



Haalbaarheidsstudie Glas-Film Kasconcept

Frank Kempkes, Gert-Jan Swinkels, Silke Hemming, Athanasios Sapounas, Filip van Noort en Jan Janse



Referaat

Energiebesparing door een isolerend kasdek van isolatieglas vergt een grote investering. In de zoektocht naar een goedkoper alternatief is door een consortium van bedrijven bestaande uit Boal systems, VDH Foliekassen, AGC Chemicals Europe (AGCCE) en Van der Valk Systemen een Glas-Film-Kasdek, beter bekend als het 2saveEnergy concept ontwikkeld. De combinatie van diffuus glas met een helder ETFE film lijkt in de wintermaanden tot 10% meer licht op te kunnen leveren dan een kas met een enkel dek waar volgens de principes van het nieuwe telen met meerdere schermen wordt gewerkt. Daarbij kan een besparing van meer dan 20% ten opzichte van het nieuwe telen of ca. 50% ten opzichte van de gangbare praktijk bereikt worden. Gewaskundig zijn er geen grote problemen te verwachten als de ervaringen met Het Nieuwe Telen en de VenlowEnergy kas in ogenschouw worden genomen omdat dit kasconcept met betrekking tot het klimaat en de energiebesparing ergens tussen het nieuwe telen en de VenlowEnergy zal komen. De in dit concept opgenomen mogelijkheid om de spouw te ventileren biedt goed perspectief om het kasdek sneeuwvrij te houden danwel te maken.

Abstract

Saving energy by insulating a greenhouse with insulation glass requires a large investment. In the search for a cheaper alternative, a consortium of companies: Boal Systems, VDH Foliekassen, AGC Chemicals Europe (AGCCE) and Van der Valk Systems have developed a Glass-Film Greenhouse roof, which they have named the "2saveEnergy concept". In the winter months, the combination of diffuse glass with a clear ETFE film provides the greenhouse with 10% more light compared to a single roof greenhouse controlled by the principles of the new cultivation method by using multiple screens. In addition, an energy saving of more than 20% with the new cultivation method is calculated. If the glass-film greenhouse concept is compared to common practice a saving of up to 50% can be achieved. No problems with crop production are expected as experience gained with the new cultivation method and the VenlowEnergy greenhouse have been taken into account. This 2saveEnergy greenhouse concept operates somewhere in between the new cultivation method and the VenlowEnergy greenhouse with regards to climate and energy usage. The concept also enables the insulation cavity to be ventilated with warm air to melt snow on the greenhouse.

© 2014 Wageningen, Wageningen UR Glastuinbouw

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

Wageningen UR Glastuinbouw

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

Inhoudsopgave

	Samenvatting	5
1	Inleiding	7
2	Lichttransmissie glas-film combinatie	9
	2.1 Lichttransmissie basismaterialen glas en film	9
	2.2 Lichttransmissie glas-film combinaties	11
	2.3 Kasdek transmissie	13
3	Gewasreacties onder een glas-film kasdek	15
	3.1 Tomaat	15
	3.2 Groene planten	17
	3.3 Phalaenopsis	18
4	Energiebesparing Glas-Film-Kasconcept	21
	4.1 Tomaat	21
	4.2 Groene planten	25
	4.3 Phalaenopsis	29
	4.3.1 Warme fase	30
	4.3.2 Koeling	33
5	Berekeningen sneeuw afsmelt	39
	5.1 Onbehandelde kaslucht	41
	5.2 Behandelde kaslucht	43
6	Economie	45
	6.1 SWOT-analyse van het glas-film kasconcept	46
7	Conclusies	49
8	Literatuur	53
Bijlage I	CFD Sneeuwsmelten	55

Samenvatting

Een consortium van tuinbouw toeleveranciers bestaande uit Boal systems, VDH Foliekassen, AGC Chemicals Europe (AGCCE) en Van der Valk Systemen heeft een kasconcept ontwikkeld dat een hoge isolatiegraad van het kasdek met beperkte investeringen bereikbaar moet maken. In deze haalbaarheidsstudie zijn de energetische, gewas technische en economische haalbaarheid van dit Glas-Film-Kasconcept, beter bekend als het 2saveEnergy concept bestudeerd.

Transmissie

Doel is een kasdek te ontwerpen met een zo hoog mogelijke transmissie dat ook nog diffuse eigenschappen heeft. Om tot een goede combinatie van de basismaterialen glas en ETFE film te komen, zijn combinaties van transparant glas met en zonder Anti Reflectie (AR) coating met een diffuse film en diffuus glas met een transparante film doorgemeten op diffusiteit (haze) en transmissie. De te kiezen combinatie heeft grote invloed op de overall performance van het kasdek met betrekking tot transmissie. De keus voor een hogere of lagere haze valt enigszins buiten de scope van deze studie. Algemeen geldt tot nu toe: "meer haze is beter maar het mag slechts beperkt ten koste gaan van de overall transmissie". Een combinatie van glas met hoge haze en AR coating met een transparant ETFE film is gunstig voor de lichtinval in de wintermaanden. Door het verminderde schermgebruik in het Glas-Film-Kasconcept ontvangt het gewas uiteindelijk meer winterlicht, wat een productievoordeel kan gaan opleveren.

Energiegebruik

De isolatie van een glas-film combinatie ligt in het algemeen wat lager dan van een isolatieruit omdat de spouw van een isolatieruit wat kleiner en beter gesloten is. Met behulp van een kasklimaat simulatiemodel is voor verschillende kasdekken het energiegebruik berekend. Referentie is een kas met enkel kasdek van glas en een teeltconcept volgens Het Nieuwe Telen (HNT). Voor de isolerende kasdekken is nog maar gebruik gemaakt van één beweegbaar scherm.

Berekeningen zijn gemaakt voor een drietal teelten: tomaat, groene potplanten en Phalaenopsis.

Een besparingsdoel voor de glas-film kas van 50% ten opzichte van de gangbare praktijk met een verbruik van 36 tot 40 m³/m² voor een tomatenteelt is bereikbaar.

Kasklimaat

Er is een analyse van de rekenresultaten van het gerealiseerd kasklimaat gemaakt. Resultaten zijn sterk vergelijkbaar met andere isolerende kasdek concepten. Door de lagere isolatiegraad van het glas-film kasdek zal het gerealiseerde klimaat vaak ergens tussen dat van een enkeldeks kas en een kas gemaakt van isolatieglas komen. Het Glas-Film-kasconcept laat ten opzichte van een referentie kas met enkel glas en een teeltconcept volgens HNT zien dat:

- De kasluchttemperatuur langzamer daalt met in de zomer warmere nachten;
- De planttemperatuur op een hoger niveau komen te liggen door het warmere kasdek;
- Er lichtwinst behaald kan worden door het ontbreken van één scherminstallatie waardoor bij het openen van het scherm in de winter al snel behoorlijke lichtwinst is te behalen.

In de analyse is ook aandacht besteed aan de dimensionering van de ontvochtigingsinstallatie en de mismatch aan beschikbare CO₂ en CO₂ vraag die voor extra benodigde inkoop van CO₂ en daarmee gevolgen zal hebben op de rentabiliteit.

