05	5.06		5.06		5.06
arbeidskosten teelt [h per m ²]	1.010	16.00	16.17	1.055	16.87	1.074	17.19
gewasbescherming			1.39		1.39		1.39
bemesting			1.12		1.12		1.12
water [m ³ per m ²]	0.8	0.91	0.80	0.8	0.80	0.8	0.80
plastic folie, draden, clips en afvoer			1.02		1.02		1.02
koeling	84.4	0.01	0.76	88.1	0.40	89.7	0.40
fust en verpakking	84.4	0.00	0.38	88.1	0.40	89.7	0.40
heffingen	84.4	0.01	1.14	88.1	0.40	89.7	0.40
veilingkosten	45.07	2.75%	1.24	46.20	1.27	47.22	1.30
rente omlopend vermogen	45.07	1%	0.45	46.20	0.46	47.22	0.47
kosten teelt [€/m²/jaar]			29.52		29.18		29.56
maximale meerkosten investering							
kasdek materiaal [€/m² kas]			nvt		€5.93		€8.99

8 Conclusies

Diffuus licht draagt positief bij aan een regelmatigere lichtverdeling in kassen. De lichtdoordringing van diffuus licht in hoogopgaande gewassen is beter dan de lichtdoordringing van direct licht. Door direct licht om te zetten in diffuus licht wordt de lichtverdeling in het gewas verbeterd en zo de fotosynthese van het hele gewas verhoogd. Modelberekeningen hebben bewezen dat dit ook resulteert in een hogere productie van komkommer, paprika en tomaat. Een productiestijging is met name in de zomer- en najaarsmaanden te verwachten. In de wintermaanden zijn de meeste groentegewassen te klein om al het licht te onderscheppen en biedt diffuus licht geen voordelen. Bovendien is er te weinig direct licht dat potentieel omgezet kan worden in diffuus licht.

Een lichtverstrooiend kasdek materiaal dat in staat is om 60-80% van het directe licht om te zetten in diffuus licht heeft bijna hetzelfde productieverhogende effect als een kasdek materiaal dat alle directe straling kan verstrooien. Het lichtverstrooiend effect is extra positief bij een hoge lichtdoorlatendheid van het kasdek materiaal.

Er zijn verschillende lichtverstrooiende kasdek materialen beschikbaar die zijn in staat om direct licht om te zetten in diffuus licht. Terwijl de onderzochte glastypen in staat zijn om 15-45% van de directe straling om te zetten in diffuse straling, is dit bij goede foliematerialen 70-80%. In het algemeen is een lichtverstrooiend effect van een materiaal gekoppeld aan een iets lagere transmissie voor diffuse straling. Er zijn ook uitzonderingen. Zo bestaan er foliematerialen die een hoge lichttransmissie jaarrond combineren met zeer goede lichtverstrooiende eigenschappen. Een verdere optimalisatie van de glasmaterialen is echter wenselijk. Hiervoor zijn voldoende technische en economische perspectieven voorhanden.

De hier beschreven potenties van diffuus licht en lichtverstrooiende kasdek materialen zijn een interessante optie om de productie in Nederlandse kassen te verhogen en daarmee de energie-efficiëntie verder te verbeteren. De resultaten van dit onderzoek zijn echter gebaseerd op modelberekeningen. Voor deze modelberekeningen zijn een aantal aannames gedaan. Experimenten zullen de aannames in de modellen moeten bevestigen en de positieve werking van lichtverstrooiende kasdek materialen bevestigen.

9 Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

- In deze voorstudie is in modelberekeningen het effect van diffuus licht op het kasklimaat en de gewasgroei geanalyseerd. Voor de modelberekeningen zijn een aantal aannames gedaan, gerelateerd aan de veranderde lichtomstandigheden. Experimenten zullen de aannames in de modellen moeten bevestigen.
- Een teelt met een korte teeltperiode zoals komkommer is geschikt voor deze experimenten, om tijd en kosten te besparen.
- De zomerperiode is bijzonder geschikt voor deze experimenten, omdat in deze periode het grootste effect wordt verwacht.
- Onderzoeksvragen:
 - Wat is de performance van lichtverstrooiende kasdekmaterialen in de praktijk?
 - Wat is het optimale lichtverstrooiend vermogen van de kasdekmaterialen?
 - Hoe verandert de veroudering en de lichtadaptatie van de onderste bladeren in het gewas als deze structureel een hogere hoeveelheid licht aangeboden krijgen?
 - Moet de huidige teeltwijze worden aangepast aan de veranderde lichtomstandigheden (teeltperiode, plantdichtheid)?
- Experimenten:
 - Vergelijking van een helder kasdek materiaal als referentie met lichtverstrooiende kasdekmaterialen met verschillende diffusiteit
 - Lichtdoordringing in verschillende bladlagen van het gewas in elk ontwikkelingsstadium
 - PAR absorptie in verschillende bladlagen
 - Fotosynthese in verschillende bladlagen
 - Licht-response curves van verschillende bladlagen
 - RuBisCo activiteit
 - Productie

10 Literatuur

- Aikman, D.P. 1989 – Potential Increase in Photosynthetic Efficiency from the Redistribution of Solar Radiation in a Crop. *Journal of Experimental Botany* 49 (217), 855-864.
- Bot, G.P.A. 1983 - Greenhouse climate: from physical processes to a dynamic model. Ph. D. Thesis Agricultural University Wageningen, The Netherlands.
- Breuer, J.J.G. en N.J. van de Braak 1989 - Reference Year for Dutch Greenhouses. *Acta Horticulturae* 248.
- Brugnoli, E. and O. Björkman 1992 – Chloroplast movements in leaves: Influence on chlorophyll fluorescence and measurements of light-induced absorbance changes related to ΔpH and zeaxanthin formation. *Photosynth. Res.* 32, 23-35.
- CIE 1989: Solar spectral irradiance, Publication no. 85, ISBN 3 900 734 22 4.
- Deckmyn en Impens 1998 – UV-B and PAR in a grass (*Lolium perenne* L.) canopy. *Plant Ecology* 137, 13-19.
- DeLucia, E.H., K. Nelson, T.C. Vogelmann and W.K. Smith 1996 – Contribution of intercellular reflectance to photosynthesis in shade leaves. *Plant, Cell and Environment* 19, 159-170.
- De Jong, T. 1990 - Natural ventilation of large multi-span greenhouses. Ph. D. Thesis Agricultural University Wageningen, The Netherlands.
- De Zwart, H.F. 1993 – Determination of direct transmission of a Multispan Greenhouse Using Vector Algebra. *J. agric. Eng. Res.* 56, 39-49.
- De Zwart, H.F. 1996 – Analyzing energy-saving options in greenhouse cultivation using a simulation model. Proefschrift Landbouwwuniversiteit te Wageningen. Publicatie 96-5 IMAG-DLO. ISBN 90-5485-533-9.
- Dueck; T., K. Grashoff, J. Steenhuizen, D. Uenk, G. Broekhuijsen, E. Meinen en L. Marcelis, 2005. Bladplukken bij paprika: fase 2. Metingen van de bladactiviteit. Nota 346, Plant Research International, Wageningen.
- Evans, J.R. en G.D. Farquar 1991 – Modelling canopy photosynthesis from the biochemistry of the C3 chloroplast. In: K.J. Boote en R.S. Loomis (eds.). *Modelling crop photosynthesis: from biochemistry to canopy*. CSSA special publication no. 19. Madison, Wisconsin, USA, 1-15.
- Farquhar, G.D., S. von Caemmerer and J.A. Berry 1980 - A biochemical model of photosynthetic CO₂ assimilation in leaves of C3 species. *Planta* 149, 78-90.
- Farquhar, G.D. and M.L. Roderick 2003. Pinatubo, diffuse light and the carbon cycle. *Science* 299, 1997-1998.
- Gijzen, H., E. Heuvelink, H. Challa, L.F.M. Marcelis, E. Dayan, S. Cohen and M. Fuchs 1998 - HORTSIM: A model for greenhouse crops and greenhouse climate. *Acta Horticulturae* 456, 441-450.
- Goudriaan, J. 1977 – Crop micrometeorology: a simulation study. *Simulation Monographs*. Pudoc, Wageningen, 249pp.
- Goudriaan, J. 1988 - The bare bones of leaf-angle distribution in radiation models for canopy photosynthesis and energy exchange. *Agricultural and forest meteorology*, 43, 155-169.

- Grashoff, K., C. Stanghellini, F. Kempkes, A. Elings, E. van Os en L. Marcelis, 2004. Energiebesparing door bladplukken bij paprika: haalbaarheidsstudie op basis van modellen. Nota 310, Plant Research International, Wageningen
- Gu, L., D. D. Baldocchi, S.C. Wofsy, J.W. Munger, J.J. Michalsky, S.P. Urbanski, T.A. Boden 2003 – Response of a Deciduous Forest to the Mount Pinatubo Eruption: Enhanced Photosynthesis. *Science* 299, 2035-2038.
- Kuroiwa, S. 1970 – Total photosynthesis of a foliage in relation to inclination of leaves. In: Prediction and measurement of photosynthetic productivity (Ed. I. Setlik). Publ. Pudoc, Wageningen, 79-89.
- Lakso, A.N. and R.C. Musselman 1976 – Effects of Cloudiness on Interior Diffuse Light in Apple Trees. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 101 (6), 642-644.
- Lee, D.W. 1986 – Unusual strategies of light absorption in rainforest herbs. In: *Open the Economy of Plant Form and Function* (ed. T.J. Givnish). AcAMBRIDGE university Press, Cambridge. ISBN 0-521-26296-8, pp. 105-126.
- Marcelis, L.F.M., H.A.G.M van den Boogaard and E. Meinen 2000 - Control of crop growth and nutrient supply by the combined use of crop models and plant sensors. In: *Proc. Int. Conf. Modelling and Control in Agriculture, Horticulture and Post-Harvested Processing*. IFAC, 351-356.
- Marini, R.P. and J.A. Barden 1982 – Light Penetration on Overcast and Clear Days, and Specific Leaf Weight in Apple Trees as Affected by Summer or Dormant Pruning. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 107(1): 39-43.
- Nederhoff, E.M. and R. de Graaf 1993 - Effects of CO₂ on leaf conductance and canopy transpiration of greenhouse grown cucumber and tomato. *Journal of Horticultural Science* 68, 925-937.
- Pendleton, J.W.; G.E. Smith; S.R. Winter and T.J. Johnson 1968 – Field investigations of leaf angle in corn. *Ibid* 60, 422-424.
- Price, D.T. and T.A. Black 1990 - Effects of short term variation in weather on diurnal canopy CO₂ flux and evapotranspiration of a juvenile Douglas-fir stand. *Agricultural and Forest Meteorology*. 50(3), 139-158.
- Röhm, 2005 – Productinformatie Plexiglas® Struktur <http://www.roehm.de> .
- Seicz, G. 1974 – Solar Radiation in Crop Canopies. *Journal of Applied Ecology* 11 (3), 117-1156.
- Sheehy, J.E. and L.C. Chapas 1976 – The Measurement and Distribution of Irradiance in Clear and Overcast Conditions in Four Temperature Forage Grass Canopies. *J. of appl. Ecol.* 13(3), 831-840.
- Spitters, C.J.T., H.A.M. Toussiant en J. Goudriaan 1986 - Separating the diffuse en direct component of global radiation en its implication for modeling canopy photosynthesis. Part II. Calculation of canopy photosynthesis. *Agricultural en Forest Meteorology* 38: 231-242.
- Stanghellini, C 1987 - Transpiration of greenhouse crops. An aid to climate management. Ph. D. Thesis, Agricultural University Wageningen, The Netherlands.

- Velds, C.A., P.C.T. van der Hoeven, J.M. Koopstra, W.R. Raaf en W.H. Slob 1992 –
Zonnestraling in Nederland. Thieme-Baarn/KNMI, 170 pp.
- Vogelmann, T.C., J.F. Bormann and D.J. Yates 1996 – Focussing light by leaf epidermal cells.
Physiologia Plantarum 98, 43-56.
- Yoo H. en E. Pak 1993 - Theoretical model of the charging process for stratified thermal storage
tanks. *Solar Energy*, 51, 513-519.
- Young, D.R. and W.K. Smith 1983 – Effect of Cloudover on Photosynthesis and Transpiration
in the Subalpine Understory Species *Arnica Latifolia*. *Ecology* 64 (4), 681-687.

Bijlagen

Bijlage 1 Optische eigenschappen kasdek- en schermmaterialen

Leverancier	Materiaal	Beschrijving	A&F code	Optische eigenschappen gemiddelden over PAR-gebied 400-700nm (NEN-2675)							
				Haze	transmissie diffuus	transmissie 0°	transmissie 15°	transmissie 30°	transmissie 45°	transmissie 60°	transmissie 75°
Flabeg	glas	wit+AR+diffuus (matt+matt+AR)	FB04B	0.1262	0.8983	0.9545	0.9638	0.9669	0.9643	0.8741	0.5449
	glas	wit+AR (Float+Low iron+AR)	FB04C	0.0025	0.9098	0.9495	0.9587	0.9685	0.9712	0.9401	0.7400
	glas	wit+diffuus (matt+matt)	FB04D	0.1317	0.8380	0.9251	0.9330	0.9365	0.9300	0.8392	0.5255
	glas	wit (Float+Low iron)	FB04E	0.0026	0.8382	0.9137	0.9225	0.9243	0.9181	0.8743	0.6637
Glaverbel	glas	Satinbel matglas 4mm	GB03A	0.0434	0.8111	0.9035	0.9001	0.8909	0.8624	0.7517	0.4537
	glas	Crepi 33/33 matglas 4mm	GB03B	0.4594	0.7817	0.9016	0.8975	0.8883	0.8555	0.6785	0.3671
	glas	Glamatt matglas 2mm	GB03C	0.2007	0.8160	0.9152	0.9129	0.9079	0.8884	0.7680	0.4501
IMAG	glas	standaard tuinbouwglas 4mm	PLA01Z_2004-2	0.0043	0.8219	0.8988	0.8963	0.8861	0.8604	0.7792	0.5701
Saint Gobain Glass	glas	standaard witglas 4mm	DI05C	0.0038	0.8394	0.9184	0.9164	0.9072	0.8805	0.8016	0.5924
Röhm	PMMA	Plexiglas Struktur Farblos SW	RM04A	0.8299		0.9021	0.8844	0.8322	0.7461	0.6628	0.5108
	PMMA	Plexiglas Struktur Farblos PL	RM04B	0.1484		0.9235	0.9174	0.9077	0.8740	0.7604	0.4692
	PMMA	Plexiglas Struktur Farblos TU	RM04C	0.7122		0.9310	0.9286	0.9180	0.8505	0.6776	0.4476
	PMMA	Plexiglas XT Farblos 20070 P	RM04D	0.8578		0.6190	0.6572	0.7088	0.7025	0.6823	0.5629
	PMMA	Plexiglas XT Farblos 20070 R	RM04E	0.7623		0.7465	0.7138	0.6596	0.5555	0.4714	0.4028
Asahi	ETFE	F-clean Clear 100µm	AS04C, AS05A1	0.0887	0.8579	0.9288	0.9296	0.9247	0.9106	0.8652	0.6738
	ETFE	F-clean Diffused 100µm	AS04B	0.7427	0.8099	0.9342	0.9262	0.9100	0.8620	0.7650	0.5407
Oerlemans	PE	van der Heuvel diffused 200µm	OE04A	0.6838	0.7546	0.8785	0.8715	0.8543	0.8081	0.7034	0.5191
Rovero	PE	Solar EVA 5 Clear	RV04A	0.3116	0.7917	0.8955	0.8902	0.8825	0.8579	0.7590	0.5157
	PE	Solar EVA 5 HD Diffuse	RV04B	0.7437	0.7346	0.8696	0.8598	0.8365	0.7811	0.7014	0.5472
BPI	PE	Luminance THB	BI02A	0.8108	0.6921	0.8315	0.8118	0.7714	0.7060	0.6865	0.5258
Ludvig Svensson	Polyester	SLS 10 Ultra 1:5	LS04C	0.5094	0.7225	0.8308	0.8206	0.8060	0.7706	0.7124	0.5474
		SLS 10 Ultra 1:15	LS04D	0.5181	0.7161	0.8234	0.8127	0.7950	0.7549	0.7036	0.5329
		SLS 10 Firebreak	LS04B	0.7399	0.6289	0.7452	0.7329	0.7043	0.6540	0.6292	0.4992
Hermadix	krijt op glas	Krijt test1 (1:3) droog	HM05A1	0.8716	0.4187	0.4551	0.4440	0.4208	0.3790	0.3572	0.3294
	krijt op glas	Krijt test1 (1:3) nat	HM05A2	0.5589	0.7042	0.7996	0.7901	0.7694	0.7185	0.6088	0.4308
	krijt op glas	Krijt test1 (1:7) droog	HM05B1	0.6849	0.6058	0.6932	0.6795	0.6431	0.5854	0.5131	0.4392
	krijt op glas	Krijt test1 (1:7) nat	HM05B2	0.1724	0.7936	0.8783	0.8740	0.8574	0.8210	0.7279	0.5211
	krijt op glas	Krijt test2 (1:1.25)	HM05C	0.7106	0.7610	0.9081	0.8998	0.8889	0.8294	0.5822	0.3560
	krijt op glas	Krijt test3 (1:2.5)	HM05D	0.5277	0.6586	0.7233	0.7152	0.6926	0.6386	0.5275	0.3764
	krijt op glas	Krijt test4 (1:2)	HM05E	0.6676	0.6805	0.8201	0.8069	0.7661	0.6805	0.5392	0.4130
	krijt op glas	Krijt test5 (1:2)	HM05F	0.5797	0.6673	0.7756	0.7685	0.7315	0.6564	0.5382	0.4063
	krijt op glas	Krijt test6 (1:1.5)	HM05G	0.7609	0.7487	0.8898	0.8803	0.8671	0.8021	0.5595	0.3694