Gewasreacties

Ervaringen opgedaan in projecten over HNT en de Venlow Energy kas maken het mogelijk goede inschattingen te maken hoe de drie gekozen teelten ieder voor zich zullen reageren onder een glas-film kasdek. Voor zover dat tot nu toe te beredeneren valt, zijn dit:

- Een hogere planttemperatuur met meer licht zal vooral in de wintermanden een gunstig effect op de groeisnelheid hebben.
- Het kasklimaat zal vochtiger worden waardoor de gewassen vegetatiever kunnen gaan groeien. Bij tomaat kan dit vaak met bladdunning gestuurd worden terwijl dit bij de groen planten juist een pre is. Bij Phalaenopsis is men voorzichtig t.a.v. hogere vochniveaus.
- Door de tragere afkoeling is er kans op een meer vegetatieve reactie in de voornacht (vooral tomaat).

- Een vochtiger microklimaat in het gewas zal het risico op grotere schimmeldruk vergroten.
- Groter risico op fysiogene afwijkingen in de groeipunten van de plant, zoals broeikoppen bij komkommer en bladrandjes bij tomaat, door voor verdamping ongunstige omstandigheden.

Ervaringen opgedaan met de Venlow Energy kas hebben tot nu toe echter nog geen onoverkomelijke problemen met het gewas opgeleverd. Doordat het Glas-Film-Kasconcept een vergelijkbaar klimaat zal creëren, zijn er op voorhand geen onoverkomelijke gewasproblemen te verwachten. Door de hogere lichttransmissie zijn productievoordelen in de wintermaanden te verwachten.

Economie

De economische haalbaarheid van een glas film kas wordt voor een groot deel bepaald door de benodigde investeringskosten. Deze investeringsruimte wordt bepaald door de besparing aan energie en de verminderde investering voor één beweegbaar scherm enerzijds maar ook door een toename in CO₂ inkoop anderzijds. Voor een tomatenteelt is berekend dat een afschrijvingstermijn van circa 5 jaar mogelijk is.

Sneeuw afsmelt

Een probleem van een goed isolerend kasdek is de moeilijke danwel onmogelijkheid om de sneeuw af te smelten. Sneeuw ophoping in de wintermaanden op een kas met dubbel glas vormt tot nu toe dan ook een uitdaging. Berekeningen laten zien dat bij een gerichte luchtstroom door de spouw in het Glas-Film-Kasconcept het mogelijk is het smeltproces op het glas in gang te brengen. Belangrijk hierbij is de lucht goed verdeeld in te kunnen blazen. Een verhoging van de luchttemperatuur van de ingeblazen lucht heeft wel een versnelling van de afsmelt tot gevolg maar dit is geen lineair proces.

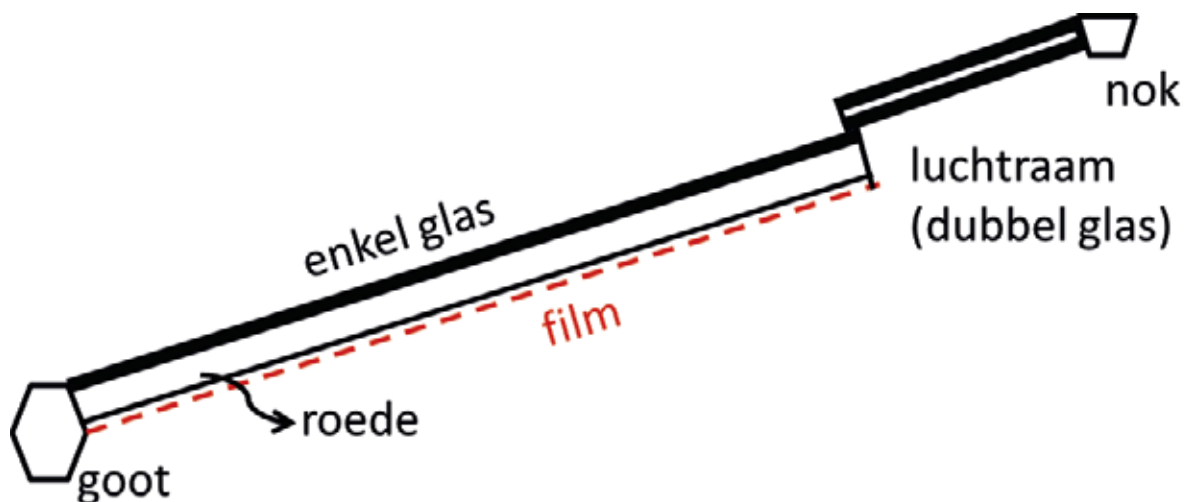
1 Inleiding

Bij Het Nieuwe Telen is de warmtebesparing vooral tot stand gekomen door het installeren van meer schermen en aanpassingen in het teeltregiem als het zoveel mogelijk achterwege laten van de minimum buis. Hierdoor wordt het energieverbruik in een tomatenteelt teruggebracht naar ca. $27 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jaar}$. Dit vele schermen in de winter gaat gepaard met fors lichtverlies. In plaats van schermen is het ook mogelijk een “permanente” hoge isolatie van de kas te bereiken door toepassing van een isolerend kasdek. Het energieverbruik in een tomatenteelt in een kas met een isolerend kasdek kan terug worden gebracht naar $15 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jaar}$. De introductie van isolatieglas laat echter een sterke verhoging van de investeringskosten zien. Reden voor een consortium van tuinbouw toeleveranciers bestaande uit Boal systems, VDH Foliekassen, AGC Chemicals Europe (AGCCE) en Van der Valk Systemen om een kasdek te ontwerpen dat energetisch gelijkwaardige prestaties levert als een dubbel glasdek maar waarvan de investeringskosten veel lager liggen zodat brede marktintroductie van een energiebesparend kasdeksysteem mogelijk wordt.

Het consortium heeft zich gericht op het ontwerp van het kasdek. Daarbij stond alleen vast dat het zou bestaan uit een combinatie van glas en een duurzaam en zeer transparant film; glas buiten en film aan de binnenkant van het kasdek, zie schematische weergave in Figuur 1.1. Een enkel glaspaneel is zoals gebruikelijk door een roede ondersteund. Onder de roede is van de goot tot aan het kalf, waar het luchtraam op komt te liggen indien deze gesloten is, een film geplaatst. Gezien de geringe ervaringen en de complexiteit rond nieuwe systemen is er voor gekozen het luchtraam (doorlopende nokluchting) van dubbel glas te voorzien.

Het Glas-Film-Kasconcept maakt gebruik van een aantal innovaties:

- Glas en film in combinatie vormen een kasdek met een hoge isolatie; door het inblazen van lucht tussen glas en film, is de isolatiegraad te veranderen.
- De juiste keuze en combinatie van glas en film zorgen voor een hoge lichttransmissie.
- Integratie van diffuse eigenschappen in dit dek zorgen voor hogere gewasopbrengst.
- De betere isolatie stelt hogere eisen aan energiezuinige ontvochtiging.
- Toepassing van een energiezuinig teeltconcept.



Figuur 1.1. Schematische weergave van de glas film constructie. De verhoudingen in het Figuur zijn onjuist weergegeven.