Bijlage 2 Randvoorwaarden KASPRO model

Bedrijfsuitrusting

Voor alle cases en gewassen in de modelberekeningen, wordt een virtuele kas gebruikt die in principe voor alle cases gelijk is. De kas heeft een oppervlakte van 40500m² (vierkant verondersteld) met een padbreedte van 3 meter. De goothoogte is 4.5m, de dakhelling 22°. De kapbreedte en vakmaat zijn respectievelijk 4m en 4.5m. De luchtramen zijn 2 ruits (glasmaat 1.125m) en de hoogte van de luchtramen is 0.825m. Er zijn 2 verwarmingsnetten, één van 5 x 51-ers per kap van 4m en één van 2.5 x 28-ers per kap van 4m. De ketel wordt verondersteld maximaal 150W/m² te kunnen leveren en er is een combicondensor achter de ketel geplaatst. Er is een warmtebuffer met een buffervolume van 120m³/ha (voor komkommer 100m³/ha). Als de buffer vol is, wordt er gestopt met de CO₂-dosing. Er is een transparant energiescherm, dat naar behoefte gebruikt kan worden.

Setpoints tomaat

De jonge planten zijn op 12 december in de kas gezet en de teelt wordt op 20 november gestopt. Tijdens de teeltperiode zijn in de berekeningen de volgende setpoints aangehouden.

Verwarmen

van	tot	StookTemperatuur	StookTemperatuur	Tijdstip
12/12	29/12	20 18 18	op ¹⁾ on ²⁾	23
29/12	15/01	18 17 17	op	on 23
15/01	01/05	20 20 15 17	op+1 ³⁾ on-1 ⁴⁾	on+1 23 ⁵⁾
01/05	15/09	20 20 14 17	op+1 on-1	on+1 23
15/09	20/11	20 20 15 17	op+1 on-1	on+1 23

¹⁾ op is zonsopkomst

²⁾ on is zonsondergang

³⁾ -1 → 1 uur voor

⁴⁾ +1 → 1 uur na

⁵⁾ kloktijd 23:00 uur

Ventileren

van	tot	DodeZone:	DodeZone	Tijdstip
12/12	15/01	2	0 ¹⁾	
15/01	15/03	1	0	
15/03	01/10	0.5	0	
01/10	20/11	1	0	

¹⁾ 0 → dag en nacht 24 uur per dag

Tussen 100 en 300 W/m² globale straling wordt een lichtverhoging (temperatuurverhoging op het setpoint verwarmen) toegepast.

van	tot	LichtVerhoging
12/12	10/01	1
10/01	31/03	2
31/03	20/11	1.5
20/11	11/12	0

Vocht

Het vocht wordt op RV-niveau van 85% geregeld. Bij een overschrijding van het vochtsetpoint zullen de ventilatieramen geopend worden, afhankelijk van de buitentemperatuur. Bij 5°C is dit 0.25% raamopening per % RV overschrijding en bij 12 C is dit 0.5% raamopening per % RV overschrijding

CO₂

De CO₂ bron is de ketel en er wordt maximaal 180 kg CO₂/ha/uur gedoseerd, wat overeenkomt met 100m³/ha/uur. Het CO₂-niveau wordt tussen zonsop- en zonsondergang tot maximaal 1000ppm verhoogd. De luchtramen worden onder een buitentemperatuur van 1°C niet meer geopend (vorstgrens). De windzijde wordt pas geopend bij een raamstand van 50% aan de loefzijde. Daarnaast wordt er geen minimumraamstand ingezet. Bij een temperatuuroverschrijding van de kasluchttemperatuur tot boven de ventilatielijn, wordt een versterkingsfactor op de raamstand [% raam/°C setpointoverschrijding] van 20 aangehouden. De buistemperatuur is begrensd op 80°C. De minimumbuistemperatuur is overdag 45°C en in de nacht 40°C en wordt bij een globale straling van 100 tot 250W/m² afgebouwd tot de kasluchttemperatuur.

Energiescherm

Er is standaard een SLS10Ultraplus scherm, dat van half september tot 1 mei gebruikt wordt. In de periode 10 november tot en met 15 februari wordt het scherm gesloten als de buitentemperatuur onder de 10°C komt, de rest van het schermseizoen is dit 5°C. Voor het openen en sluiten van het scherm, wordt er ook nog naar de globale straling gekeken, van 10 november tot 1 januari is het scherm open bij een globale straling van meer dan 100W/m², de rest van het schermseizoen is dit 10W/m². Er wordt een vochtier ingezet tot maximaal 4%. Bij de berekeningen is er van uit gegaan dat indien dit horizontale scherm gesloten is er aan de gevel een scherm met vergelijkbare isolatiegraad aanwezig is.

Setpoints paprika

De planten zijn op 21 november in de kas gezet en de teelt wordt op 6 november gestopt. Tijdens de teeltperiode zijn in de berekeningen de volgende setpoints aangehouden.

Verwarmen

van	tot	StookTemperatuur	StookTemperatuur	Tijdstip
21/11	5/12	22 22	op+1 ^{1) 3)}	on+1 ^{2) 3)}
5/12	25/12	22 20	op+1	on+1
25/12	20/01	21 19	op+1	on+1
20/01	6/11	20 17	op+1	on+1

¹⁾ op is zonsopkomst

²⁾ on is zonsondergang

³⁾ +1 → 1 uur na

Ventileren

van	tot	DodeZone:	DodeZone	Tijdstip
21/10	01 /04	4	0 ¹⁾	
01 /04	20/10	2	0	

¹⁾ 0 → dag en nacht 24 uur per dag

Tussen 100 en 300 W/m² globale straling wordt een lichtverhoging (temperatuurverhoging op het setpoint verwarmen) toegepast.

van	tot	LichtVerhoging
21/11	31/03	0
31/03	6/11	2

Vocht

Het vocht wordt op RV-niveau van 88% geregeld. Bij een overschrijding van het vochtsetpoint zullen de ventilatieramen geopend worden, afhankelijk van de buitentemperatuur. Bij 5°C is dit 2% raamopening per % RV overschrijding en bij 15 C is dit 4% raamopening per % RV overschrijding

CO₂

De CO₂ bron is de ketel en er wordt maximaal 180 kg CO₂/ha/uur gedoseerd, wat overeenkomt met 100m³/ha/uur. Het CO₂-niveau wordt tussen zonsop- en zonsondergang tot maximaal 800ppm verhoogd. De luchtramen worden onder een buitentemperatuur van 1°C niet meer geopend (vorstgrens). De windzijde wordt pas geopend bij een raamstand van 50% aan de loefzijde. Daarnaast wordt er geen minimumraamstand ingezet. Bij een temperatuuroverschrijding van de kasluchttemperatuur tot boven de ventilatielijn, wordt een versterkingsfactor op de raamstand [% raam/°C setpointoverschrijding] van 20 aangehouden. De buistemperatuur is begrensd op 80°C. De minimumbuistemperatuur is van 4 tot 10 uur 's morgens van 1 september tot 1 februari 50 C en van 1 februari tot 1 september 45 C en wordt bij een globale straling van 200 tot 300W/m² afgebouwd tot de kasluchttemperatuur.

Energiescherm

Er is standaard een SLS10Ultraplus scherm, dat van half oktober tot 1 mei gebruikt wordt. In onderstaande tabel is weergegeven op welke voorwaarden van buitentemperatuur en globale straling het scherm gesloten wordt.

van	tot	BuitenTemperatuur	GlobaleStraling
21/11	5/12	10	300
5/12	01/01	7	100
01/01	15/02	7	5
15/02	01/05	5	5
01/05	15/10	niet in gebruik	5
15/10	6/11	5	5

Er wordt een vochtmier ingezet tot maximaal 4%. Bij de berekeningen is er van uit gegaan dat indien dit horizontale scherm gesloten is er aan de gevel een scherm met vergelijkbare isolatiegraad aanwezig is.

Setpoints komkommer

De komkommerteelt kenmerkt zich door 3 plantdata (16 december, 1 mei en 1 augustus). Alleen in de winter is de kas tijdelijk echt leeg (ligt de kas koud). Tijdens de mei en augustus planting wordt er gewoon doorgestookt, ook omdat door het tussenplanten de kas “groen” blijft. De herfstteelt wordt op 5 november gestopt. Tijdens de teeltperiode zijn in de berekeningen de volgende setpoints aangehouden.

Verwarmen

van	tot	StookTemperatuur	StookTemperatuur	Tijdstip
16/12	01/02	21 20	op+1 ^{1) 3)}	on+1 ^{2) 3)}
01/02	01/05	20 18.5	op+1	on+1
01/05	22/05	22 21	op+1	on+1
22/05	29/05	21 19.5	op+1	on+1
29/05	01/08	20 17	op+1	on+1
01/08	22/08	22 21	op+1	on+1
22/08	29/08	21 18.5	op+1	on+1
29/08	5/11	20.5 17.5	op+1	on+1

¹⁾ op is zonsopkomst

²⁾ on is zonsondergang

³⁾ +1 → 1 uur na

Ventileren

van	tot	DodeZone:	DodeZone	Tijdstip
16/12	31/01	6	0 ¹⁾	
31/01	15/04	3	0	
15/04	20/09	1	0	
20/09	5/11	3	0	

¹⁾ 0 → dag en nacht 24 uur per dag

Tussen 100 en 300W/m² globale straling wordt een lichtverhoging toegepast.

van	tot	LichtVerhoging
16/12	15/02	2
15/02	5/11	1

Vocht

Het vocht wordt op RV-niveau van 87% geregeld. Bij een overschrijding van het vochtsetpoint zullen de ventilatieramen geopend worden, afhankelijk van de buitentemperatuur. Bij 5°C is dit 1% raamopening per % RV overschrijding en bij 10 C is dit 2% raamopening per % RV overschrijding

CO₂

De CO₂ bron is de ketel en er wordt maximaal 180kg CO₂/ha/uur gedoseerd, wat overeenkomt met 100m³/ha/uur. Het CO₂-niveau wordt tussen zonsop- en zonsondergang tot maximaal 900ppm verhoogd. De luchtramen worden onder een buitentemperatuur van 1°C niet meer geopend (vorstgrens). De windzijde wordt pas geopend bij een raamstand van 40% aan de loefzijde. Daarnaast wordt er geen minimumraamstand ingezet. Bij een temperatuuroverschrijding van de kasluchttemperatuur tot boven de ventilatielij, wordt een

versterkingsfactor op de raamstand [% raam/°C setpointoverschrijding] van 3 tot 25 aangehouden. (15/12 3, 05/01 6, 01/03 12, 15/04 20, 15/05 25 en 01/09 15) De buistemperatuur is begrensd op 80°C. De minimumbuistemperatuur is overdag 45°C en in de nacht 40°C en wordt bij een globale straling van 100 tot 300W/m² afgebouwd tot de kasluchttemperatuur.

Energiescherm

Er is standaard een SLS10Ultraplus scherm, dat van half oktober tot 1 mei gebruikt wordt. In onderstaande tabel is weergegeven op welke voorwaarden van buitentemperatuur en globale straling het scherm gesloten wordt.

van	tot	BuitenTemperatuur	GlobaleStraling
11/12	15/01	7	20
15/01	15/02	7	5
15/02	01/05	5	5
01/05	15/09	niet in gebruik	5
15/09	5/11	5	5

Er wordt een vochtkier ingezet tot maximaal 4%. Bij de berekeningen is er van uit gegaan dat indien dit horizontale scherm gesloten is er aan de gevel een scherm met vergelijkbare isolatiegraad aanwezig is.

Bijlage 3 Gasverbruik per periode en jaarrond voor komkommer, paprika en tomaat onder kasdekmaterialen met verschillende optische eigenschappen, gebaseerd op berekeningen met KASPRO.