Het ontwerp van het Glas-Film-Kasconcept is geïnspireerd door een kas met glas en film aan de buitenkant, waarbij het foliekussen per glasruit opblaasbaar was, zoals eerder gedemonstreerd in Duitsland. In dit Duitse onderzoek is aangetoond dat dit concept energiebesparingspotenties heeft. Het eerdere concept moet echter technisch worden vereenvoudigd en geschikt worden gemaakt voor grootschalige toepassing in de Nederlandse glastuinbouw. Dit houdt in dat de dekconstructie moet worden herontworpen en dat aandacht besteedt moet worden aan ontvochtiging en het teeltconcept.

Een consortium van tuinbouwtoeleveranciers wil de haalbaarheid van het kasconcept voor Nederland in 2013 onderzoeken en in 2014 demonstreren. Wageningen UR Glastuinbouw verleent hierbij ondersteuning. De hier beschreven haalbaarheidsstudie gaat niet verder in op de technische details van het Glas-Film-Kasontwerp.

Uitgangspunt van deze haalbaarheidsstudie is de keuze van de optimale kasdekmaterialen voor een hoge lichttransmissie van het kasdek. Om dit te bereiken moet een juiste keus gemaakt worden uit de afzonderlijke materialen. Daarbij stond alleen vast dat het licht uiteindelijk diffuus in de kas moest komen. In het lichtlaboratorium van Wageningen UR Glastuinbouw zijn diverse glazen, twee films en mogelijke combinaties doorgemeten om tot een hoge lichttransmissie te komen. Nadat eenmaal de technische eigenschappen van het dek bepaald waren, zijn er met het kasklimaat simulatiemodel KASPRO berekeningen gemaakt om de gevolgen voor het klimaat en het energiegebruik te bepalen voor een aantal teelten. Ten slotte is er aan de hand van ervaringen met dubbele kasdekken die er al zijn, globale teeltconcepten voor deze teelten opgesteld.

2 Lichttransmissie glas-film combinatie

Om een goede overall transmissie te bereiken moet aan de hand van basismaterialen glas en film een combinatie worden gevonden welke tot hoge lichttransmissie leidt. Als randvoorwaarde is gesteld dat het licht uiteindelijk diffuus uit het kasdek moet treden. Van de basismaterialen glas en film zijn in eerste instantie de haze, loodrechte en hemisferische transmissie bepaald. Vervolgens zijn de metingen herhaald in de zodanige combinatie van materialen dat één van de twee materialen diffuse eigenschappen heeft.

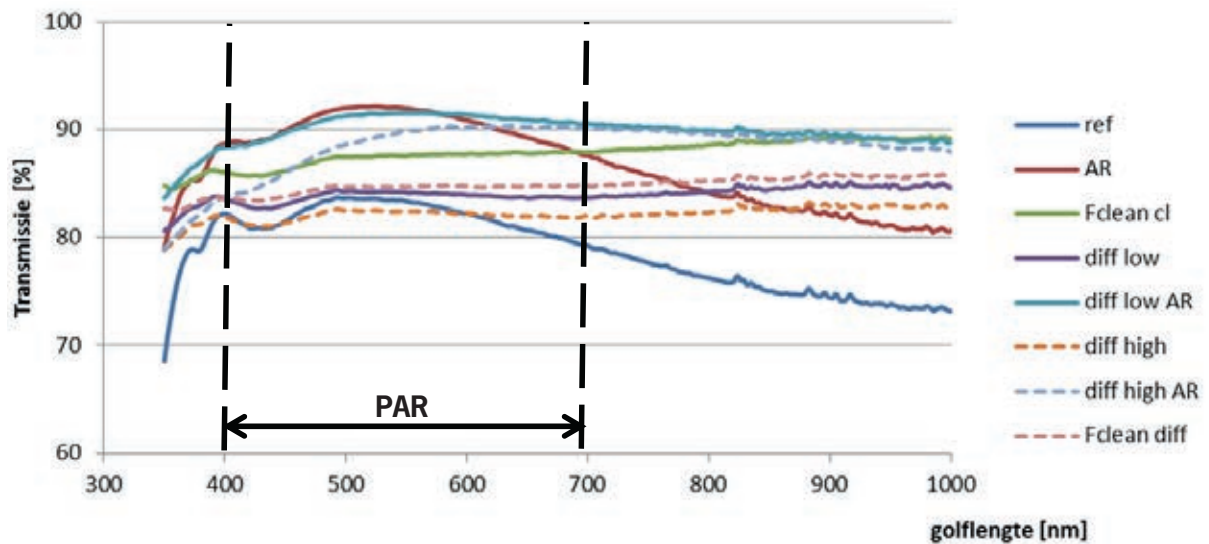
2.1 Lichttransmissie basismaterialen glas en film

Uit ervaring met het ontwerp van kasdekken met isolerende kasdekken is gebleken dat de hemisferische lichttransmissie snel afneemt indien dubbele materialen worden toegepast. Een Anti Reflectie (AR) behandeling op een glas vermindert de lichtverliezen door reflectie en verhoogt de transmissie. De toepassing kan zinvol zijn bij het ontwerp van dubbele kasdekken om niet teveel licht te verliezen. De volgende basismaterialen zijn onderzocht: helder referentie glas zonder en met AR coating, diffuus glas met lage en hoge haze met en zonder AR coating. Het heldere glas met en zonder AR coating is geen "low iron" glas terwijl de diffuse glazen wel een "low iron" glas zijn. Het glas met lage haze heeft een matmat oppervlaktestructuur, het glas met hoge haze heeft een prismatic oppervlak. De film bestaat uit duurzaam ETFE materiaal met een levensduur van minimaal 15 jaar, welke onder de merknaam F-clean op de markt verkrijgbaar is. Hiervan zijn twee typen beschikbaar, een transparante en een diffuse uitvoering. In Tabel 1. wordt het overzicht van de gekozen basismaterialen weergegeven en de meetresultaten van loodrechte en hemisferische lichttransmissie en haze.

Tabel 2.1. Loodrechte τ_l en hemisferische transmissie τ_h van verschillende kasdekmaterialen in het golflente gebied 400-700 nm (PAR) en de haze van deze materialen. Heldere glas is geen en diffuse glas wel "low iron".

Materiaal	code	Haze ($\pm 5\%$)	τ_h ($\pm 0.5\%$)	τ_l
helder referentie glas	ref	0	82.1	89.6
helder glas met AR coating	AR	0	90.5	95.6
helder film	Fclean clear	0	87.4	94.2
diffuus glas lage haze	diff low	17	83.8	92.0
diffuus glas lage haze met AR coating	diff low AR	14	90.8	96.9
diffuus glas hoge haze	diff high	68	82.1	92.0
diffuus glas hoge haze met AR coating	diff high AR	68	88.8	96.1
diffuus film	Fclean diff	77	84.5	94.9