		GASVERBRUIK [m ³ /m ²]													
PAR		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	jaar
transmissie	diffusiteit														
komkommer															
85	0.0	6.3	6.2	5.3	4.6	2.5	2.3	2.3	1.8	2.2	3.1	4.4	0.1	3.6	44.6
85	0.3	6.3	6.2	5.3	4.6	2.6	2.3	2.3	1.8	2.2	3.1	4.4	0.1	3.6	44.6
85	0.6	6.3	6.2	5.3	4.6	2.6	2.3	2.3	1.8	2.2	3.1	4.4	0.1	3.6	44.7
85	0.8	6.3	6.2	5.3	4.6	2.6	2.3	2.3	1.8	2.2	3.1	4.4	0.1	3.6	44.8
85	1.0	6.3	6.2	5.3	4.6	2.6	2.3	2.3	1.8	2.2	3.1	4.4	0.1	3.6	44.8
90	0.0	6.2	6.2	5.3	4.5	2.5	2.2	2.3	1.8	2.1	3.1	4.3	0.1	3.6	44.2
90	0.3	6.2	6.2	5.3	4.5	2.5	2.2	2.3	1.8	2.2	3.1	4.3	0.1	3.6	44.3
90	0.6	6.2	6.2	5.3	4.5	2.5	2.3	2.3	1.8	2.2	3.1	4.4	0.1	3.6	44.4
90	0.8	6.2	6.2	5.3	4.6	2.6	2.3	2.3	1.8	2.2	3.1	4.4	0.1	3.6	44.5
90	1.0	6.2	6.2	5.3	4.6	2.6	2.3	2.3	1.8	2.2	3.1	4.4	0.1	3.6	44.5
95	0.0	6.2	6.1	5.2	4.5	2.5	2.2	2.3	1.8	2.1	3.1	4.3	0.1	3.6	43.9
95	0.3	6.2	6.1	5.2	4.5	2.5	2.2	2.3	1.8	2.1	3.1	4.3	0.1	3.6	44.0
95	0.6	6.2	6.1	5.2	4.5	2.5	2.2	2.3	1.8	2.2	3.1	4.3	0.1	3.6	44.1
95	0.8	6.2	6.2	5.2	4.5	2.5	2.2	2.3	1.8	2.2	3.1	4.3	0.1	3.6	44.2
95	1.0	6.2	6.2	5.2	4.5	2.5	2.3	2.3	1.8	2.2	3.1	4.3	0.1	3.6	44.2
paprika															
85	0.0	6.1	5.5	4.5	3.8	2.3	1.8	1.5	1.1	1.7	2.3	3.7	2.1	6.0	42.4
85	0.3	6.1	5.5	4.5	3.8	2.3	1.8	1.5	1.1	1.7	2.3	3.7	2.1	6.0	42.4
85	0.6	6.1	5.5	4.5	3.8	2.3	1.8	1.5	1.1	1.7	2.3	3.7	2.1	6.0	42.5
85	0.8	6.1	5.5	4.5	3.8	2.3	1.8	1.5	1.1	1.7	2.3	3.7	2.1	6.0	42.5
85	1.0	6.1	5.5	4.5	3.8	2.3	1.8	1.5	1.1	1.7	2.3	3.7	2.1	6.0	42.6
90	0.0	6.1	5.5	4.4	3.7	2.3	1.8	1.5	1.1	1.7	2.3	3.7	2.1	5.9	42.0
90	0.3	6.1	5.5	4.4	3.7	2.3	1.8	1.5	1.1	1.7	2.3	3.7	2.1	5.9	42.1
90	0.6	6.1	5.5	4.4	3.7	2.3	1.8	1.5	1.1	1.7	2.3	3.7	2.1	5.9	42.1
90	0.8	6.1	5.5	4.4	3.7	2.3	1.8	1.5	1.1	1.7	2.3	3.7	2.1	5.9	42.2
90	1.0	6.1	5.5	4.5	3.7	2.3	1.8	1.5	1.1	1.7	2.3	3.7	2.1	5.9	42.2
95	0.0	6.0	5.5	4.4	3.7	2.3	1.8	1.5	1.1	1.6	2.3	3.6	2.0	5.9	41.7
95	0.3	6.1	5.5	4.4	3.7	2.3	1.8	1.5	1.1	1.7	2.3	3.6	2.0	5.9	41.7
95	0.6	6.1	5.5	4.4	3.7	2.3	1.8	1.5	1.1	1.7	2.3	3.6	2.0	5.9	41.8
95	0.8	6.1	5.5	4.4	3.7	2.3	1.8	1.5	1.1	1.7	2.3	3.6	2.0	5.9	41.8
95	1.0	6.1	5.5	4.4	3.7	2.3	1.8	1.5	1.1	1.7	2.3	3.6	2.0	5.9	41.9
tomaat															
85	0.0	5.3	5.7	4.9	4.2	2.9	2.4	2.2	2.0	2.4	3.0	4.0	2.4	3.4	44.9
85	0.3	5.3	5.7	4.9	4.2	2.9	2.4	2.2	2.0	2.4	3.0	4.0	2.4	3.4	44.9
85	0.6	5.3	5.7	4.9	4.2	2.9	2.4	2.2	2.0	2.4	3.0	4.0	2.4	3.4	45.0
85	0.8	5.3	5.7	4.9	4.2	2.9	2.4	2.2	2.0	2.4	3.0	4.0	2.4	3.4	45.0
85	1.0	5.3	5.7	4.9	4.2	2.9	2.4	2.2	2.0	2.4	3.0	4.0	2.4	3.4	45.1
90	0.0	5.3	5.7	4.8	4.2	2.9	2.4	2.2	2.0	2.4	3.0	4.0	2.4	3.4	44.6
90	0.3	5.3	5.7	4.8	4.2	2.9	2.4	2.2	2.0	2.4	3.0	4.0	2.4	3.4	44.6
90	0.6	5.3	5.7	4.8	4.2	2.9	2.4	2.2	2.0	2.4	3.0	4.0	2.4	3.4	44.7
90	0.8	5.3	5.7	4.8	4.2	2.9	2.4	2.2	2.0	2.4	3.0	4.0	2.4	3.4	44.7
90	1.0	5.3	5.7	4.8	4.2	2.9	2.4	2.2	2.0	2.4	3.0	4.0	2.4	3.4	44.8
95	0.0	5.3	5.7	4.8	4.1	2.8	2.4	2.2	2.0	2.4	3.0	4.0	2.4	3.4	44.3
95	0.3	5.3	5.7	4.8	4.2	2.9	2.4	2.2	2.0	2.4	3.0	4.0	2.4	3.4	44.4
95	0.6	5.3	5.7	4.8	4.2	2.9	2.4	2.2	2.0	2.4	3.0	4.0	2.4	3.4	44.4
95	0.8	5.3	5.7	4.8	4.2	2.9	2.4	2.2	2.0	2.4	3.0	4.0	2.4	3.4	44.5
95	1.0	5.3	5.7	4.8	4.2	2.9	2.4	2.2	2.0	2.4	3.0	4.0	2.4	3.4	44.5

Bijlage 4 Gemiddelde kasluchttemperatuur tijdens de daguren per periode voor komkommer, paprika en tomaat onder kasdekmaterialen met verschillende optische eigenschappen, gebaseerd op berekeningen met KASPRO.

		KASLUCHTTEMPERATUUR TIJDENS DAGUREN [°C]												
PAR		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
transmissie	diffusiteit													
komkommer														
85	0.0	20.8	20.2	21.4	21.7	23.8	23.3	23.7	25.3	24.8	23.4	21.4	16.1	19.9
85	0.3	20.8	20.2	21.4	21.7	23.8	23.3	23.7	25.3	24.8	23.4	21.4	16.1	19.9
85	0.6	20.8	20.2	21.4	21.7	23.8	23.3	23.7	25.3	24.8	23.4	21.4	16.2	19.9
85	0.8	20.8	20.2	21.4	21.7	23.8	23.3	23.7	25.3	24.8	23.4	21.4	16.2	19.9
85	1.0	20.8	20.2	21.4	21.7	23.8	23.3	23.7	25.3	24.8	23.3	21.4	16.2	19.9
90	0.0	20.8	20.2	21.5	21.8	23.9	23.3	23.7	25.4	24.9	23.5	21.5	16.3	19.9
90	0.3	20.8	20.2	21.5	21.8	23.8	23.3	23.7	25.4	24.9	23.4	21.5	16.3	19.9
90	0.6	20.8	20.2	21.5	21.8	23.8	23.3	23.7	25.3	24.9	23.4	21.5	16.3	19.9
90	0.8	20.8	20.2	21.5	21.8	23.8	23.3	23.7	25.3	24.8	23.4	21.5	16.3	19.9
90	1.0	20.8	20.2	21.5	21.8	23.8	23.3	23.7	25.3	24.8	23.4	21.5	16.3	19.9
95	0.0	20.8	20.2	21.6	21.8	23.9	23.4	23.8	25.4	25.0	23.5	21.5	16.5	20.0
95	0.3	20.8	20.2	21.6	21.8	23.9	23.4	23.8	25.4	24.9	23.5	21.5	16.5	20.0
95	0.6	20.8	20.2	21.6	21.8	23.9	23.4	23.8	25.4	24.9	23.5	21.5	16.5	20.0
95	0.8	20.8	20.2	21.6	21.8	23.9	23.4	23.8	25.4	24.9	23.5	21.5	16.5	19.9
95	1.0	20.8	20.2	21.6	21.8	23.9	23.4	23.8	25.4	24.9	23.5	21.5	16.5	19.9
paprika														
85	0.0	20.3	19.8	21.3	21.7	23.1	24.1	25.2	25.9	24.8	22.9	21.0	21.6	21.5
85	0.3	20.3	19.8	21.3	21.7	23.1	24.1	25.2	25.9	24.8	22.9	21.0	21.6	21.5
85	0.6	20.3	19.8	21.3	21.7	23.1	24.1	25.2	25.9	24.8	22.9	21.0	21.6	21.5
85	0.8	20.3	19.8	21.3	21.7	23.1	24.1	25.2	25.9	24.8	22.9	21.0	21.6	21.5
85	1.0	20.3	19.8	21.3	21.7	23.1	24.1	25.2	25.9	24.8	22.8	21.0	21.6	21.5
90	0.0	20.3	19.9	21.4	21.8	23.2	24.2	25.3	26.0	24.9	23.0	21.1	21.6	21.5
90	0.3	20.3	19.9	21.4	21.8	23.2	24.2	25.3	26.0	24.9	23.0	21.1	21.6	21.5
90	0.6	20.3	19.9	21.4	21.8	23.2	24.2	25.3	26.0	24.9	22.9	21.1	21.6	21.5
90	0.8	20.3	19.9	21.4	21.8	23.2	24.2	25.3	26.0	24.9	22.9	21.1	21.6	21.5
90	1.0	20.3	19.9	21.4	21.8	23.2	24.2	25.3	26.0	24.9	22.9	21.1	21.6	21.5
95	0.0	20.3	19.9	21.4	21.9	23.3	24.4	25.4	26.2	25.0	23.0	21.2	21.6	21.5
95	0.3	20.3	19.9	21.4	21.9	23.3	24.3	25.4	26.2	25.0	23.0	21.2	21.6	21.5
95	0.6	20.3	19.9	21.4	21.9	23.3	24.3	25.4	26.1	25.0	23.0	21.2	21.6	21.5
95	0.8	20.3	19.9	21.4	21.9	23.3	24.3	25.4	26.1	25.0	23.0	21.2	21.7	21.5
95	1.0	20.3	19.9	21.4	21.9	23.3	24.3	25.4	26.1	25.0	23.0	21.2	21.7	21.5
tomaat														
85	0.0	19.7	20.0	21.1	21.2	22.2	23.0	24.0	24.6	23.6	22.3	20.9	19.7	20.1
85	0.3	19.7	20.0	21.1	21.2	22.2	23.0	23.9	24.6	23.6	22.3	20.9	19.7	20.1
85	0.6	19.7	20.0	21.1	21.2	22.2	23.0	23.9	24.6	23.6	22.3	20.9	19.7	20.1
85	0.8	19.7	20.0	21.1	21.2	22.2	23.0	23.9	24.6	23.6	22.3	20.9	19.7	20.1
85	1.0	19.7	20.0	21.1	21.2	22.2	23.0	23.9	24.6	23.6	22.3	20.9	19.7	20.1
90	0.0	19.7	20.0	21.1	21.3	22.3	23.1	24.0	24.7	23.7	22.3	21.0	19.8	20.1
90	0.3	19.7	20.0	21.1	21.3	22.3	23.1	24.0	24.7	23.7	22.3	21.0	19.8	20.1
90	0.6	19.7	20.0	21.1	21.3	22.3	23.1	24.0	24.7	23.7	22.3	21.0	19.8	20.1
90	0.8	19.7	20.0	21.1	21.3	22.3	23.1	24.0	24.7	23.7	22.3	21.0	19.8	20.1
90	1.0	19.7	20.0	21.1	21.3	22.3	23.1	24.0	24.7	23.7	22.3	20.9	19.8	20.1
95	0.0	19.7	20.0	21.2	21.3	22.4	23.1	24.1	24.8	23.8	22.4	21.0	19.8	20.1
95	0.3	19.7	20.0	21.2	21.3	22.3	23.1	24.1	24.7	23.8	22.4	21.0	19.8	20.1
95	0.6	19.7	20.0	21.2	21.3	22.3	23.1	24.1	24.7	23.8	22.4	21.0	19.8	20.1
95	0.8	19.7	20.0	21.2	21.3	22.3	23.1	24.1	24.7	23.8	22.4	21.0	19.8	20.1
95	1.0	19.7	20.0	21.2	21.3	22.3	23.1	24.1	24.7	23.7	22.4	21.0	19.8	20.1

Bijlage 5 Gemiddelde rv per periode voor komkommer, paprika en tomaat onder kasdekmaterialen met verschillende optische eigenschappen, gebaseerd op berekeningen met KASPRO.

		RV [%]												
PAR														
transmissie	diffusiteit	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
komkommer														
85	0.0	63.1	75.3	82.6	86.0	62.3	75.6	82.4	71.6	70.9	87.8	86.6	74.4	49.9
85	0.3	63.1	75.3	82.5	86.0	62.4	75.7	82.5	71.7	71.0	87.8	86.6	74.4	49.9
85	0.6	63.1	75.3	82.5	86.0	62.5	75.8	82.5	71.8	71.1	87.8	86.6	74.4	49.9
85	0.8	63.1	75.3	82.5	86.0	62.6	75.9	82.5	71.9	71.2	87.8	86.6	74.5	49.9
85	1.0	63.1	75.3	82.5	86.0	62.6	75.9	82.6	71.9	71.2	87.8	86.6	74.5	49.9
90	0.0	63.2	75.4	82.6	86.0	62.1	75.4	82.3	71.4	70.6	87.7	86.7	74.2	50.0
90	0.3	63.2	75.4	82.6	86.0	62.2	75.5	82.3	71.5	70.8	87.7	86.7	74.3	50.0
90	0.6	63.2	75.4	82.6	86.0	62.3	75.6	82.4	71.6	70.9	87.7	86.7	74.3	50.0
90	0.8	63.2	75.4	82.6	86.0	62.4	75.6	82.4	71.7	70.9	87.8	86.7	74.3	50.0
90	1.0	63.2	75.4	82.6	86.0	62.5	75.7	82.4	71.8	71.0	87.8	86.7	74.3	50.0
95	0.0	63.3	75.5	82.6	86.1	61.9	75.2	82.1	71.2	70.4	87.7	86.7	74.0	50.1
95	0.3	63.3	75.5	82.6	86.1	62.0	75.3	82.2	71.4	70.6	87.7	86.7	74.2	50.1
95	0.6	63.3	75.5	82.6	86.1	62.1	75.4	82.2	71.5	70.7	87.7	86.7	74.1	50.1
95	0.8	63.3	75.5	82.6	86.1	62.2	75.5	82.3	71.5	70.8	87.7	86.7	74.2	50.1
95	1.0	63.3	75.5	82.6	86.1	62.3	75.5	82.3	71.6	70.8	87.7	86.7	74.2	50.1
paprika														
85	0.0	73.0	77.6	79.0	81.5	81.0	79.7	78.5	80.1	81.1	84.6	83.2	53.2	62.1
85	0.3	73.0	77.6	79.0	81.5	81.1	79.7	78.5	80.2	81.2	84.6	83.3	53.2	62.1
85	0.6	73.0	77.6	79.0	81.5	81.1	79.7	78.6	80.2	81.2	84.6	83.2	53.3	62.1
85	0.8	73.0	77.6	79.0	81.5	81.1	79.7	78.6	80.2	81.2	84.6	83.2	53.2	62.1
85	1.0	73.0	77.6	79.0	81.5	81.1	79.7	78.6	80.3	81.2	84.6	83.3	53.3	62.1
90	0.0	73.2	77.8	78.9	81.4	80.7	79.3	78.0	79.6	80.8	84.4	83.2	53.3	62.2
90	0.3	73.2	77.8	78.9	81.5	80.7	79.3	78.1	79.7	80.8	84.4	83.2	53.3	62.2
90	0.6	73.2	77.8	78.9	81.5	80.8	79.3	78.1	79.7	80.8	84.4	83.2	53.3	62.2
90	0.8	73.2	77.8	78.9	81.5	80.8	79.3	78.1	79.8	80.8	84.4	83.2	53.4	62.2
90	1.0	73.2	77.8	78.9	81.5	80.8	79.3	78.2	79.8	80.9	84.4	83.2	53.4	62.2
95	0.0	73.3	77.9	78.9	81.4	80.4	78.9	77.6	79.2	80.4	84.2	83.2	53.4	62.3
95	0.3	73.3	77.9	78.9	81.4	80.5	78.9	77.6	79.2	80.4	84.3	83.2	53.4	62.3
95	0.6	73.3	77.9	78.9	81.4	80.5	78.9	77.7	79.3	80.5	84.3	83.2	53.5	62.3
95	0.8	73.3	77.9	78.9	81.4	80.5	78.9	77.7	79.3	80.5	84.3	83.2	53.5	62.3
95	1.0	73.3	77.9	78.9	81.4	80.5	78.9	77.7	79.4	80.5	84.3	83.2	53.5	62.3
tomaat														
85	0.0	69.6	79.1	82.5	84.0	83.0	82.0	80.9	81.6	82.4	85.9	85.5	84.4	59.7
85	0.3	69.6	79.1	82.5	84.0	83.0	82.0	80.9	81.7	82.5	85.9	85.5	84.4	59.6
85	0.6	69.6	79.1	82.5	84.0	83.0	82.1	81.0	81.7	82.5	85.9	85.5	84.4	59.7
85	0.8	69.6	79.1	82.5	84.0	83.0	82.1	81.0	81.7	82.5	86.0	85.5	84.4	59.7
85	1.0	69.6	79.1	82.5	84.0	83.1	82.1	81.0	81.8	82.5	86.0	85.5	84.4	59.7
90	0.0	69.7	79.2	82.5	84.0	82.8	81.8	80.7	81.5	82.3	85.8	85.5	84.4	59.7
90	0.3	69.7	79.2	82.5	84.0	82.8	81.8	80.8	81.5	82.3	85.8	85.5	84.4	59.7
90	0.6	69.7	79.2	82.5	84.0	82.9	81.9	80.8	81.6	82.3	85.9	85.5	84.4	59.7
90	0.8	69.7	79.2	82.5	84.0	82.9	81.9	80.8	81.6	82.4	85.9	85.5	84.4	59.7
90	1.0	69.7	79.2	82.5	84.0	82.9	81.9	80.9	81.6	82.4	85.9	85.5	84.4	59.7
95	0.0	69.8	79.3	82.5	84.0	82.7	81.6	80.6	81.3	82.1	85.8	85.5	84.5	59.7
95	0.3	69.8	79.3	82.5	84.0	82.7	81.7	80.6	81.4	82.2	85.8	85.5	84.5	59.7
95	0.6	69.8	79.3	82.5	84.0	82.7	81.7	80.7	81.4	82.2	85.8	85.5	84.5	59.8
95	0.8	69.8	79.3	82.5	84.0	82.8	81.8	80.7	81.5	82.2	85.8	85.5	84.4	59.8
95	1.0	69.8	79.3	82.5	84.0	82.8	81.8	80.7	81.5	82.3	85.8	85.5	84.4	59.8

Bijlage 6 Gemiddelde CO₂-concentratie tijdens de daguren per periode voor komkommer, paprika en tomaat onder kasdekmaterialen met verschillende optische eigenschappen, gebaseerd op berekeningen met KASPRO.

		CO ₂ -GEHALTE TIJDENS DAGUREN [ppm]												
PAR		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
transmissie	diffusiteit													
komkommer														
85	0.0	872	866	841	815	686	624	575	520	602	795	840	358	841
85	0.3	872	866	840	811	687	624	574	521	603	795	840	357	842
85	0.6	871	866	840	811	689	625	574	522	604	795	840	355	841
85	0.8	871	865	839	810	690	626	574	522	605	795	840	356	842
85	1.0	872	866	839	812	691	626	574	523	606	795	839	355	841
90	0.0	872	867	834	808	678	615	569	515	595	790	839	355	841
90	0.3	872	866	834	808	680	616	568	516	596	788	838	354	841
90	0.6	871	866	834	804	681	617	568	517	597	787	838	354	842
90	0.8	872	867	834	805	682	618	568	517	598	788	839	354	841
90	1.0	872	866	834	804	682	619	568	518	599	787	838	354	841
95	0.0	872	866	828	801	670	607	563	511	589	782	836	354	842
95	0.3	872	865	828	801	671	608	563	511	589	782	837	355	841
95	0.6	871	865	827	800	674	609	563	512	591	781	837	354	841
95	0.8	872	866	826	798	675	610	562	513	592	781	837	354	842
95	1.0	871	865	828	798	675	611	563	514	592	781	836	353	842
paprika														
85	0.0	799	799	792	783	687	605	550	499	590	757	790	760	801
85	0.3	799	799	792	782	686	605	549	498	590	756	790	761	802
85	0.6	799	799	791	781	685	605	549	498	590	756	790	761	801
85	0.8	799	799	791	782	685	605	549	498	590	755	790	760	802
85	1.0	799	799	791	781	685	605	549	498	590	755	789	759	801
90	0.0	800	799	791	780	678	593	543	493	581	752	789	760	801
90	0.3	800	799	791	779	677	593	542	493	580	751	789	760	802
90	0.6	800	799	791	779	676	592	542	493	580	750	789	760	801
90	0.8	800	799	791	778	676	593	542	493	580	750	790	760	801
90	1.0	800	799	791	778	676	593	542	493	580	750	789	760	801
95	0.0	800	799	790	778	670	582	536	489	572	747	789	759	801
95	0.3	800	799	790	776	669	581	535	488	572	746	789	759	801
95	0.6	800	799	790	776	669	581	535	488	572	746	789	759	801
95	0.8	800	799	790	776	669	581	535	488	571	746	789	761	801
95	1.0	800	799	789	775	669	582	535	488	572	746	789	759	801
tomaat														
85	0.0	951	940	907	882	740	659	591	543	626	823	909	908	978
85	0.3	951	939	906	881	740	659	591	543	626	822	910	907	977
85	0.6	951	940	906	881	740	659	591	543	626	822	910	909	978
85	0.8	952	940	906	880	741	658	590	544	626	822	909	908	978
85	1.0	952	940	906	880	740	658	591	544	626	822	909	909	978
90	0.0	950	938	901	874	731	648	584	537	617	814	904	907	976
90	0.3	951	938	900	872	730	648	583	537	617	813	905	906	977
90	0.6	951	938	900	872	730	648	583	538	617	813	905	905	976
90	0.8	952	938	900	871	730	648	583	538	618	813	905	905	977
90	1.0	951	938	900	871	731	649	584	538	618	813	904	906	977
95	0.0	951	937	895	866	721	640	577	532	610	806	900	906	977
95	0.3	951	937	894	866	720	639	577	532	609	806	900	906	977
95	0.6	951	937	894	864	720	639	577	532	610	805	900	906	977
95	0.8	951	938	894	864	721	640	577	533	610	805	900	907	976
95	1.0	951	938	894	864	721	640	577	533	610	805	901	907	976

Bijlage 7 Gemiddelde gewastemperatuur per periode voor komkommer, paprika en tomaat onder kasdekmaterialen met verschillende optische eigenschappen, gebaseerd op berekeningen met KASPRO.

		GEWASTEMPERATUUR [°C]												
PAR		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
transmissie	diffusiteit													
komkommer														
85	0.0	19.1	18.6	19.6	20.1	23.0	22.1	22.2	24.3	23.3	20.9	19.1	14.0	17.7
85	0.3	19.1	18.6	19.6	20.1	23.0	22.1	22.2	24.3	23.2	20.9	19.1	14.0	17.7
85	0.6	19.1	18.6	19.6	20.1	23.0	22.1	22.2	24.3	23.2	20.9	19.1	14.0	17.7
85	0.8	19.1	18.6	19.6	20.1	22.9	22.1	22.2	24.2	23.2	20.9	19.1	14.0	17.7
85	1.0	19.1	18.6	19.6	20.1	22.9	22.1	22.1	24.2	23.2	20.9	19.1	14.0	17.7
90	0.0	19.1	18.6	19.7	20.2	23.1	22.3	22.3	24.5	23.4	21.0	19.2	14.2	17.7
90	0.3	19.1	18.6	19.7	20.2	23.1	22.3	22.3	24.4	23.4	20.9	19.2	14.2	17.7
90	0.6	19.1	18.6	19.7	20.2	23.1	22.2	22.3	24.4	23.3	20.9	19.2	14.1	17.7
90	0.8	19.1	18.6	19.7	20.2	23.1	22.2	22.3	24.4	23.3	20.9	19.1	14.1	17.7
90	1.0	19.1	18.6	19.7	20.2	23.1	22.2	22.3	24.4	23.3	20.9	19.1	14.1	17.7
95	0.0	19.1	18.6	19.8	20.3	23.3	22.4	22.4	24.6	23.6	21.0	19.2	14.3	17.8
95	0.3	19.1	18.6	19.8	20.3	23.3	22.4	22.4	24.6	23.5	21.0	19.2	14.3	17.8
95	0.6	19.1	18.6	19.8	20.3	23.2	22.4	22.4	24.5	23.5	21.0	19.2	14.3	17.7
95	0.8	19.1	18.6	19.8	20.3	23.2	22.3	22.4	24.5	23.5	21.0	19.2	14.3	17.7
95	1.0	19.1	18.6	19.8	20.3	23.2	22.3	22.4	24.5	23.4	21.0	19.2	14.2	17.7
paprika														
85	0.0	18.5	17.9	19.1	19.7	21.2	22.3	23.5	23.8	22.2	20.3	18.8	19.7	19.4
85	0.3	18.5	17.9	19.1	19.7	21.2	22.3	23.5	23.8	22.2	20.3	18.8	19.7	19.4
85	0.6	18.5	17.9	19.1	19.7	21.2	22.3	23.5	23.8	22.2	20.3	18.8	19.7	19.4
85	0.8	18.5	17.9	19.1	19.7	21.2	22.3	23.5	23.8	22.2	20.3	18.8	19.7	19.4
85	1.0	18.5	17.9	19.1	19.7	21.1	22.3	23.5	23.8	22.2	20.3	18.8	19.7	19.4
90	0.0	18.5	17.9	19.1	19.8	21.3	22.5	23.7	24.0	22.4	20.4	18.9	19.7	19.4
90	0.3	18.5	17.9	19.1	19.8	21.3	22.5	23.7	24.0	22.4	20.4	18.9	19.7	19.4
90	0.6	18.5	17.9	19.1	19.8	21.3	22.5	23.7	24.0	22.3	20.4	18.9	19.7	19.4
90	0.8	18.5	17.9	19.1	19.8	21.3	22.4	23.7	24.0	22.3	20.4	18.9	19.7	19.4
90	1.0	18.5	17.9	19.1	19.8	21.3	22.4	23.6	24.0	22.3	20.4	18.9	19.7	19.4
95	0.0	18.5	17.9	19.2	19.9	21.4	22.6	23.9	24.2	22.5	20.5	18.9	19.7	19.4
95	0.3	18.5	17.9	19.2	19.9	21.4	22.6	23.9	24.2	22.5	20.5	18.9	19.7	19.4
95	0.6	18.5	17.9	19.2	19.9	21.4	22.6	23.8	24.2	22.5	20.5	18.9	19.7	19.4
95	0.8	18.5	17.9	19.2	19.9	21.4	22.6	23.8	24.2	22.5	20.5	18.9	19.7	19.4
95	1.0	18.5	17.9	19.2	19.8	21.4	22.6	23.8	24.1	22.5	20.5	18.9	19.7	19.4
tomaat														
85	0.0	17.1	17.6	18.7	19.2	20.5	21.4	22.4	22.8	21.4	19.9	18.5	17.4	17.2
85	0.3	17.1	17.6	18.7	19.2	20.5	21.4	22.4	22.7	21.4	19.9	18.5	17.4	17.2
85	0.6	17.1	17.6	18.7	19.2	20.5	21.4	22.4	22.7	21.4	19.9	18.5	17.4	17.2
85	0.8	17.1	17.6	18.7	19.2	20.5	21.4	22.4	22.7	21.4	19.9	18.5	17.4	17.2
85	1.0	17.1	17.6	18.7	19.2	20.5	21.4	22.3	22.7	21.4	19.9	18.5	17.4	17.2
90	0.0	17.1	17.6	18.7	19.3	20.6	21.5	22.5	22.9	21.5	20.0	18.5	17.4	17.2
90	0.3	17.1	17.6	18.7	19.3	20.6	21.5	22.5	22.8	21.5	20.0	18.5	17.4	17.2
90	0.6	17.1	17.6	18.7	19.3	20.6	21.5	22.5	22.8	21.5	20.0	18.5	17.4	17.2
90	0.8	17.1	17.6	18.7	19.3	20.6	21.5	22.5	22.8	21.5	20.0	18.5	17.4	17.2
90	1.0	17.1	17.6	18.7	19.3	20.6	21.5	22.5	22.8	21.5	20.0	18.5	17.4	17.2
95	0.0	17.1	17.6	18.8	19.3	20.7	21.6	22.6	23.0	21.6	20.0	18.6	17.4	17.2
95	0.3	17.1	17.6	18.8	19.3	20.7	21.6	22.6	23.0	21.6	20.0	18.6	17.4	17.2
95	0.6	17.1	17.6	18.8	19.3	20.7	21.6	22.6	22.9	21.6	20.0	18.6	17.4	17.2
95	0.8	17.1	17.6	18.8	19.3	20.7	21.6	22.6	22.9	21.6	20.0	18.6	17.4	17.2
95	1.0	17.1	17.6	18.8	19.3	20.6	21.6	22.6	22.9	21.6	20.0	18.6	17.4	17.2

Bijlage 8 Gewasverdamping per periode en jaarrond voor komkommer, paprika en tomaat onder kasdekmaterialen met verschillende optische eigenschappen, gebaseerd op berekeningen met KASPRO.

PAR		VERDAMPING [l/m ²]													jaar
transmissie	diffusiteit	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	jaar
komkommer															
85	0.0	5.1	18.3	40.0	48.8	26.5	67.4	96.1	62.5	42.6	43.7	30.4	0.7	1.6	483.8
85	0.3	5.1	18.3	40.0	48.8	26.5	67.2	95.9	62.4	42.4	43.7	30.4	0.7	1.6	483.0
85	0.6	5.1	18.3	40.0	48.8	26.5	67.0	95.8	62.3	42.2	43.6	30.4	0.7	1.6	482.2
85	0.8	5.1	18.3	40.0	48.7	26.4	66.9	95.6	62.3	42.1	43.6	30.4	0.7	1.6	481.7
85	1.0	5.1	18.3	40.0	48.7	26.4	66.7	95.5	62.2	42.0	43.5	30.4	0.7	1.6	481.1
90	0.0	5.2	18.6	41.2	50.4	27.6	70.2	99.8	64.7	44.3	45.3	31.1	0.7	1.6	500.7
90	0.3	5.2	18.6	41.1	50.4	27.6	69.9	99.6	64.6	44.1	45.2	31.1	0.7	1.6	499.8
90	0.6	5.2	18.6	41.1	50.4	27.5	69.7	99.4	64.5	43.9	45.2	31.1	0.7	1.6	498.9
90	0.8	5.2	18.6	41.1	50.3	27.5	69.6	99.2	64.4	43.8	45.1	31.1	0.8	1.6	498.3
90	1.0	5.2	18.6	41.1	50.3	27.5	69.4	99.1	64.4	43.7	45.1	31.1	0.8	1.6	497.7
95	0.0	5.3	19.0	42.3	52.0	28.7	72.9	103.4	66.9	46.0	46.8	31.8	0.7	1.6	517.3
95	0.3	5.3	18.9	42.2	52.0	28.6	72.6	103.1	66.7	45.7	46.7	31.8	0.8	1.6	516.2
95	0.6	5.3	18.9	42.2	51.9	28.6	72.4	102.9	66.6	45.5	46.7	31.8	0.8	1.6	515.2
95	0.8	5.3	18.9	42.2	51.9	28.6	72.2	102.7	66.5	45.4	46.6	31.8	0.8	1.6	514.5
95	1.0	5.3	18.9	42.2	51.9	28.5	72.0	102.6	66.5	45.3	46.6	31.8	0.8	1.6	513.9
paprika															
85	0.0	11.3	18.3	32.2	39.0	55.5	66.6	69.7	66.5	57.1	35.1	23.4	2.2	4.1	480.9
85	0.3	11.3	18.3	32.2	38.9	55.5	66.5	69.6	66.4	57.1	35.1	23.4	2.2	4.1	480.6
85	0.6	11.3	18.3	32.2	38.9	55.4	66.5	69.6	66.3	57.0	35.1	23.4	2.2	4.1	480.2
85	0.8	11.3	18.3	32.2	38.9	55.4	66.4	69.5	66.3	57.0	35.1	23.4	2.3	4.1	480.0
85	1.0	11.3	18.2	32.2	38.9	55.4	66.4	69.5	66.2	56.9	35.0	23.4	2.3	4.1	479.7
90	0.0	11.5	18.6	33.2	40.3	57.5	68.7	71.5	68.1	58.9	36.4	24.0	2.3	4.1	495.0
90	0.3	11.5	18.6	33.2	40.2	57.5	68.6	71.4	68.0	58.9	36.3	23.9	2.3	4.1	494.6
90	0.6	11.5	18.6	33.2	40.2	57.4	68.6	71.4	67.9	58.8	36.3	23.9	2.3	4.1	494.2
90	0.8	11.5	18.6	33.2	40.2	57.4	68.5	71.3	67.8	58.8	36.3	23.9	2.3	4.1	494.0
90	1.0	11.5	18.6	33.2	40.2	57.4	68.5	71.3	67.8	58.7	36.3	23.9	2.3	4.1	493.7
95	0.0	11.7	18.9	34.3	41.5	59.4	70.6	73.2	69.5	60.6	37.6	24.5	2.3	4.2	508.3
95	0.3	11.7	18.9	34.2	41.5	59.3	70.5	73.1	69.4	60.5	37.5	24.5	2.3	4.2	507.8
95	0.6	11.7	18.9	34.2	41.5	59.3	70.5	73.0	69.3	60.5	37.5	24.5	2.3	4.2	507.4
95	0.8	11.7	18.9	34.2	41.5	59.2	70.4	73.0	69.3	60.4	37.5	24.5	2.3	4.2	507.1
95	1.0	11.7	18.9	34.2	41.5	59.2	70.4	72.9	69.2	60.4	37.5	24.5	2.3	4.2	506.8
tomaat															
85	0.0	6.8	21.7	38.1	45.2	65.3	80.5	90.3	88.4	70.8	42.8	27.7	20.1	2.0	599.7
85	0.3	6.8	21.7	38.1	45.2	65.2	80.3	90.0	88.2	70.6	42.8	27.7	20.1	2.0	598.7
85	0.6	6.8	21.7	38.0	45.2	65.1	80.2	89.8	88.0	70.5	42.7	27.6	20.1	2.0	597.7
85	0.8	6.8	21.7	38.0	45.1	65.1	80.1	89.7	87.8	70.4	42.7	27.6	20.1	2.0	597.0
85	1.0	6.8	21.7	38.0	45.1	65.0	80.0	89.5	87.7	70.3	42.6	27.6	20.1	2.0	596.4
90	0.0	6.9	22.0	39.2	46.8	68.0	83.7	93.8	91.7	73.4	44.4	28.4	20.4	2.0	620.7
90	0.3	6.9	22.0	39.2	46.7	67.8	83.5	93.6	91.4	73.3	44.3	28.4	20.4	2.0	619.5
90	0.6	6.9	22.0	39.1	46.7	67.7	83.4	93.3	91.2	73.1	44.2	28.4	20.4	2.0	618.4
90	0.8	6.9	22.0	39.1	46.7	67.6	83.2	93.1	91.0	73.0	44.2	28.3	20.4	2.0	617.6
90	1.0	6.9	22.0	39.1	46.6	67.6	83.1	93.0	90.9	72.9	44.1	28.3	20.4	2.0	616.9
95	0.0	7.0	22.4	40.3	48.3	70.5	86.9	97.3	94.9	76.0	45.9	29.1	20.7	2.0	641.2
95	0.3	7.0	22.4	40.2	48.3	70.4	86.7	97.0	94.6	75.8	45.8	29.1	20.7	2.0	639.9
95	0.6	7.0	22.3	40.2	48.2	70.3	86.5	96.7	94.3	75.6	45.7	29.0	20.7	2.0	638.6
95	0.8	7.0	22.3	40.2	48.2	70.2	86.3	96.5	94.1	75.5	45.6	29.0	20.7	2.0	637.8
95	1.0	7.0	22.3	40.1	48.1	70.1	86.2	96.3	94.0	75.4	45.6	29.0	20.7	2.0	636.9

Bijlage 9 Aantal schermuren per periode voor komkommer, paprika en tomaat bij gebruik van transparante lichtverstrooiende schermen met een Haze van 1.0, verschillende PAR-transmissie en diverse schermstrategieën, gebaseerd op berekeningen met KASPRO.