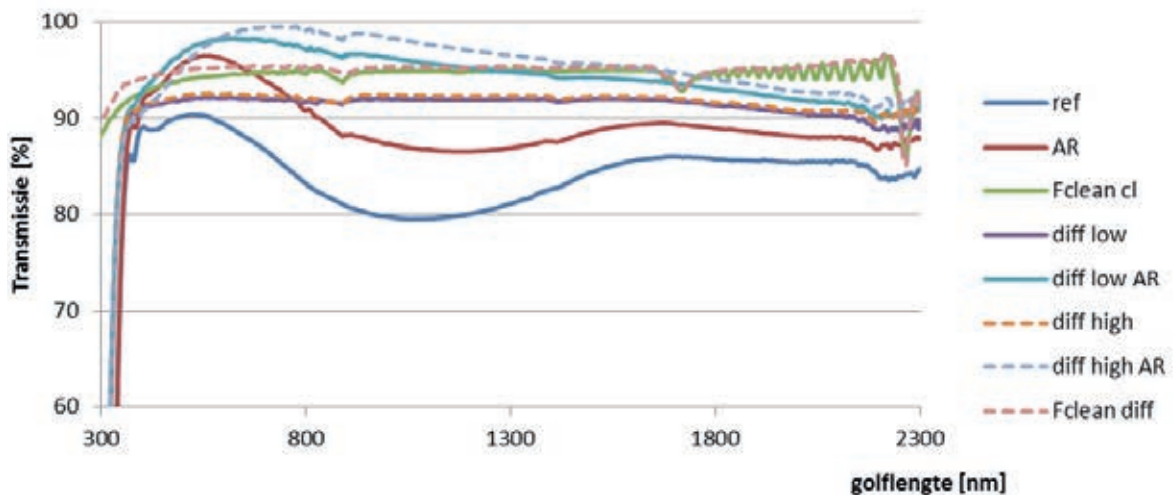
De hemisferische transmissies van verschillende kasdekmaterialen in het golflente gebied 350- 1000 nm zijn in Figuur 2.1. getoond.



Figuur 2.1. Hemisferische transmissie van verschillende kasdekmaterialen in het golflente gebied 350- 1000 nm waarbij het heldere glas geen en diffuse glas wel "low iron" is.

Figuur 2.1. toont duidelijk het effect van de AR behandeling als de ref met AR vergeleken wordt. De AR verhoogt de transmissie met een kleine 8 procent over het gehele spectrum. Ook het verschil tussen de Fclean clear en Fclean diffuus is over het gehele spectrum redelijk constant met ca. 3% verschil. Het verschil in loodrechte transmissie is er bijna niet tussen deze twee films. Opvallend is dat de AR op de diff low meer effect heeft dan op de diff high in het gebied tussen de 400 en 700 nm terwijl de afstand tussen diff low en diff high zonder AR redelijk constant is.

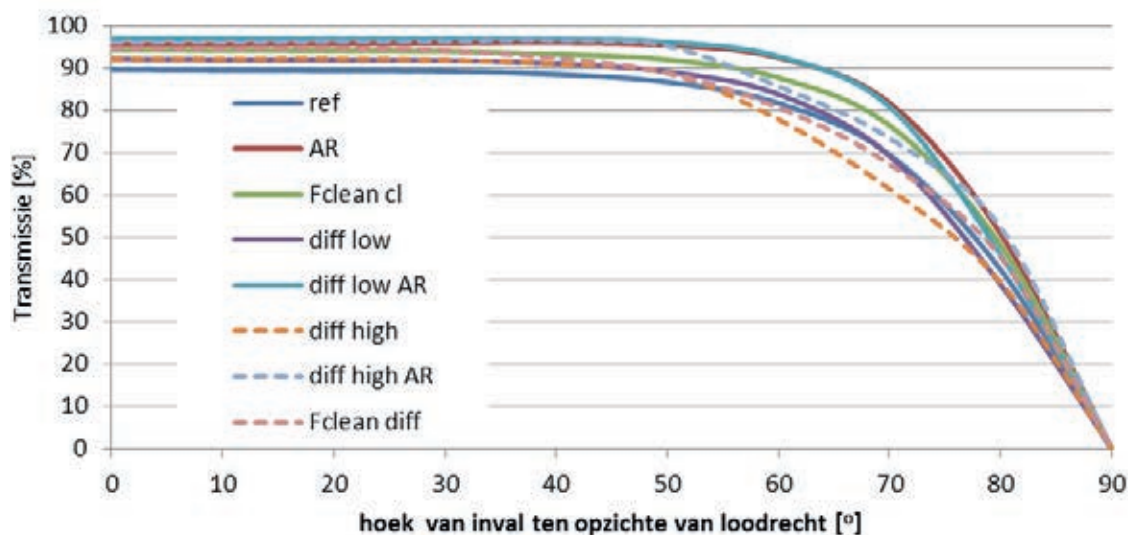
De transmissie in het UV gebied is van de films hoger dan van het glas. In Figuur 2.2. wordt de loodrechte transmissie van het gehele zonnenspectrum (UV-PAR-NIR) weergegeven.



Figuur 2.2. Loodrechte transmissie van verschillende kasdekmaterialen in het golflente gebied 250- 2300 nm.

Er is maar een klein verschil tussen glazen in het NIR gebied. De twee niet “low iron” glazen ref en AR laten een typische kleine NIR absorptie zien. Er wordt ervan uitgegaan dat deze geen gevolgen heeft voor het gerealiseerde kasklimaat. Wel is er een verschil te zien tussen de films en het glas in het UV gebied. Waar ref en AR glas geen UVB (300-320nm) doorlaat en de diffuse glazen een lage UV doorlatendheid hebben, zijn Fclean cl en Fclean diff juist goed transparant voor UV.

In Figuur 2.3. is voor de in Tabel 2.1. genoemde materialen de hoekafhankelijke transmissie voor direct licht gegeven. De Figuur toont dat met name tussen de 60 en 80° ten opzichte van de loodrechte inval de lichttransmissie van de materialen tot 35 procent kan verschillen. Hierdoor kunnen de in Tabel 2.1. getoonde verschillen in hemisferische lichttransmissie worden verklaard.



Figuur 2.3. Hoek afhankelijke transmissie van direct licht van verschillende kasdekmaterialen.

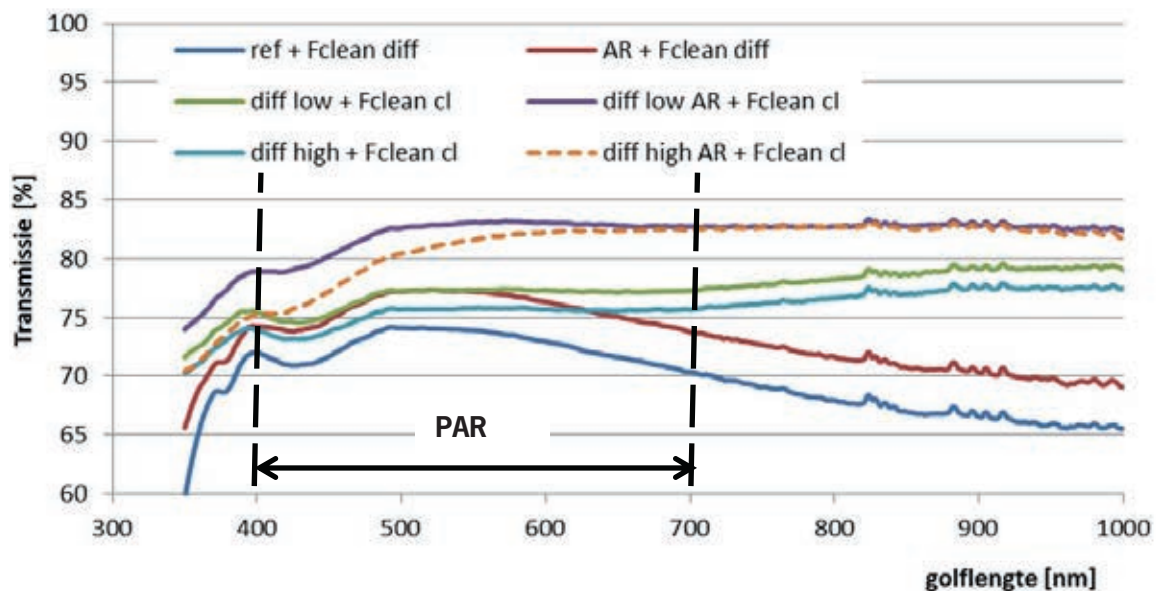
2.2 Lichttransmissie glas-film combinaties

Van de in paragraaf 2.1 besproken materialen zijn een zestal combinaties te maken die leiden tot diffuus licht in de kas. De meetresultaten zijn in Tabel 2.2. beschreven.