		SCHERMUREN [h]												
PAR-transmissie	schermstrategie	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
paprika														
95	direct:diffuus 1:1	10	3	16	38	31	57	93	89	80	56	16	24	8
90	direct:diffuus 1:1	10	3	16	38	31	57	93	89	80	56	16	25	8
85	direct:diffuus 1:1	10	3	16	38	31	57	93	89	80	56	16	24	8
95	direct > 5W/m ²	87	96	206	218	272	353	368	340	291	169	140	79	93
90	direct > 5W/m ²	87	96	206	219	272	353	368	340	291	169	140	81	94
85	direct > 5W/m ²	88	96	206	218	272	353	368	340	291	167	140	79	93
95	direct > 50W/m ²	18	24	80	78	139	195	237	219	174	94	64	26	20
90	direct > 50W/m ²	18	24	80	78	139	195	237	219	174	94	64	26	20
85	direct > 50W/m ²	18	24	80	78	139	195	237	219	174	94	64	26	20
tomaat														
95	direct:diffuus 1:1	10	4	15	40	30	57	92	86	75	55	15	5	4
90	direct:diffuus 1:1	10	5	16	39	30	57	92	86	74	55	15	4	4
85	direct:diffuus 1:1	10	5	16	38	30	57	92	86	74	55	14	3	3
95	direct > 5W/m ²	86	86	151	191	261	351	368	335	282	127	72	54	74
90	direct > 5W/m ²	88	85	140	181	252	351	366	335	282	130	79	50	74
85	direct > 5W/m ²	87	86	136	175	251	342	366	335	282	126	76	50	74
95	direct > 50W/m ²	19	23	61	77	140	194	237	218	174	91	19	4	12
90	direct > 50W/m ²	19	23	58	77	140	194	237	219	174	91	19	3	12
85	direct > 50W/m ²	19	23	53	74	139	194	237	219	174	94	16	3	14
komkommer														
95	direct:diffuus 1:1	10	3	17	39	31	57	94	89	80	55	16	6	3
90	direct:diffuus 1:1	10	3	17	39	31	57	94	89	80	55	16	2	3
85	direct:diffuus 1:1	10	3	16	38	31	57	94	89	80	55	16	4	3
95	direct > 5W/m ²	86	95	186	207	267	353	368	324	291	141	100	39	63
90	direct > 5W/m ²	86	95	185	188	265	353	368	323	291	139	100	27	66
85	direct > 5W/m ²	87	95	185	190	263	353	368	323	291	141	102	41	66
95	direct > 50W/m ²	18	23	78	77	139	195	237	214	174	90	27	3	9
90	direct > 50W/m ²	18	23	78	77	139	195	237	214	174	94	23	5	11
85	direct > 50W/m ²	18	23	78	77	139	195	237	214	174	91	25	4	9

Bijlage 10 Totale hoeveelheid PAR per periode en jaarrond voor komkommer, paprika en tomaat onder transparante lichtverstrooiende schermen met een Haze van 1.0, verschillende PAR-transmissie en diverse schermstrategieën, gebaseerd op berekeningen met KASPRO.

		PAR TOTAAL ONDER HET SCHERM [MJ/m ²]													jaar	%
PAR-transmissie	schermstrategie	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
paprika																
95	GEEN	19	30	80	100	147	177	187	169	140	84	45	23	13	1213	94.4
90	GEEN	20	32	84	106	156	187	198	179	148	89	47	24	14	1285	100.0
85	GEEN	21	34	89	111	164	197	209	189	157	94	50	25	15	1356	105.6
95	direct:diffuus 1:1	19	31	81	101	150	179	189	171	141	85	45	23	14	1230	95.7
90	direct:diffuus 1:1	19	31	81	100	148	177	186	168	139	84	45	23	14	1215	94.6
85	direct:diffuus 1:1	19	31	80	99	147	176	183	166	137	82	45	23	14	1201	93.5
95	direct > 5W/m ²	18	30	78	98	144	173	183	166	137	83	44	23	13	1190	92.7
90	direct > 5W/m ²	18	29	75	94	138	164	174	158	131	80	42	22	13	1137	88.5
85	direct > 5W/m ²	17	28	71	90	132	156	166	150	125	77	40	21	12	1084	84.4
95	direct > 50W/m ²	19	30	80	100	146	175	184	167	139	84	44	23	14	1204	93.8
90	direct > 50W/m ²	19	30	77	97	141	168	177	160	134	82	43	23	13	1165	90.7
85	direct > 50W/m ²	18	30	75	95	137	162	170	153	129	80	42	22	13	1126	87.7
tomaat																
95	GEEN	18	30	80	100	147	177	187	169	140	84	45	23	13	1213	94.4
90	GEEN	20	32	84	106	156	187	198	179	148	89	47	25	14	1285	100.0
85	GEEN	21	34	89	111	164	197	209	189	157	94	50	26	15	1356	105.6
95	direct:diffuus 1:1	19	31	81	101	150	179	189	171	142	85	45	24	14	1230	95.7
90	direct:diffuus 1:1	19	31	81	100	148	177	186	168	139	84	45	23	14	1216	94.6
85	direct:diffuus 1:1	19	31	80	99	147	176	183	166	137	82	45	23	13	1202	93.6
95	direct > 5W/m ²	18	30	79	98	145	173	183	166	137	84	44	23	13	1193	92.8
90	direct > 5W/m ²	18	29	76	95	138	165	175	158	131	81	43	23	13	1142	88.9
85	direct > 5W/m ²	17	28	73	91	132	157	166	150	125	78	41	22	12	1092	85.0
95	direct > 50W/m ²	19	30	80	100	146	175	184	167	139	84	45	24	13	1205	93.8
90	direct > 50W/m ²	18	30	78	97	141	169	177	160	134	82	44	23	13	1167	90.9
85	direct > 50W/m ²	18	30	76	95	137	162	170	153	129	80	43	23	13	1129	87.9
komkommer																
95	GEEN	18	30	80	100	147	177	187	169	140	84	45	24	14	1216	94.4
90	GEEN	20	32	84	106	156	187	198	179	148	89	47	26	15	1287	100.0
85	GEEN	21	34	89	111	164	197	209	189	157	94	50	27	16	1359	105.6
95	direct:diffuus 1:1	19	31	81	101	150	179	189	171	141	85	45	25	15	1232	95.7
90	direct:diffuus 1:1	19	31	81	100	149	177	186	168	139	84	45	24	15	1218	94.6
85	direct:diffuus 1:1	19	31	80	99	147	176	183	166	137	82	45	24	15	1204	93.5
95	direct > 5W/m ²	18	30	78	98	144	173	183	166	137	84	44	24	14	1194	92.8
90	direct > 5W/m ²	18	29	75	94	138	164	174	158	131	81	43	23	14	1142	88.8
85	direct > 5W/m ²	17	28	72	91	132	156	166	150	124	78	41	23	13	1091	84.7
95	direct > 50W/m ²	19	30	80	100	146	175	184	167	139	84	45	24	15	1207	93.8
90	direct > 50W/m ²	18	30	78	97	141	168	177	160	134	82	44	24	14	1169	90.8
85	direct > 50W/m ²	18	30	76	95	137	162	170	154	129	80	43	24	14	1131	87.8

Bijlage 11 Gemiddelde kasluchttemperatuur tijdens daguren per periode voor komkommer, paprika en tomaat onder transparante lichtverstrooiende schermen met een Haze van 1.0, verschillende PAR-transmissie en diverse schermstrategieën, gebaseerd op berekeningen met KASPRO.

KASLUCHTTEMPERATUUR TIJDENS DAGUREN [°C]

PAR-transmissie	schermstrategie	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
paprika														
95	GEEN	20.3	19.8	21.3	21.7	23.1	24.1	25.2	25.9	24.8	22.9	21.0	21.6	21.5
90	GEEN	20.3	19.9	21.4	21.8	23.2	24.2	25.3	26.0	24.9	23.0	21.1	21.6	21.5
85	GEEN	20.3	19.9	21.4	21.9	23.3	24.4	25.4	26.2	25.0	23.0	21.2	21.6	21.5
95	direct:diffuus 1:1	20.3	19.8	21.5	22.0	23.5	24.9	26.4	27.2	25.7	23.4	21.2	21.8	21.5
90	direct:diffuus 1:1	20.3	19.8	21.5	22.0	23.5	24.8	26.3	27.1	25.7	23.4	21.2	21.8	21.5
85	direct:diffuus 1:1	20.3	19.8	21.5	22.0	23.5	24.8	26.2	27.1	25.6	23.4	21.2	21.8	21.5
95	direct > 5W/m ²	20.4	20.0	22.1	22.5	24.6	26.5	28.3	29.3	27.3	23.9	21.6	21.9	21.7
90	direct > 5W/m ²	20.4	20.0	22.0	22.4	24.5	26.3	28.1	29.0	27.1	23.8	21.6	21.9	21.7
85	direct > 5W/m ²	20.4	20.0	21.9	22.4	24.4	26.1	27.9	28.8	26.9	23.7	21.5	21.9	21.7
95	direct > 50W/m ²	20.3	20.0	21.7	22.2	24.2	25.9	27.8	28.7	26.6	23.6	21.5	21.8	21.6
90	direct > 50W/m ²	20.3	19.9	21.7	22.1	24.1	25.8	27.6	28.5	26.5	23.5	21.4	21.8	21.6
85	direct > 50W/m ²	20.3	19.9	21.6	22.1	24.0	25.6	27.4	28.3	26.3	23.5	21.4	21.8	21.6
tomaat														
95	GEEN	19.7	20.0	21.1	21.2	22.2	23.0	24.0	24.6	23.6	22.3	20.9	19.7	20.1
90	GEEN	19.7	20.0	21.1	21.3	22.3	23.1	24.0	24.7	23.7	22.3	21.0	19.8	20.1
85	GEEN	19.7	20.0	21.2	21.3	22.4	23.1	24.1	24.8	23.8	22.4	21.0	19.8	20.1
95	direct:diffuus 1:1	19.7	20.0	21.2	21.4	22.5	23.6	24.8	25.5	24.3	22.7	21.1	19.9	20.2
90	direct:diffuus 1:1	19.7	20.0	21.2	21.4	22.5	23.5	24.8	25.5	24.3	22.7	21.0	19.9	20.2
85	direct:diffuus 1:1	19.7	20.0	21.2	21.4	22.5	23.5	24.7	25.5	24.3	22.7	21.0	19.9	20.2
95	direct > 5W/m ²	20.2	20.3	21.5	21.8	23.4	24.8	26.3	27.1	25.6	23.1	21.3	20.2	20.7
90	direct > 5W/m ²	20.2	20.3	21.5	21.7	23.4	24.7	26.1	26.9	25.5	23.0	21.3	20.2	20.7
85	direct > 5W/m ²	20.2	20.3	21.4	21.7	23.3	24.6	26.0	26.8	25.4	23.0	21.3	20.2	20.7
95	direct > 50W/m ²	19.7	20.1	21.3	21.6	23.1	24.4	25.8	26.6	25.1	22.9	21.1	19.9	20.2
90	direct > 50W/m ²	19.7	20.1	21.3	21.6	23.1	24.3	25.7	26.6	25.0	22.8	21.1	19.9	20.2
85	direct > 50W/m ²	19.7	20.1	21.2	21.5	23.0	24.2	25.6	26.4	24.9	22.8	21.1	19.9	20.2
komkommer														
95	GEEN	20.8	20.2	21.4	21.7	23.8	23.3	23.7	25.3	24.8	23.4	21.4	16.1	19.9
90	GEEN	20.8	20.2	21.5	21.8	23.9	23.3	23.7	25.4	24.9	23.5	21.5	16.3	19.9
85	GEEN	20.8	20.2	21.6	21.8	23.9	23.4	23.8	25.4	25.0	23.5	21.5	16.5	20.0
95	direct:diffuus 1:1	20.9	20.2	21.6	22.0	24.1	23.9	24.6	26.3	25.6	23.9	21.7	17.2	19.9
90	direct:diffuus 1:1	20.9	20.2	21.6	21.9	24.1	23.9	24.5	26.2	25.6	23.9	21.6	17.2	19.9
85	direct:diffuus 1:1	20.9	20.2	21.6	21.9	24.1	23.8	24.5	26.2	25.6	23.8	21.6	17.1	19.9
95	direct > 5W/m ²	21.5	20.8	22.3	22.5	25.2	25.4	26.2	28.1	27.2	24.3	22.1	17.6	20.7
90	direct > 5W/m ²	21.5	20.8	22.2	22.4	25.1	25.3	26.1	28.0	27.1	24.2	22.1	17.5	20.7
85	direct > 5W/m ²	21.5	20.7	22.2	22.4	25.0	25.2	26.0	27.9	27.0	24.2	22.0	17.4	20.7
95	direct > 50W/m ²	20.9	20.3	21.8	22.2	24.8	24.8	25.7	27.6	26.5	24.0	21.7	17.1	20.0
90	direct > 50W/m ²	20.9	20.3	21.8	22.1	24.7	24.7	25.6	27.5	26.4	24.0	21.7	17.2	20.0
85	direct > 50W/m ²	20.9	20.3	21.8	22.1	24.7	24.7	25.5	27.4	26.3	23.9	21.7	17.1	20.0

Bijlage 12 Cumulatieve raamstand per periode voor komkommer, paprika en tomaat bij gebruik van transparante lichtverstrooiende schermen met een Haze van 1.0, verschillende PAR-transmissie en diverse schermstrategieën, gebaseerd op berekeningen met KASPRO.

		CUMULATIEVE RAAMSTAND [%h]												
PAR-transmissie	schermstrategie	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
paprika														
95	GEEN	0.0	0.1	1.7	3.5	9.0	14.8	22.3	25.8	18.0	7.8	1.6	0.1	0.0
90	GEEN	0.0	0.1	1.9	3.8	9.5	15.5	23.0	26.5	18.6	8.2	1.7	0.1	0.0
85	GEEN	0.0	0.1	2.0	4.1	10.0	16.1	23.6	27.2	19.2	8.6	1.8	0.1	0.0
95	direct:diffuus 1:1	0.0	0.1	2.2	4.6	10.7	17.5	25.9	28.9	21.3	10.1	1.9	0.1	0.0
90	direct:diffuus 1:1	0.0	0.1	2.1	4.6	10.7	17.4	25.8	28.8	21.2	10.0	1.9	0.1	0.0
85	direct:diffuus 1:1	0.0	0.1	2.1	4.5	10.6	17.3	25.6	28.7	21.1	9.9	1.8	0.1	0.0
95	direct > 5W/m ²	0.2	0.5	4.1	7.2	16.7	24.7	32.4	35.5	27.3	12.4	2.9	0.1	0.0
90	direct > 5W/m ²	0.2	0.5	3.8	6.9	16.3	24.1	32.0	35.1	26.9	12.1	2.8	0.1	0.0
85	direct > 5W/m ²	0.2	0.5	3.6	6.5	15.8	23.6	31.5	34.7	26.4	11.7	2.7	0.1	0.0
95	direct > 50W/m ²	0.0	0.1	3.4	5.9	14.4	21.3	29.4	32.1	24.2	11.2	2.6	0.1	0.0
90	direct > 50W/m ²	0.0	0.1	3.2	5.7	14.1	21.0	29.1	31.8	23.9	11.0	2.5	0.1	0.0
85	direct > 50W/m ²	0.0	0.1	3.0	5.5	13.9	20.7	28.8	31.5	23.7	10.7	2.4	0.1	0.0
tomaat														
95	GEEN	0.3	0.3	1.8	4.1	11.3	18.3	28.3	36.3	26.0	12.5	2.9	0.6	0.0
90	GEEN	0.3	0.3	1.9	4.4	11.8	19.0	28.9	36.8	26.5	13.0	3.0	0.6	0.0
85	GEEN	0.3	0.3	2.1	4.7	12.3	19.5	29.4	37.3	27.0	13.4	3.1	0.7	0.0
95	direct > 5W/m ²	0.6	0.5	3.2	7.4	19.4	28.6	38.3	44.7	34.7	17.2	4.1	0.9	0.1
90	direct > 5W/m ²	0.6	0.5	2.9	7.1	18.9	28.1	37.8	44.5	34.4	17.0	4.0	0.9	0.1
85	direct > 5W/m ²	0.6	0.5	2.7	6.8	18.4	27.5	37.4	44.2	34.1	16.7	3.9	0.9	0.1
95	direct > 50W/m ²	0.3	0.4	2.7	6.5	17.0	24.9	34.9	41.6	31.8	16.0	3.4	0.7	0.0
90	direct > 50W/m ²	0.3	0.4	2.5	6.3	16.7	24.6	34.6	41.4	31.6	15.8	3.4	0.7	0.0
85	direct > 50W/m ²	0.3	0.4	2.4	6.1	16.5	24.3	34.3	41.2	31.3	15.6	3.3	0.7	0.0
komkommer														
95	GEEN	0.0	0.1	1.5	3.2	10.2	18.4	27.1	33.8	22.8	7.2	1.6	0.0	0.0
90	GEEN	0.0	0.1	1.6	3.4	10.7	19.0	27.7	34.4	23.4	7.5	1.7	0.0	0.0
85	GEEN	0.0	0.1	1.7	3.6	11.2	19.6	28.2	35.0	24.0	7.8	1.8	0.0	0.0
95	direct:diffuus 1:1	0.0	0.1	1.7	3.9	12.2	21.2	30.7	36.4	26.2	9.1	1.7	0.0	0.0
90	direct:diffuus 1:1	0.0	0.1	1.7	3.9	12.2	21.1	30.6	36.3	26.0	9.0	1.7	0.0	0.0
85	direct:diffuus 1:1	0.0	0.1	1.7	3.8	12.1	21.1	30.5	36.2	25.9	8.9	1.7	0.0	0.0
95	direct > 5W/m ²	0.0	0.2	2.5	5.6	19.3	30.5	37.9	42.8	32.6	10.5	2.1	0.0	0.0
90	direct > 5W/m ²	0.0	0.2	2.4	5.2	18.9	30.0	37.6	42.5	32.2	10.3	2.1	0.0	0.0
85	direct > 5W/m ²	0.0	0.2	2.2	5.0	18.5	29.5	37.2	42.2	31.8	10.1	2.0	0.0	0.0
95	direct > 50W/m ²	0.0	0.1	2.2	4.8	16.2	25.3	34.0	38.9	28.7	9.7	1.8	0.0	0.0
90	direct > 50W/m ²	0.0	0.1	2.1	4.7	15.9	25.0	33.8	38.6	28.4	9.6	1.8	0.0	0.0
85	direct > 50W/m ²	0.0	0.1	2.0	4.6	15.7	24.8	33.6	38.4	28.1	9.5	1.8	0.0	0.0

Bijlage 13 Gasverbruik per periode en jaarrond voor komkommer, paprika en tomaat onder transparante lichtverstrooiende schermen met een Haze van 1.0, verschillende PAR-transmissie en diverse schermstrategieën, gebaseerd op berekeningen met KASPRO.

		GASVERBRUIK [m ³ /m ²]													jaar	%
PAR-transmissie	schermstrategie	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
paprika																
95	GEEN	6.1	5.5	4.5	3.8	2.3	1.8	1.5	1.1	1.7	2.3	3.7	2.1	6.0	42.4	100.9
90	GEEN	6.1	5.5	4.4	3.7	2.3	1.8	1.5	1.1	1.7	2.3	3.7	2.1	5.9	42.0	100.0
85	GEEN	6.0	5.5	4.4	3.7	2.3	1.8	1.5	1.1	1.6	2.3	3.6	2.0	5.9	41.7	99.2
95	direct:diffuus 1:1	6.0	5.4	4.4	3.6	2.3	1.8	1.5	1.1	1.7	2.3	3.6	2.0	5.8	41.4	98.6
90	direct:diffuus 1:1	6.0	5.4	4.4	3.7	2.3	1.8	1.5	1.1	1.7	2.3	3.6	2.0	5.8	41.5	98.7
85	direct:diffuus 1:1	6.0	5.4	4.4	3.7	2.3	1.8	1.5	1.2	1.7	2.3	3.6	2.0	5.8	41.5	98.8
95	direct > 5W/m ²	5.7	5.2	4.3	3.6	2.3	1.8	1.5	1.2	1.7	2.3	3.5	1.9	5.3	40.4	96.2
90	direct > 5W/m ²	5.7	5.2	4.3	3.6	2.3	1.9	1.6	1.2	1.7	2.3	3.5	1.9	5.4	40.6	96.5
85	direct > 5W/m ²	5.7	5.2	4.3	3.6	2.3	1.9	1.6	1.2	1.7	2.3	3.5	1.9	5.4	40.7	96.9
95	direct > 50W/m ²	5.9	5.4	4.4	3.7	2.3	1.8	1.5	1.1	1.7	2.3	3.6	2.0	5.7	41.2	98.1
90	direct > 50W/m ²	6.0	5.4	4.4	3.7	2.3	1.8	1.5	1.1	1.7	2.3	3.6	2.0	5.7	41.3	98.3
85	direct > 50W/m ²	6.0	5.4	4.4	3.7	2.3	1.8	1.5	1.1	1.7	2.3	3.6	2.0	5.7	41.4	98.5
tomaat																
95	GEEN	5.3	5.7	4.9	4.2	2.9	2.4	2.2	2.0	2.4	3.0	4.0	2.4	3.4	44.9	100.7
90	GEEN	5.3	5.7	4.8	4.2	2.9	2.4	2.2	2.0	2.4	3.0	4.0	2.4	3.4	44.6	100.0
85	GEEN	5.3	5.7	4.8	4.1	2.8	2.4	2.2	2.0	2.4	3.0	4.0	2.4	3.4	44.3	99.4
95	direct:diffuus 1:1	5.2	5.6	4.8	4.1	2.9	2.4	2.2	2.0	2.4	3.0	4.0	2.4	3.3	44.4	99.7
90	direct:diffuus 1:1	5.2	5.6	4.8	4.1	2.9	2.4	2.2	2.0	2.4	3.0	4.0	2.4	3.3	44.5	99.7
85	direct:diffuus 1:1	5.2	5.6	4.8	4.1	2.9	2.4	2.2	2.0	2.4	3.0	4.0	2.4	3.3	44.5	99.8
95	direct > 5W/m ²	5.1	5.5	4.8	4.2	3.0	2.6	2.4	2.2	2.5	3.1	4.1	2.4	3.2	45.2	101.5
90	direct > 5W/m ²	5.1	5.5	4.8	4.2	3.0	2.6	2.4	2.2	2.5	3.1	4.1	2.4	3.2	45.3	101.6
85	direct > 5W/m ²	5.1	5.6	4.8	4.2	3.0	2.6	2.4	2.2	2.5	3.1	4.1	2.4	3.2	45.4	101.8
95	direct > 50W/m ²	5.2	5.6	4.8	4.2	2.9	2.4	2.2	2.0	2.4	3.0	4.0	2.4	3.3	44.4	99.5
90	direct > 50W/m ²	5.2	5.6	4.8	4.2	2.9	2.4	2.2	2.0	2.4	3.0	4.0	2.4	3.3	44.4	99.6
85	direct > 50W/m ²	5.2	5.6	4.8	4.2	2.9	2.4	2.2	2.0	2.4	3.0	4.0	2.4	3.3	44.5	99.8
komkommer																
95	GEEN	6.3	6.2	5.3	4.6	2.5	2.3	2.3	1.8	2.2	3.1	4.4	0.1	3.6	44.6	100.7
90	GEEN	6.2	6.2	5.3	4.5	2.5	2.2	2.3	1.8	2.1	3.1	4.3	0.1	3.6	44.2	100.0
85	GEEN	6.2	6.1	5.2	4.5	2.5	2.2	2.3	1.8	2.1	3.1	4.3	0.1	3.6	43.9	99.3
95	direct:diffuus 1:1	6.1	6.1	5.1	4.3	2.5	2.3	2.3	1.8	2.2	3.1	4.3	0.1	3.5	43.7	98.8
90	direct:diffuus 1:1	6.1	6.1	5.1	4.3	2.5	2.3	2.3	1.8	2.2	3.1	4.3	0.1	3.5	43.7	98.8
85	direct:diffuus 1:1	6.1	6.1	5.1	4.3	2.5	2.3	2.3	1.8	2.2	3.1	4.3	0.1	3.5	43.7	98.9
95	direct > 5W/m ²	5.8	6.0	5.1	4.3	2.7	2.5	2.5	2.0	2.3	3.2	4.4	0.1	3.4	44.4	100.3
90	direct > 5W/m ²	5.8	6.0	5.1	4.3	2.7	2.6	2.5	2.0	2.4	3.2	4.4	0.1	3.4	44.5	100.6
85	direct > 5W/m ²	5.8	6.0	5.1	4.3	2.7	2.6	2.6	2.0	2.4	3.2	4.4	0.1	3.4	44.6	100.9
95	direct > 50W/m ²	6.0	6.1	5.1	4.3	2.6	2.3	2.3	1.8	2.2	3.1	4.3	0.1	3.5	43.6	98.7
90	direct > 50W/m ²	6.0	6.1	5.1	4.3	2.6	2.3	2.3	1.8	2.2	3.1	4.3	0.1	3.5	43.7	98.8
85	direct > 50W/m ²	6.0	6.1	5.1	4.3	2.6	2.3	2.3	1.8	2.2	3.1	4.3	0.1	3.5	43.8	99.0

Bijlage 14 Winterteelt van komkommer: Totale vruchtgroei (kg FM m⁻²) per periode van 7 dagen voor PAR 85, 90 en 95 en Haze 0.0, 0.3, 0.6, 0.8, 1.0

totale vruchtgroei (kg FM m ⁻²)		winterteelt, perioden van 7 dagen																		winter- teelt		
Periode:		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	totaal	
# dagen:		10	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	136
Cucumber	par85	cf0p0	0.00	0.00	0.07	0.30	0.02	0.03	0.32	0.63	0.83	0.75	1.68	1.92	1.37	2.08	2.25	2.26	1.70	2.22	1.85	20.29
Cucumber	par85	cf0p3	0.00	0.00	0.07	0.29	0.02	0.03	0.32	0.63	0.84	0.76	1.60	1.76	1.60	2.24	2.19	2.22	2.08	2.50	2.01	21.19
Cucumber	par85	cf0p6	0.00	0.00	0.07	0.29	0.02	0.03	0.31	0.59	0.76	0.79	1.63	1.85	1.51	2.27	2.22	2.28	2.45	2.21	1.60	20.89
Cucumber	par85	cf0p8	0.00	0.00	0.07	0.29	0.02	0.03	0.31	0.56	0.77	0.80	1.52	1.83	1.55	2.26	2.35	2.21	2.14	2.15	1.80	20.67
Cucumber	par85	cf1p0	0.00	0.00	0.07	0.30	0.02	0.03	0.34	0.67	0.96	0.84	1.75	1.87	1.45	2.38	2.42	2.24	2.35	2.54	1.99	22.23
Cucumber	par90	cf0p0	0.00	0.00	0.08	0.31	0.02	0.03	0.35	0.68	0.82	0.74	1.70	2.19	1.58	2.29	2.13	2.39	2.29	2.28	1.90	21.77
Cucumber	par90	cf0p3	0.00	0.00	0.08	0.31	0.02	0.03	0.35	0.68	0.82	0.74	1.72	2.21	1.66	2.13	2.27	2.45	2.37	2.46	2.00	22.29
Cucumber	par90	cf0p6	0.00	0.00	0.08	0.31	0.02	0.03	0.34	0.61	0.93	0.92	1.89	1.94	1.47	1.96	2.07	2.51	2.49	2.49	1.81	21.88
Cucumber	par90	cf0p8	0.00	0.00	0.08	0.31	0.02	0.03	0.34	0.66	0.86	0.73	1.49	1.89	1.61	2.50	2.38	2.15	1.78	2.51	1.92	21.25
Cucumber	par90	cf1p0	0.00	0.00	0.08	0.31	0.02	0.04	0.33	0.62	0.79	0.84	1.73	2.00	1.64	2.47	2.38	2.30	2.38	2.49	2.02	22.42
Cucumber	par95	cf0p0	0.00	0.00	0.08	0.32	0.01	0.04	0.42	0.81	1.03	0.83	1.80	1.90	1.53	2.64	2.50	2.47	2.29	2.57	1.85	23.09
Cucumber	par95	cf0p3	0.00	0.00	0.08	0.32	0.01	0.05	0.42	0.81	1.04	0.84	1.73	1.86	1.47	2.23	2.16	2.46	2.49	2.66	2.00	22.63
Cucumber	par95	cf0p6	0.00	0.00	0.08	0.32	0.01	0.04	0.42	0.82	1.07	0.90	1.79	1.90	1.73	2.25	2.20	2.49	2.60	2.58	1.87	23.09
Cucumber	par95	cf0p8	0.00	0.00	0.08	0.32	0.01	0.05	0.44	0.86	1.10	0.76	1.77	1.97	1.52	2.15	2.34	2.64	2.60	2.75	2.06	23.41
Cucumber	par95	cf1p0	0.00	0.00	0.08	0.32	0.01	0.05	0.43	0.82	0.90	0.78	1.58	2.24	1.72	2.56	2.46	2.44	2.43	2.57	2.07	23.48
Percentage t.o.v. Referentie = par90, cf0p0																						winter- teelt
Periode:		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	totaal	
# dagen:		10	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	136
Cucumber	par85	cf0p0	#DIV/0!	100.2%	97.0%	97.2%	101.1%	100.7%	90.1%	93.9%	100.7%	101.3%	98.9%	87.8%	86.5%	90.8%	105.8%	94.6%	74.3%	97.6%	97.5%	93.2%
Cucumber	par85	cf0p3	#DIV/0!	100.4%	93.9%	96.1%	101.1%	100.5%	90.9%	93.5%	101.3%	103.3%	94.2%	80.4%	101.6%	97.8%	102.8%	93.1%	91.0%	110.0%	106.0%	97.3%
Cucumber	par85	cf0p6	#DIV/0!	100.4%	93.9%	96.0%	101.1%	100.4%	88.9%	87.5%	92.5%	106.8%	95.7%	84.8%	95.7%	99.1%	104.1%	95.3%	106.8%	97.0%	84.5%	96.0%
Cucumber	par85	cf0p8	#DIV/0!	100.4%	93.9%	96.1%	101.1%	94.6%	88.8%	82.7%	93.3%	108.2%	89.4%	83.7%	98.0%	98.7%	110.5%	92.6%	93.2%	94.4%	95.1%	95.0%
Cucumber	par85	cf1p0	#DIV/0!	100.4%	93.9%	96.1%	101.1%	100.6%	95.4%	99.7%	116.0%	114.6%	103.0%	85.3%	92.1%	103.9%	113.6%	93.7%	102.6%	111.7%	105.0%	102.1%
Cucumber	par90	cf0p0	#DIV/0!	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
Cucumber	par90	cf0p3	#DIV/0!	100.0%	100.0%	99.9%	100.0%	99.9%	100.0%	99.9%	99.8%	100.3%	100.8%	101.2%	105.2%	93.1%	106.5%	102.5%	103.4%	108.0%	105.2%	102.4%
Cucumber	par90	cf0p6	#DIV/0!	100.0%	100.0%	99.9%	100.0%	99.8%	95.3%	91.0%	112.2%	124.3%	111.2%	88.7%	93.3%	85.9%	97.4%	105.1%	108.7%	109.4%	95.6%	100.5%
Cucumber	par90	cf0p8	#DIV/0!	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	99.8%	95.3%	98.2%	104.7%	99.5%	87.3%	86.4%	102.0%	109.2%	111.5%	90.2%	77.5%	110.0%	101.0%	97.6%
Cucumber	par90	cf1p0	#DIV/0!	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	104.4%	94.1%	91.1%	95.3%	114.3%	101.3%	91.4%	103.7%	107.9%	111.8%	96.3%	103.9%	109.4%	106.3%	103.0%
Cucumber	par95	cf0p0	#DIV/0!	99.8%	105.7%	104.9%	64.3%	128.2%	117.9%	119.7%	125.2%	112.8%	105.5%	86.8%	96.9%	115.5%	117.3%	103.3%	100.0%	112.8%	97.5%	106.1%
Cucumber	par95	cf0p3	#DIV/0!	99.8%	105.6%	104.9%	64.3%	133.3%	117.9%	120.1%	126.1%	114.1%	101.9%	85.2%	92.8%	97.6%	101.5%	103.2%	108.5%	116.6%	105.3%	103.9%
Cucumber	par95	cf0p6	#DIV/0!	99.8%	105.7%	105.7%	64.3%	127.8%	118.6%	121.3%	129.8%	122.4%	104.9%	87.0%	109.6%	98.2%	103.5%	104.3%	113.5%	113.4%	98.5%	106.1%
Cucumber	par95	cf0p8	#DIV/0!	99.8%	105.7%	104.9%	64.5%	137.5%	124.4%	127.1%	132.9%	103.0%	103.8%	89.9%	96.4%	93.8%	110.1%	110.4%	113.5%	120.9%	108.4%	107.5%
Cucumber	par95	cf1p0	#DIV/0!	99.8%	105.7%	104.9%	64.5%	137.5%	121.8%	121.8%	109.4%	105.3%	92.7%	102.6%	108.8%	112.1%	115.6%	102.3%	106.2%	112.9%	109.3%	107.9%