Tabel 2.2. Loodrechte τ_l en hemisferische transmissie τ_h van verschillende kasdek materiaal combinaties in het golflente gebied 400- 700 nm (PAR) en de haze van deze materiaal combinaties.

Materiaal	code	Haze ($\pm 5\%$)	τ_h ($\pm 0.5\%$)	τ_l
helder referentie glas + diffuus film	ref + Fclean diff	77	72.6	85.1
helder glas met AR coating + diffuus film	AR + Fclean diff	77	75.9	89.9
diffuus glas lage haze + helder film	diff low + Fclean cl	17	76.8	86.9
diffuus glas lage haze met AR coating + helder film	diff low AR + Fclean cl	14	82.2	91.5
diffuus glas hoge haze + helder film	diff high + Fclean cl	68	75.3	86.9
diffuus glas hoge haze met AR coating + helder film	diff high AR + Fclean cl	68	80.7	90.6

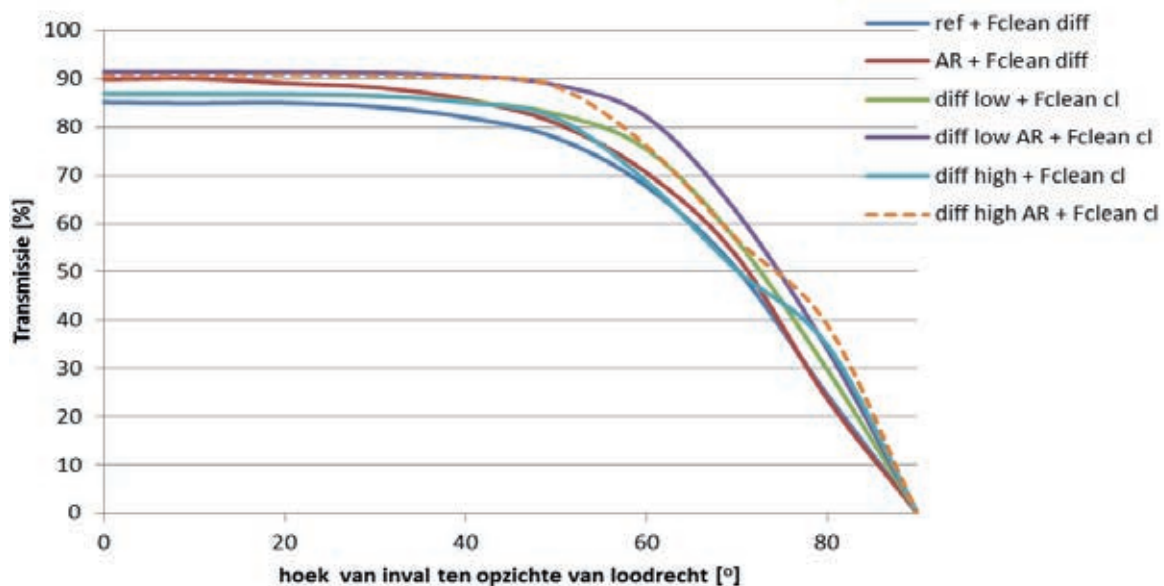
De hoogste lichttransmissies worden bereikt door een combinatie van diffuus glas met lage of hoge haze en helder film. De combinatie van helder AR glas met een diffuus film presteert beduidend minder dan de twee diffuse AR glazen met een helder film. Dit kan verklaard worden door het verschil in hemisferische transmissie tussen de heldere en diffuse film. In Figuur 2.4. worden de hemisferische transmissies van de in Tabel 2.2. gegeven combinaties van materialen getoond.



Figuur 2.4. Hemisferische transmissie van verschillende combinaties kasdekmaterialen in het golflente gebied 350-1000 nm.

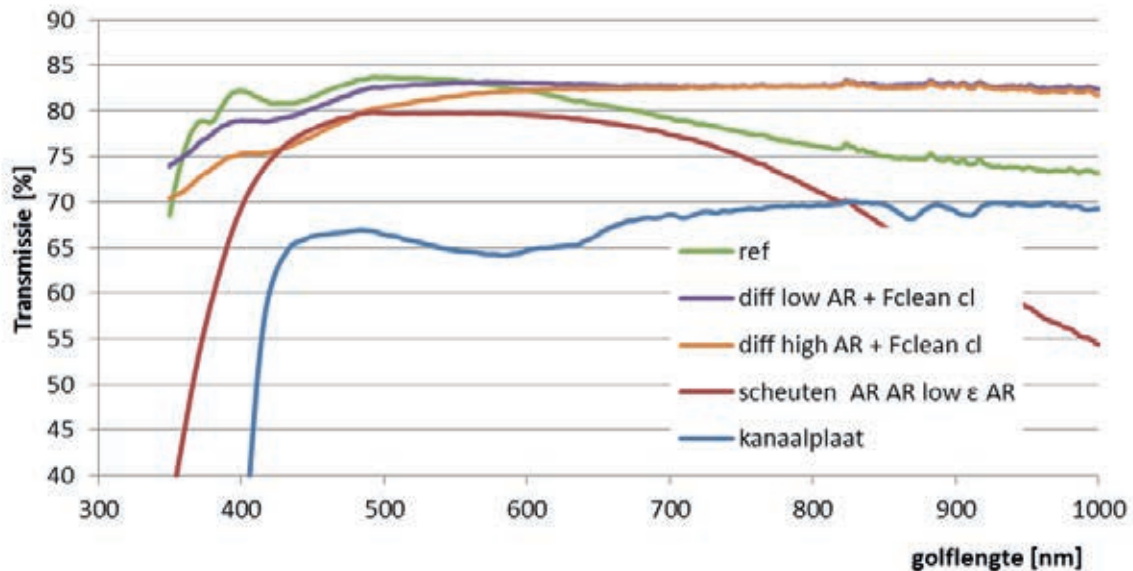
Tabel 2.2. en Figuur 2.3. laat zien dat de combinaties diff low AR + Fclean cl en diff high AR + Fclean cl zijn het meest perspectiefvol waarbij de eerste een wel vrij lage haze kent. Deze twee materiaal combinaties zullen verder worden meegenomen in de energieberekeningen.

Voor de lichttransmissie van het kasdek, zijn hellingshoek, oriëntatie van de kas en kasdekconstructie elementen en de hoekafhankelijke lichttransmissie van de materialen van belang. In Figuur 2.5. is voor de in Tabel 2.2. genoemde materiaalcombinaties de hoekafhankelijke transmissie voor direct licht gegeven, welke wordt meegenomen in de energieberekeningen



Figuur 2.5. Hoek afhankelijke transmissie van direct licht van verschillende combinaties van kasdekmaterialen.