Bijlage 15 Voorjaarsteelt van komkommer: Totale vruchtgroei (kg FM m⁻²) per periode van 7 dagen voor PAR 85, 90 en 95 en Haze 0.0, 0.3, 0.6, 0.8, 1.0

totale vruchtgroei (kg FM m-2)																
		voorjaarsteelt, perioden van 7 dagen														voorjaars- teelt
		Periode:	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	totaal
		# dagen:	8	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	92
Cucumber	par85	cf0p0	0.07	1.61	3.53	3.74	2.43	3.29	4.24	3.69	2.89	3.79	3.24	3.37	2.87	38.75
Cucumber	par85	cf0p3	0.07	1.61	3.57	3.80	2.74	3.29	4.14	3.72	2.50	3.43	3.65	3.47	2.90	38.89
Cucumber	par85	cf0p6	0.07	1.61	3.59	3.89	3.13	3.15	4.20	4.10	2.92	3.79	3.59	3.26	3.12	40.42
Cucumber	par85	cf0p8	0.07	1.61	3.60	3.91	2.97	3.19	4.14	4.00	2.87	3.64	3.45	3.59	2.91	39.96
Cucumber	par85	cf1p0	0.07	1.60	3.60	3.92	2.97	3.19	4.00	3.77	2.85	4.20	3.53	3.40	3.14	40.23
Cucumber	par90	cf0p0	0.08	1.67	3.68	3.80	2.73	3.23	4.19	3.91	2.74	3.78	3.65	3.22	3.02	39.69
Cucumber	par90	cf0p3	0.08	1.67	3.74	4.24	2.94	3.55	4.34	3.76	2.66	3.66	3.80	3.27	2.89	40.61
Cucumber	par90	cf0p6	0.08	1.66	3.66	3.90	2.89	3.29	4.15	4.10	3.06	3.68	3.79	3.56	3.31	41.14
Cucumber	par90	cf0p8	0.08	1.66	3.67	3.92	2.88	3.38	4.06	3.99	2.96	4.22	3.54	3.37	3.03	40.75
Cucumber	par90	cf1p0	0.07	1.66	3.71	4.08	3.07	3.30	4.47	4.03	2.98	4.05	3.48	3.81	3.32	42.02
Cucumber	par95	cf0p0	0.08	1.66	3.68	4.09	3.26	3.54	4.41	3.99	2.95	4.28	3.86	3.31	3.04	42.17
Cucumber	par95	cf0p3	0.06	1.28	3.81	4.08	2.73	3.36	4.69	4.23	3.17	3.42	3.69	3.70	3.46	41.68
Cucumber	par95	cf0p6	0.06	1.28	3.76	4.32	3.35	3.03	3.99	4.53	3.21	4.25	3.67	3.89	3.46	42.79
Cucumber	par95	cf0p8	0.06	1.14	3.78	4.43	3.12	3.69	4.49	4.00	3.25	4.43	3.83	3.75	3.34	43.32
Cucumber	par95	cf1p0	0.08	1.71	3.82	4.27	2.96	3.16	4.42	4.46	3.15	3.55	3.77	3.77	3.09	42.21
Percentage t.o.v. Referentie = par90, cf0p0																
		voorjaarsteelt, perioden van 7 dagen														voorjaars- teelt
		Periode:	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	totaal
		# dagen:	8	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	92
Cucumber	par85	cf0p0	95.6%	96.2%	96.0%	98.3%	89.0%	101.9%	101.2%	94.5%	105.3%	100.3%	88.9%	104.5%	95.1%	97.7%
Cucumber	par85	cf0p3	95.6%	96.6%	97.1%	100.0%	100.4%	101.8%	98.8%	95.1%	91.1%	90.8%	100.2%	107.8%	96.0%	98.0%
Cucumber	par85	cf0p6	95.6%	96.4%	97.7%	102.2%	114.5%	97.6%	100.3%	104.9%	106.7%	100.2%	98.5%	101.1%	103.3%	101.8%
Cucumber	par85	cf0p8	95.6%	96.4%	97.9%	102.9%	108.7%	98.8%	98.8%	102.3%	104.8%	96.4%	94.7%	111.4%	96.6%	100.7%
Cucumber	par85	cf1p0	95.6%	95.9%	97.9%	103.0%	108.7%	98.7%	95.4%	96.4%	104.1%	111.0%	96.8%	105.6%	104.0%	101.4%
Cucumber	par90	cf0p0	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
Cucumber	par90	cf0p3	100.0%	100.2%	101.6%	111.5%	107.6%	109.9%	103.5%	96.4%	97.2%	96.9%	104.4%	101.6%	95.7%	102.3%
Cucumber	par90	cf0p6	100.0%	99.7%	99.6%	102.6%	106.0%	101.8%	99.0%	104.9%	111.7%	103.9%	97.4%	110.5%	109.8%	103.7%
Cucumber	par90	cf0p8	100.0%	99.8%	99.7%	103.1%	105.6%	104.5%	96.8%	102.1%	108.0%	111.6%	97.1%	104.5%	100.6%	102.7%
Cucumber	par90	cf1p0	97.7%	99.4%	101.0%	107.3%	112.3%	102.1%	106.6%	103.2%	108.9%	107.0%	95.4%	118.2%	109.9%	105.9%
Cucumber	par95	cf0p0	104.1%	99.7%	100.0%	107.7%	119.3%	109.6%	105.3%	102.2%	107.5%	113.3%	106.0%	102.9%	100.9%	106.3%
Cucumber	par95	cf0p3	76.7%	76.7%	103.7%	107.2%	100.1%	103.8%	112.0%	108.4%	115.6%	90.5%	101.2%	114.8%	114.6%	105.0%
Cucumber	par95	cf0p6	76.7%	76.5%	102.3%	113.6%	122.6%	93.9%	95.3%	115.9%	117.2%	112.4%	100.6%	120.7%	114.8%	107.8%
Cucumber	par95	cf0p8	74.3%	68.4%	102.9%	116.5%	114.2%	114.2%	107.2%	102.5%	118.8%	117.0%	105.1%	116.5%	110.7%	109.1%
Cucumber	par95	cf1p0	104.2%	102.8%	103.9%	112.3%	108.3%	97.7%	105.4%	114.2%	115.1%	93.9%	103.3%	117.1%	102.3%	106.4%

Bijlage 16 Najaarsteelt van komkommer: Totale vruchtgroei (kg FM m⁻²) per periode van 7 dagen voor PAR 85, 90 en 95 en Haze 0.0, 0.3, 0.6, 0.8, 1.0

totale vruchtgroei (kg FM m-2)		najaarsteelt, perioden van 7 dagen															najaars- teelt
		Periode:	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	totaal
		# dagen:	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	97
Cucumber	par85	cf0p0	0.00	0.04	1.03	3.00	3.04	2.06	2.44	2.27	2.11	1.56	1.55	1.19	0.87	0.87	22.04
Cucumber	par85	cf0p3	0.00	0.04	1.02	3.09	3.08	2.17	2.69	2.41	2.01	1.55	1.44	1.00	0.80	0.91	22.20
Cucumber	par85	cf0p6	0.00	0.04	1.01	3.14	3.09	2.07	2.58	2.16	2.09	1.58	1.29	1.05	0.82	0.95	21.89
Cucumber	par85	cf0p8	0.00	0.04	0.96	3.06	3.22	2.04	2.72	2.39	2.05	1.53	1.27	1.04	0.83	0.91	22.08
Cucumber	par85	cf1p0	0.00	0.04	0.96	3.06	3.13	2.18	2.57	2.41	2.02	1.49	1.48	1.16	0.90	0.96	22.37
Cucumber	par90	cf0p0	0.00	0.04	1.16	3.14	3.03	1.99	2.91	2.40	1.92	1.63	1.53	1.08	0.86	0.89	22.58
Cucumber	par90	cf0p3	0.00	0.04	1.15	3.01	3.08	2.12	2.98	2.57	1.92	1.68	1.59	1.14	0.86	0.99	23.15
Cucumber	par90	cf0p6	0.00	0.04	1.13	3.15	3.05	1.94	2.83	2.44	2.10	1.52	1.29	1.13	0.89	1.01	22.53
Cucumber	par90	cf0p8	0.00	0.04	1.13	3.14	3.06	2.04	3.03	2.62	2.10	1.63	1.43	1.13	0.88	0.91	23.16
Cucumber	par90	cf1p0	0.00	0.04	1.12	3.15	3.15	2.24	2.91	2.36	2.00	1.71	1.56	1.11	0.92	1.01	23.30
Cucumber	par95	cf0p0	0.00	0.05	1.17	3.27	3.23	2.43	2.95	2.47	2.09	1.65	1.55	1.21	0.87	1.04	23.98
Cucumber	par95	cf0p3	0.00	0.04	1.15	3.29	3.36	2.38	2.86	2.52	2.06	1.70	1.46	1.18	0.92	1.02	23.96
Cucumber	par95	cf0p6	0.00	0.04	1.15	3.33	3.13	2.27	3.09	2.51	2.30	1.73	1.51	1.22	0.93	1.05	24.26
Cucumber	par95	cf0p8	0.00	0.04	1.13	3.38	3.43	2.39	3.15	2.64	2.37	1.75	1.55	1.17	0.91	1.01	24.93
Cucumber	par95	cf1p0	0.00	0.04	1.12	3.45	3.23	2.06	3.04	2.59	2.16	1.61	1.33	1.11	0.95	1.03	23.74
Percentage t.o.v. Referentie = par90, cf0p0		najaarsteelt, perioden van 7 dagen															najaars- teelt
		Periode:	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	totaal
		# dagen:	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	97
Cucumber	par85	cf0p0	#DIV/0!	101.0%	89.0%	95.6%	100.2%	103.3%	83.8%	94.2%	110.3%	96.0%	101.3%	110.6%	101.4%	98.5%	97.6%
Cucumber	par85	cf0p3	#DIV/0!	100.8%	88.0%	98.5%	101.5%	108.6%	92.4%	100.2%	104.8%	95.1%	93.9%	92.9%	92.6%	102.5%	98.3%
Cucumber	par85	cf0p6	#DIV/0!	100.6%	87.3%	100.1%	101.8%	103.9%	88.7%	90.0%	109.0%	97.2%	84.0%	98.0%	95.6%	107.1%	96.9%
Cucumber	par85	cf0p8	#DIV/0!	97.3%	83.2%	97.5%	106.3%	102.1%	93.4%	99.3%	107.2%	94.0%	83.2%	96.5%	96.8%	103.1%	97.8%
Cucumber	par85	cf1p0	#DIV/0!	97.3%	83.0%	97.5%	103.2%	109.4%	88.2%	100.4%	105.5%	91.7%	96.5%	107.8%	104.6%	108.3%	99.1%
Cucumber	par90	cf0p0	#DIV/0!	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
Cucumber	par90	cf0p3	#DIV/0!	99.7%	99.1%	96.0%	101.7%	106.2%	102.5%	106.9%	100.3%	103.0%	104.0%	106.2%	100.5%	111.5%	102.5%
Cucumber	par90	cf0p6	#DIV/0!	99.5%	98.0%	100.3%	100.5%	97.4%	97.3%	101.3%	109.5%	93.6%	84.2%	105.0%	103.9%	114.0%	99.8%
Cucumber	par90	cf0p8	#DIV/0!	99.5%	97.5%	100.1%	100.8%	102.3%	104.2%	109.2%	109.4%	100.3%	93.5%	105.3%	102.7%	102.5%	102.6%
Cucumber	par90	cf1p0	#DIV/0!	99.5%	97.2%	100.5%	103.8%	112.4%	99.9%	98.3%	104.2%	104.8%	102.2%	103.3%	107.1%	114.5%	103.2%
Cucumber	par95	cf0p0	#DIV/0!	102.4%	100.9%	104.2%	106.5%	121.9%	101.4%	102.6%	109.1%	101.6%	101.0%	112.7%	101.7%	117.2%	106.2%
Cucumber	par95	cf0p3	#DIV/0!	98.7%	99.4%	104.9%	110.9%	119.3%	98.1%	104.9%	107.6%	104.4%	95.4%	110.1%	107.3%	115.2%	106.1%
Cucumber	par95	cf0p6	#DIV/0!	98.5%	99.0%	106.1%	103.1%	113.8%	106.2%	104.4%	119.8%	106.3%	98.6%	113.1%	108.5%	118.6%	107.4%
Cucumber	par95	cf0p8	#DIV/0!	98.4%	98.0%	107.8%	113.2%	119.8%	108.3%	109.9%	123.4%	107.5%	101.4%	108.6%	105.8%	113.6%	110.4%
Cucumber	par95	cf1p0	#DIV/0!	98.4%	97.0%	109.9%	106.6%	103.6%	104.5%	107.5%	112.9%	99.0%	86.7%	103.6%	110.3%	116.3%	105.1%

Bijlage 17 Teelt van paprika: Totale vruchtgroei (kg FM m⁻²) per periode van 28 dagen voor PAR 85, 90 en 95 en Haze 0.0, 0.3, 0.6, 0.8, 1.0

totale vruchtgroei (kg FM m ⁻²)																	vanaf 21	vanaf 1	vanaf 1	winter	zomer	
																	nov t/m	mei t/m	okt t/m			
																	30 apr	30 sept	6 nov			
perioden van 4 weken, 0 ^e periode tot en met 31 december																						
																	12					
																	0	161	153	37	198	
																	12	30	0	161	153	
																	0	41	28	28	28	
																	1	28	28	28	28	
																	2	28	28	28	28	
																	3	28	28	28	28	
																	4	28	28	28	28	
																	5	28	28	28	28	
																	6	28	28	28	28	
																	7	28	28	28	28	
																	8	28	28	28	28	
																	9	28	28	28	28	
																	10	28	28	28	28	
																	11	30	0	161	153	
																	12	0	161	153	37	
																	0	161	153	37	198	
																	161	153	37	198	153	
Sweet Pepper	par85	cf0p0	31.14		0.21	0.12	0.69	2.87	3.62	5.04	5.76	4.44	3.52	3.28	1.36	0.23		8.58	22.27	0.29	8.87	22.27
Sweet Pepper	par85	cf0p3	31.70	1.8%	0.21	0.12	0.64	2.80	3.68	4.97	5.81	4.77	3.72	3.43	1.30	0.25		8.55	22.84	0.31	8.87	22.84
Sweet Pepper	par85	cf0p6	32.31	3.7%	0.21	0.12	0.64	2.89	3.71	5.01	6.02	4.79	3.83	3.49	1.35	0.25		8.65	23.36	0.30	8.95	23.36
Sweet Pepper	par85	cf0p8	32.17	3.3%	0.21	0.13	0.69	2.87	3.60	5.00	6.04	4.78	3.74	3.48	1.39	0.24		8.58	23.29	0.29	8.87	23.29
Sweet Pepper	par85	cf1p0	32.59	4.7%	0.20	0.13	0.69	2.87	3.64	5.12	5.90	5.02	3.80	3.59	1.37	0.26		8.66	23.62	0.30	8.97	23.62
Sweet Pepper	par90	cf0p0	33.13		0.22	0.24	0.88	2.87	3.87	5.27	5.94	4.92	3.72	3.53	1.41	0.27		9.24	23.52	0.37	9.61	23.52
Sweet Pepper	par90	cf0p3	33.34	0.6%	0.22	0.24	0.88	2.90	3.93	5.02	6.01	4.98	3.83	3.60	1.48	0.26		9.29	23.71	0.34	9.63	23.71
Sweet Pepper	par90	cf0p6	34.97	5.5%	0.22	0.24	0.88	3.04	4.08	5.30	6.17	5.19	4.17	3.73	1.65	0.30		9.58	24.99	0.40	9.98	24.99
Sweet Pepper	par90	cf0p8	34.76	4.9%	0.22	0.24	0.88	3.04	4.02	5.20	6.17	5.20	4.12	3.83	1.53	0.30		9.54	24.83	0.39	9.93	24.83
Sweet Pepper	par90	cf1p0	34.50	4.1%	0.22	0.24	0.88	3.05	3.95	5.15	6.32	4.86	4.20	3.78	1.54	0.30		9.48	24.64	0.38	9.85	24.64
Sweet Pepper	par95	cf0p0	34.08		0.23	0.25	0.74	3.15	4.04	5.08	6.23	4.92	3.94	3.65	1.54	0.30		9.56	24.10	0.41	9.98	24.10
Sweet Pepper	par95	cf0p3	34.53	1.3%	0.23	0.25	0.72	3.07	4.02	5.25	6.28	5.02	4.01	3.78	1.60	0.30		9.48	24.65	0.39	9.87	24.65
Sweet Pepper	par95	cf0p6	34.93	2.5%	0.23	0.25	0.72	3.06	4.05	5.27	6.27	5.11	4.15	3.83	1.69	0.31		9.50	25.02	0.41	9.91	25.02
Sweet Pepper	par95	cf0p8	35.39	3.8%	0.23	0.25	0.72	3.08	4.24	5.18	6.39	5.35	4.11	3.92	1.59	0.32		9.66	25.31	0.42	10.08	25.31
Sweet Pepper	par95	cf1p0	35.35	3.7%	0.23	0.25	0.72	3.11	4.13	5.20	6.47	5.24	4.23	3.86	1.57	0.32		9.64	25.29	0.42	10.06	25.29

totale vruchtgroei (kg FM m ⁻²)																	vanaf 21	vanaf 1	vanaf 1	winter	zomer	
																	nov t/m	mei t/m	okt t/m			
																	30 apr	30 sept	6 nov			
Percentage t.o.v. Referentie = par90, cf0p0																						
																	12					
																	0	161	153	37	198	
																	12	30	0	161	153	
																	0	41	28	28	28	
																	1	28	28	28	28	
																	2	28	28	28	28	
																	3	28	28	28	28	
																	4	28	28	28	28	
																	5	28	28	28	28	
																	6	28	28	28	28	
																	7	28	28	28	28	
																	8	28	28	28	28	
																	9	28	28	28	28	
																	10	28	28	28	28	
																	11	30	0	161	153	
																	12	0	161	153	37	
																	0	161	153	37	198	
																	161	153	37	198	153	
Sweet Pepper	par85	cf0p0	94.0%		94.7%	51.2%	78.4%	99.9%	93.7%	95.5%	96.9%	90.3%	94.6%	93.2%	96.9%	83.3%		92.9%	94.7%	78.2%	92.3%	94.7%
Sweet Pepper	par85	cf0p3	95.7%		94.7%	51.7%	72.9%	97.4%	95.2%	94.2%	97.8%	96.9%	100.2%	97.2%	92.3%	93.6%		92.6%	97.1%	84.5%	92.3%	97.1%
Sweet Pepper	par85	cf0p6	97.5%		94.2%	51.7%	73.1%	100.7%	95.9%	95.0%	101.3%	97.4%	103.0%	98.9%	96.0%	91.0%		93.6%	99.3%	81.4%	93.1%	99.3%
Sweet Pepper	par85	cf0p8	97.1%		93.7%	52.2%	79.0%	100.0%	93.0%	94.7%	101.6%	97.2%	100.6%	98.7%	99.1%	90.1%		92.9%	99.0%	79.5%	92.3%	99.0%
Sweet Pepper	par85	cf1p0	98.4%		92.6%	52.7%	78.9%	100.0%	94.2%	97.1%	99.3%	102.0%	102.2%	101.8%	97.1%	94.4%		93.7%	100.4%	82.6%	93.3%	100.4%
Sweet Pepper	par90	cf0p0	100.0%		100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%		100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
Sweet Pepper	par90	cf0p3	100.6%		100.0%	101.0%	100.3%	100.9%	101.5%	95.1%	101.1%	101.4%	103.0%	102.0%	104.9%	96.1%		100.5%	100.8%	91.2%	100.2%	100.8%
Sweet Pepper	par90	cf0p6	105.5%		100.0%	101.0%	100.4%	105.8%	105.5%	100.4%	103.8%	105.5%	112.3%	105.8%	117.4%	110.7%		103.7%	106.2%	107.3%	103.8%	106.2%
Sweet Pepper	par90	cf0p8	104.9%		98.9%	101.0%	100.4%	106.0%	103.9%	98.6%	103.8%	105.8%	110.9%	108.7%	108.5%	111.2%		103.3%	105.5%	104.7%	103.3%	105.5%
Sweet Pepper	par90	cf1p0	104.1%		97.9%	101.0%	100.4%	106.2%	102.1%	97.6%	106.4%	98.8%	112.9%	107.4%	109.6%	110.3%		102.5%	104.8%	102.5%	102.5%	104.8%
Sweet Pepper	par95	cf0p0	102.9%		106.9%	104.3%	84.2%	109.6%	104.6%	96.3%	104.8%	100.0%	106.0%	103.5%	109.7%	112.0%		103.5%	102.5%	112.3%	103.8%	102.5%
Sweet Pepper	par95	cf0p3	104.2%		106.3%	104.3%	81.8%	107.0%	104.0%	99.4%	105.6%	102.0%	108.0%	107.3%	113.4%	110.3%		102.6%	104.8%	106.3%	102.7%	104.8%
Sweet Pepper	par95	cf0p6	105.4%		104.8%	104.8%	82.1%	106.4%	104.7%	99.9%	105.4%	103.9%	111.6%	108.6%	120.0%	114.2%		102.8%	106.4%	111.0%	103.1%	106.4%
Sweet Pepper	par95	cf0p8	106.8%		104.8%	104.8%	82.1%	107.2%	109.6%	98.1%	107.6%	108.8%	110.7%	111.2%	113.1%	119.3%		104.5%	107.6%	112.9%	104.9%	107.6%
Sweet Pepper	par95	cf1p0	106.7%		106.3%	105.3%	82.4%	108.2%	106.7%	98.7%	108.9%	106.6%	113.9%	109.5%	111.4%	119.3%		104.3%	107.5%	113.9%	104.7%	107.5%

Bijlage 18 Teelt van tomaat: Totale vruchtgroei (kg FM m⁻²) per periode van 28 dagen voor PAR 85, 90 en 95 en Haze 0.0, 0.3, 0.6, 0.8, 1.0

totale vruchtgroei (kg FM m ⁻²)			perioden van 4 weken, 0 ^e periode tot en met 31 december													vanaf 12 dec t/m 30 apr	vanaf 1 mei t/m 30 sept	vanaf 1 okt t/m 20 nov	winter	zomer	
			Periode:	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12					
Totaal			# dagen:	20	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	16	140	153	51	191	153
Tomato	par85	cf0p0	78.40	0.00	0.10	1.95	7.85	8.79	10.50	11.31	9.97	8.53	8.02	5.95	3.92	1.51	21.27	50.61	6.52	27.79	50.61
Tomato	par85	cf0p3	79.47	1.4%	0.00	1.96	7.92	8.91	10.57	11.50	10.19	8.70	8.15	6.03	3.94	1.51	21.49	51.43	6.55	28.04	51.43
Tomato	par85	cf0p6	80.22	2.3%	0.00	1.96	7.97	8.97	10.62	11.63	10.35	8.81	8.25	6.10	3.95	1.52	21.63	52.01	6.58	28.21	52.01
Tomato	par85	cf0p8	80.49	2.7%	0.00	1.96	8.00	9.00	10.63	11.67	10.41	8.85	8.28	6.12	3.96	1.52	21.68	52.22	6.59	28.27	52.22
Tomato	par85	cf1p0	80.61	2.8%	0.00	1.96	8.01	9.02	10.64	11.69	10.45	8.86	8.29	6.12	3.95	1.52	21.71	52.31	6.58	28.29	52.31
Tomato	par90	cf0p0	81.63	0.00	0.10	2.10	8.17	9.21	10.87	11.76	10.36	8.84	8.33	6.21	4.10	1.58	22.31	52.47	6.85	29.16	52.47
Tomato	par90	cf0p3	82.79	1.4%	0.00	2.10	8.24	9.33	10.94	11.96	10.62	9.00	8.48	6.29	4.13	1.60	22.52	53.38	6.89	29.41	53.38
Tomato	par90	cf0p6	83.59	2.4%	0.00	2.09	8.30	9.42	10.98	12.10	10.79	9.13	8.58	6.35	4.15	1.61	22.68	54.00	6.92	29.59	54.00
Tomato	par90	cf0p8	83.90	2.8%	0.00	2.09	8.33	9.45	11.00	12.15	10.86	9.17	8.62	6.37	4.15	1.61	22.74	54.24	6.92	29.67	54.24
Tomato	par90	cf1p0	84.02	2.9%	0.00	2.09	8.34	9.47	11.01	12.18	10.88	9.19	8.65	6.37	4.14	1.61	22.76	54.34	6.92	29.68	54.34
Tomato	par95	cf0p0	84.70	0.00	0.10	2.22	8.48	9.62	11.21	12.19	10.74	9.15	8.61	6.42	4.29	1.67	23.30	54.23	7.18	30.47	54.23
Tomato	par95	cf0p3	85.97	1.5%	0.00	2.23	8.56	9.75	11.28	12.42	11.02	9.33	8.77	6.51	4.32	1.68	23.54	55.22	7.21	30.75	55.22
Tomato	par95	cf0p6	86.80	2.5%	0.00	2.23	8.62	9.84	11.32	12.52	11.25	9.43	8.89	6.56	4.34	1.69	23.70	55.85	7.24	30.94	55.85
Tomato	par95	cf0p8	87.16	2.9%	0.00	2.24	8.65	9.88	11.34	12.52	11.39	9.48	8.93	6.59	4.35	1.70	23.78	56.12	7.26	31.05	56.12
Tomato	par95	cf1p0	87.30	3.1%	0.00	2.23	8.66	9.90	11.35	12.52	11.45	9.49	8.94	6.60	4.35	1.70	23.81	56.22	7.26	31.07	56.22
totale vruchtgroei (kg FM m ⁻²)			Percentage t.o.v. Referentie = par90, cf0p0													vanaf 12 dec t/m 30 apr	vanaf 1 mei t/m 30 sept	vanaf 1 okt t/m 20 nov	winter	zomer	
			Periode:	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12					
Totaal			# dagen:	20	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	16	140	153	51	191	153
Tomato	par85	cf0p0	96.1%	#DIV/0!	100.0%	92.8%	96.0%	95.5%	96.6%	96.2%	96.3%	96.6%	96.2%	95.9%	95.5%	95.1%	95.3%	96.5%	95.2%	95.3%	96.5%
Tomato	par85	cf0p3	97.4%	#DIV/0!	100.0%	93.4%	96.9%	96.7%	97.3%	97.8%	98.4%	98.4%	97.8%	97.2%	96.0%	95.5%	96.3%	98.0%	95.6%	96.2%	98.0%
Tomato	par85	cf0p6	98.3%	#DIV/0!	100.0%	93.6%	97.6%	97.5%	97.7%	98.9%	99.9%	99.7%	99.0%	98.3%	96.2%	96.0%	96.9%	99.1%	96.1%	96.8%	99.1%
Tomato	par85	cf0p8	98.6%	#DIV/0!	100.0%	93.5%	97.8%	97.8%	97.8%	99.2%	100.5%	100.1%	99.3%	98.6%	96.5%	95.8%	97.2%	99.5%	96.2%	97.0%	99.5%
Tomato	par85	cf1p0	98.8%	#DIV/0!	100.0%	93.3%	98.0%	98.0%	97.9%	99.4%	101.0%	100.2%	99.5%	98.6%	96.4%	95.8%	97.3%	99.7%	96.1%	97.0%	99.7%
Tomato	par90	cf0p0	100.0%	#DIV/0!	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
Tomato	par90	cf0p3	101.4%	#DIV/0!	100.0%	99.9%	100.9%	101.3%	100.7%	101.7%	102.5%	101.9%	101.8%	101.4%	100.7%	100.9%	101.0%	101.7%	100.6%	100.9%	101.7%
Tomato	par90	cf0p6	102.4%	#DIV/0!	100.0%	99.8%	101.6%	102.3%	101.0%	102.9%	104.2%	103.3%	102.9%	102.3%	101.1%	101.5%	101.6%	102.9%	101.0%	101.5%	102.9%
Tomato	par90	cf0p8	102.8%	#DIV/0!	100.0%	99.8%	101.9%	102.6%	101.2%	103.3%	104.9%	103.8%	103.4%	102.7%	101.1%	101.6%	101.9%	103.4%	101.0%	101.7%	103.4%
Tomato	par90	cf1p0	102.9%	#DIV/0!	100.0%	99.4%	102.0%	102.8%	101.3%	103.5%	105.1%	104.0%	103.8%	102.7%	101.0%	101.8%	102.0%	103.6%	101.0%	101.8%	103.6%
Tomato	par95	cf0p0	103.8%	#DIV/0!	100.0%	106.0%	103.7%	104.5%	103.1%	103.7%	103.7%	103.5%	103.4%	103.4%	104.6%	105.4%	104.4%	103.4%	104.8%	104.5%	103.4%
Tomato	par95	cf0p3	105.3%	#DIV/0!	100.0%	106.4%	104.7%	105.9%	103.8%	105.6%	106.4%	105.6%	105.3%	104.9%	105.2%	106.1%	105.5%	105.3%	105.3%	105.5%	105.3%
Tomato	par95	cf0p6	106.3%	#DIV/0!	100.0%	106.4%	105.5%	106.8%	104.1%	106.5%	108.6%	106.7%	106.7%	105.8%	105.7%	106.8%	106.2%	106.5%	105.7%	106.1%	106.5%
Tomato	par95	cf0p8	106.8%	#DIV/0!	100.0%	106.6%	105.8%	107.3%	104.3%	106.5%	110.0%	107.2%	107.2%	106.2%	106.0%	107.3%	106.6%	107.0%	106.0%	106.5%	107.0%
Tomato	par95	cf1p0	107.0%	#DIV/0!	100.0%	106.5%	106.0%	107.5%	104.4%	106.5%	110.6%	107.4%	107.3%	106.3%	106.0%	107.3%	106.7%	107.2%	106.0%	106.6%	107.2%