In dit project waar het gaat om de combinatie van glas en film wordt ge-benchmarkt met bestaande materialen. Hierbij kan gedacht worden aan stegdoppel kanaalplaten en dubbelglas met low coating zoals dat in de Venlow Energy kas (Kempkes en Janse, 2013) beproefd is. Voor de stegdoppel kanaalplaten wordt alleen gekeken naar polycarbonaat die een slechtere transmissie kennen dan platen van acrylaat aangezien acrylaat in verband met de brandveiligheid in de toekomst niet meer zal worden toegepast. In Figuur 2.6. zijn de hemisferische transmissies getoond.



Figuur 2.6. Hemisferische transmissie van glas-film combinaties met het grootste potentieel, een kanaalplaat en een dubbelglas met low ϵ coating ten opzicht van een enkel glas als referentie in het golflente gebied 350- 1000 nm.

Van de materialen zijn ook de warmte doorlatende eigenschappen bepaald: IR transmissie en IR reflectie, waarmee de IR absorptie = emissie (ϵ) kan worden berekend. In Tabel 2.3. zijn deze eigenschappen weergegeven.

Tabel 2.3. IR transmissie, reflectie en absorptie van Fclean clear en diffuus.

	IR reflectie	IR transmissie	IR absorptie = emissie (ϵ)
Fclean clear	0.02	0.30	0.68
Fclear diffuse	0.01	0.22	0.77
Glas	0.2	0	0.8

2.3 Kasdek transmissie

In paragraaf 2.1 en 2.2 worden de lichttransmissies van de basismaterialen van de materiaalcombinaties beschreven. De lighthoeveelheid die uiteindelijk op het gewas komt is naast de eigenschappen van het kasdek materiaal uiteraard ook afhankelijk van de hellingshoek van het kasdek, kasdek oriëntatie, kasdek constructie, inrichting van de kas en schermgebruik. Kasinrichting en schermgebruik hebben uiteindelijk nog veel invloed op de hoeveelheid licht op gewasniveau, zeker in teelten als Phalaenopsis waar de lighthoeveelheid een groot deel van het jaar gemaximaliseerd wordt. Om een indruk te krijgen wat de potentiële hoeveelheid licht is die bij deze kasdekmaterialen uiteindelijk op het gewas kan komen, is in Tabel 2.4. de jaarsom aan PAR licht en de wintersom aan PAR licht getoond. Voor de winter wordt de periode 1 oktober t/m 1 maart aangehouden. Voor alle kasdekken is de kasdekconstructie gelijk verondersteld en wordt er voor het gemak ook even geen gebruik gemaakt van schermen. De getoonde resultaten zijn dus theoretisch maximaal haalbare niveaus. De tabel laat ook zien dat verschillen door het jaar niet constant hoeven te zijn. Bij de verschillende teelten en bijbehorende kasconcepten zullen deze verschillen uiteindelijk anders komen te liggen door bijvoorbeeld veelvuldig schermgebruik gedurende de dag om in een enkeldekskas energie te besparen. In hoofdstuk 4 wordt dit per teelt nader uitgewerkt.

Tabel 2.4. Lichtsommen op gewasniveau van het kasdek t/m de goot voor verschillende kasdek materiaal combinaties zonder schermgebruik.

	jaar lichtsom	winter lichtsom	relatief winterlicht
	[mol/m ²]	[mol/m ²]	[%]
ref	5973	847	100
diff low AR + Fclean cl	6065	858	101
diff high AR + Fclean cl	6027	881	104
scheuten AR AR low- AR	5877	828	98
kanaalplaat	4911	717	85

3 Gewasreacties onder een glas-film kasdek

Simulaties van het kasklimaat voor teelten onder een dubbel dek, hebben gewezen op veranderingen in het kasklimaat, die gevolgen hebben voor de groei van het gewas. Daarbij is aangegeven hoe in de klimaatregeling daarop gereageerd kan worden; aanpassingen in gebruik van schermen, meestal agressievere ventilatieregeling, e.d. (Poot *et al.* 2010).

Deze aanpassingen in de regeling zullen leiden tot een klimaat welke anders is dan van de teelt onder enkelglas. De veranderingen in het kasklimaat in interactie met de ontwikkeling van de plant zijn zodanig dat dit verder gaat dan waarmee het model rekening kan houden. Het model geeft wel de belangrijkste veranderingen aan maar kan niet de details van de plantkundige effecten voorspellen. Daarom wordt in dit hoofdstuk een kwalitatieve beschrijving gegeven van de verwachte veranderingen en de gevolgen voor de groei en ontwikkeling van het gewas op basis van expertkennis. Dit is naast tomaat waarmee reeds enkele jaren ervaring in de Venlow Energy kas is opgedaan (Kempkes en Janse, 2013), ook meer verkennend voor groene potplanten en Phalaenopsis gedaan.

Als we de veranderingen voor de plant benaderen via de klassieke indeling in de groeifactoren licht, water, CO₂ en temperatuur, zal blijken dat in de beschrijving steeds moet worden ingegaan op de samenhang tussen alle parameters en dat voor de verschillende omstandigheden in het jaar. Als voorbeeld de lichttransmissie van de kasdekken. In de winter heeft de gekozen glas-film combinatie een hogere lichttransmissie dan het enkelglas met vast folie. Voor de groei van de plant is extra licht een gunstige factor. Bij meer fotosynthese ontwikkelt de plant sneller en zal de kastemperatuur iets hoger gehouden moeten worden om de juiste balans tussen fotosynthese en ontwikkeling te bereiken, wat het energiegebruik weer kan verhogen.

3.1 Tomaat

In deze paragraaf wordt uitgegaan van een aantal verwachte veranderingen in het kasklimaat door de toepassing van een glas-film dek in vergelijking met een dek van enkel glas en hoe die de ontwikkeling van de plant beïnvloeden. De verwachting is echter dat de reactie van de plant bij telen in een glas-film kas grotendeels vergelijkbaar is met die bij een dubbel glazen kas. Daarom wordt in onderstaande gebruik gemaakt van de opgedane ervaringen met de teelt van tomaat in de Venlow Energy kas gedurende 3 jaar. Het geteelde ras was Komeett.

Configuratie verwarming

Voordat het onderzoek onder dubbel glas plaatsvond, was de verwachting dat de afrijping in een dubbel glazen kas trager zou verlopen dan in een enkel glazen kas, omdat door de goede isolatie van het kasdek met dubbel glas er minder hoge buistemperaturen benodigd zouden zijn. Hiervoor zijn in het onderzoek in de Venlow Energy kas echter geen duidelijke aanwijzingen gevonden. Mede door het aanhouden van soms iets hogere temperaturen in vergelijking met de referentie van enkel glas, was de vertraging in afrijping zeer gering. Ook in het tweede en derde teeltjaar zonder groeibuis vlak bij de vruchten, maar met verwarmingslangen in de slurven onder de goten, verliep de afrijping niet opvallend trager. Omdat er in de winter iets meer instraling is in een kas met een glas-film dek in vergelijking met een kas met enkel glas + vast foliescherm, mag ook een iets hogere etmaaltemperatuur worden aangehouden.

Een verminderde luchtbeweging als gevolg van lagere buistemperaturen kan waarschijnlijk grotendeels worden gecompenseerd door luchtbeweging via de slurven onder de goten. Hierdoor zou de gevoeligheid van het gewas voor Botrytis aantasting zeker niet groter mogen worden dan in een kas met enkel glas. In de Venlow Energy kas zijn geen noemenswaardige problemen met Botrytis opgetreden. Ook in het Glas-Film-Kasconcept is een vergelijkbaar resultaat te verwachten.

Koptemperatuur

De verwachting is dat de koptemperatuur in een kas met een glas-film dek zeker niet lager is dan in een kas met enkel glas. In de Venlow Energy kas met dubbel glas zijn de koptemperaturen weliswaar niet gemeten, maar de indruk is dat deze in het algemeen hoger waren dan in een kas met enkel glas en energiescherm. In 2013 is het gewas in deze kas vergeleken met het gewas in de Next Generation kas. Ondanks een lagere gemiddelde gemeten etmaaltemperatuur over de gehele teeltperiode van 0.2 °C, was er 0.3 tros meer gevormd in de Venlow Energy kas dan in de andere kas.

Dit moet het gevolg geweest zijn van een iets hogere planttemperatuur in de kop van de plant welke namelijk de trosafsplittingsnelheid bepaalt. Ook in het Glas-Film-Kasconcept is een hogere koptemperatuur te verwachten.

Verdamping

In een dichte kas met een glas-film dek zou er bij hoge luchtvochtigheden meer problemen met bladrandjes op kunnen treden dan in een enkel glazen kas. Via ontvochtiging met buitenlucht kan dit probleem waarschijnlijk grotendeels worden voorkomen.

In het onderzoek van de afgelopen jaren onder dubbel glas zijn bij tomaat echter geen gewasverschijnselen gevonden die duiden op te weinig verdamping of een tekort aan voedingselementen in het blad. Bladrandjes, die hoogstwaarschijnlijk een gevolg zijn van te weinig calcium in de kop door te weinig verdamping, zijn in de drie teelten amper opgetreden. Maar dit kan mede te maken hebben met het feit dat de relatieve luchtvochtigheid in de Venlow Energy kas minder gemakkelijk hoog opliep, omdat de kas niet geheel lek dicht was. Ook in het Glas-Film-Kasconcept zal gewerkt worden met ontvochtiging, waardoor naar verwachting de verdamping op pijl kan worden gehouden.

Luchtbeweging

De verwachting was dat de verminderde luchtbeweging als gevolg van minder gebruik van de verwarmingsbuizen in een dubbel glazen kas tot meer Botrytis op stengels en blad zou kunnen leiden. Er zijn in het onderzoek in de Venlow Energy kas hiervoor echter geen aanwijzingen gevonden. Dit is mogelijk mede dank zij de luchtbeweging die gecreëerd is door de mechanische ventilatie. In het eerste jaar onder dubbel glas trad er aan het einde van de teelt wel behoorlijke plantwegval op als gevolg van Botrytis op de stengel. Dit werd echter meer veroorzaakt door het feit dat stengels aan het einde van de teelt op de grond lagen en er nauwelijks werd verwarmd via de buisrail. Er kon daardoor meer condensatie op de stengels plaatsvinden en Botrytis ontwikkelen. In de volgende jaren vormde Botrytis geen probleem.

Temperatuurverloop binnen 24 uur.

Een snelle stijging van de temperatuur en daardoor condensatie op het gewas in de ochtend onder een dubbele kasbedekking kan worden voorkomen door rustig op te stoken en indien nodig te ontvochtigen.

In het driejarige onderzoek in de Venlow Energy kas heeft de tragere afkoeling in de avond niet tot problemen met de gewasstand geleid. Op de tragere afkoeling onder dubbel glas is echter geanticipeerd door eerder naar de voornachttemperatuur te gaan en agressiever te ventileren.

Daarnaast zijn indien nodig lagere nachttemperaturen onder dubbel glas ingesteld ter compensatie van het gemakkelijk overdag oplopen bij veel instraling van de temperatuur. Behoudens enkele korte periodes in de zomermaanden hebben de hoge etmaaltemperaturen echter nooit tot een mindere gewasstand of vruchtzetting geleid, in ieder geval niet meer dan in enkelglazen kassen. De verwachting is dat dit ook in een kasdek van glas in combinatie met een film niet tot problemen hoeft te leiden. Het kan zijn dat er in het voorjaar door het inluchten van koele, droge lucht bladrandjes in het zwakkere blad van de tomaten ontstaan. In de Venlow Energykas is dit echter ondanks eerdere verwachtingen praktisch niet voorgekomen.

Vochtbeheersing

Met uitzondering van de herfstmaanden, was mede dankzij de ontvochtiging met buitenlucht aanzuiging, de luchtvochtigheid in de driejarige proeven onder dubbel glas in de Venlow Energy kas goed beheersbaar. Zoals al eerder vermeld vormde Botrytis nauwelijks of geen probleem. Om te voorkomen dat het gewas bij hoge plantdichtheden te vol wordt, kan tot circa half april en weer vanaf juli/augustus regelmatig een klein blaadje in de kop worden weggenomen. Dit is mede afhankelijk van de groeikracht van onderstam en ent onder het dubbele dek. Een vergelijkbare maatregel is in het Glas-Film-Kasconcept aan te bevelen.

Diffuus licht

In verschillende onderzoeken is aangetoond dat diffuus glas de plant sterker generatief maakt en de productie met 5 à 10% doet toenemen, mits de lichtdoorlatendheid van het glas niet minder is dan van standaard glas. De verwachting is dan ook dat toepassing van diffuus glas in het Glas-Film-Kasconcept de productie positief beïnvloedt.

Samenvattend

Gezien de ervaringen gedurende 3 teeltjaren met tomaat in de Venlow Energy kas, is de verwachting dat er goed geteeld kan worden in een kas met een glas-film dek. Via agressievere lichten en het instellen van een lagere (voor) nachttemperatuur kunnen te hoge gemiddelde kas- en koeltemperaturen worden voorkomen. Omdat er minder waterdamp tegen het kasdek condenseert dan in een enkel glazen kas, zal er meer aandacht nodig zijn voor het in de hand houden van de luchtvochtigheid. Ontvochtiging via buitenluchtaanzuiging is hierbij een onmisbaar hulpmiddel. Ook is ervaren dat middels het gewasmanagement (o.a. stengeldichtheid en blad snoei) het gewas zodanig te sturen was dat de producties hoger uitkwamen dan in vergelijkingsafdelingen met enkel glas. Daarnaast zal diffuus licht zeker positief uitwerken voor de productie.

3.2 Groene planten

Belangrijke vertegenwoordigers van groene en bonte planten in Nederland zijn: *Dracaena*, *Ficus*, *Hedera*, *Chrysalidocarpus* (beter bekend als *Areca*), *Yucca*, *Calathea*, *Nolina*. De meeste van deze gewassen zijn subtropisch tot tropisch van oorsprong en worden afhankelijk van de hoeveelheid licht, jaarrond geteeld bij stooktemperaturen tussen de 18-22 °C. De meeste gewassen worden ook redelijk veel (*Ficus*) tot veel geschermd (*Areca*). In de meeste van deze gewassen wordt weinig belicht, omdat de kostprijs van deze producten, investering in belichting meestal niet toelaten. Veel van groene en bonte planten krijgen onderdoor water op tafels, betonvloer of lavavloer.

Licht

In deze teelten wordt meestal gewerkt met een combinatie van bewegende energie- en lichtwerende (schaduw) doeken in combinatie met krijt. De diffusiteit van het Glas-Film-Kasconcept zal ook in de meeste van deze teelten een voordeel zijn omdat het mogelijk wordt meer licht toe te laten, waardoor teeltversnelling en verbetering van de kwaliteit door minder bladproblemen, mogelijk wordt.

In deze teelten is een zo hoog mogelijke transmissie in de winter nog belangrijker dan in *Phalaenopsis*, omdat in deze teelten nog geen of weinig assimilatiebelichting wordt gebruikt. Gezien het geringe lichttransmissie verschil tussen het referentieglas met scherm en het Glas-Film-Kasconcept, zijn hier geen problemen en zelfs voordelen te verwachten.

Temperatuur

Het wordt in een kas met dubbel dek bij deze teelten makkelijker om de temperatuur af te stemmen op de hoeveelheid licht in de kas, omdat het makkelijker wordt om een iets hogere temperatuur aan te houden, wanneer het gewas dat nodig heeft. Het komt nu wel voor dat hele lage temperaturen worden aangehouden om energie te besparen, die ten koste van de gewasgroei gaan. Hier wordt door het Glas-Film-Kasconcept een voordeel verwacht vergeleken met de standaard teelt in een enkel glas kas.

Vocht

Dat in het Glas-Film-Kasconcept op de dag vocht beter wordt vastgehouden is vooral een voordeel, omdat er in de teelten waarschijnlijk meer diffuus licht toegelaten gaat worden en dat zal de teeltsnelheid en kwaliteit verbeteren. Oplappend vocht in de nacht leidt tot afluchten en dat kost wellicht energie. De manier van water geven speelt in deze teelten een minder belangrijke rol dan bij *Phalaenopsis*, omdat het vooral via eb/vloed gegeven wordt en droogstoken van het gewas dus geen issue is.

Samenvattend

Door de beperkte rentabiliteit wordt in de teelt van groene en bonte potplanten weinig gebruik gemaakt van assimilatiebelichting terwijl licht in de winter een zeer sterk limiterende factor is. Met meer natuurlijk licht wat ook nog diffuus is gemaakt kan worden verwacht dat de groeisnelheid wordt verbeterd. Met een isolerend dek moet het grootste deel van het teeltjaar een betere balans tussen licht en temperatuur te bereiken zijn. Een hoger vochniveau is voor deze planten vaak een pre waardoor in het Glas-Film-Kasconcept een voordeel verwacht kan worden tegenover de huidige standaardteelt in enkel glas kassen.

3.3 Phalaenopsis

Phalaenopsis heeft ruwweg drie teeltfasen. Opkweek van jonge plant tot koelbare plant met hoge temperatuur (≥ 28 °C) om de plant vegetatief te houden met lichtsommen tussen 3-10 mol.m².d⁻¹ een relatief lage RV (60-65%) in verband met ziekteproblemen en normale CO₂ niveaus. Deze periode duurt afhankelijk van gewenste plantgrootte 20-50 weken (26-30 weken is gangbaar voor 12 cm pot). De kassen die voor deze fase gebruikt worden zijn zowel stegdoppel kanaalplaat als enkelglas maar dan zwaar geschermd. Daarna gaan de planten de 'koeling' in dit is 8 weken 19 °C en daarna nog 10 weken afkweek bij 21 °C. De watergift is boven door tot het moment dat de bloemen open gaan.

Licht

Doordat de transmissie in het Glas-Film-Kasconcept gelijk tot beter (afhankelijk van geopend of gesloten transparant scherm) is als enkel glas, zal de hoeveelheid licht in de kas niet verslechteren en meestal zelfs verbeteren. Dit is een groot voordeel ten opzichte van de stegdoppel kanaalplaat kassen, waarbij het lichttransmissie verlies door het kasdek erg nadelig is. De kosten aan elektriciteit voor assimilatiebelichting zullen bij het Glas-Film-Kasconcept daardoor niet toenemen, en zelfs af kunnen nemen als vergeleken wordt met een stegdoppel kanaalplaat kas.

Een groot voordeel van het Glas-Film-Kasconcept is de mogelijkheid een hoge mate van diffusiteit van het licht in de kas te realiseren. Uit onderzoek komt steeds meer naar voren dat het mogelijk is om meer licht toe te laten in deze teelt, naarmate het licht meer diffuus is (van Noort *et al.* 2013). Dit opent perspectieven voor een snellere teelt zonder extra kans op bladproblemen. Er zijn onderzoeken uitgevoerd, waarbij hogere lichtniveaus dan gebruikelijk gerealiseerd zijn zonder problemen met lichtschade aan het blad.

Temperatuur

Een groot deel van de teelt van Phalaenopsis, is de opkweek fase en de opkweektemperatuur is hoog dus het is een voordeel dat het Glas-Film-Kasconcept hoog isolerend is. Ook het verwachte warmere kasdek is een voordeel, omdat daardoor minder snel voorbloeit zal optreden doordat de plant minder warmteverlies ten gevolge van uitstraling naar het kasdek zal hebben. Hierdoor blijft de gewastemperatuur wat hoger in vergelijking met een enkel glazen kasdek. Voorbloeit zijn planten die te vroeg in bloei komen; dit is ongewenst aangezien het voor ongelijke planten zorgt waardoor extra arbeid (sorteren) nodig is. Hoogstwaarschijnlijk kan gewastemperatuurverlaging door uitstraling in een kwetsbare periode van de opkweek (vlak na wijder zetten bij al relatief grote planten) zorgen voor te vroege bloei-inductie en dat gaat ten koste van de kwaliteit (minder takken en/of minder bloemen). Een warmer kasdek in koeling en afkweek hoeft geen voordeel te zijn. Hierbij is het de vraag of er extra gekoeld moet worden om de gewenste temperaturen van 18-19 °C te handhaven. In de koelsituatie kan het Glas-Film-Kasconcept een nadeel hebben.

Vocht

Phalaenopsis wordt geteeld bij een vrij lage RV in verband met verschillende ziekten en plagen, als 'pseudomonas' en 'potworm'. Het Glas-Film-Kasconcept zal een hoger vochniveau geven, waardoor er meer energie gebruikt zal worden om het vochniveau in de nacht, maar waarschijnlijk ook in koeling en afkweek te verlagen vergeleken met een enkel glas kas. Groeitechnisch zou het beter zijn om bij een hogere RV te telen, maar de ziektedruk (of het teeltsysteem) laat dit nog niet toe. Afhankelijk van de gekozen ontvochtigingsvorm zal hiermee dus meer of minder energiegebruik mee gepaard gaan.

Water geven

Phalaenopsis wordt bovendoor gegoten met 10-16 l/m² water per beregeningsbeurt om de 3 á 4 dagen. Phalaenopsis wordt met veel planten per m² geteeld, waardoor planten overlappen en de grote hoeveelheid water is nodig om grote vochtverschillen en daardoor groeiverschillen, te voorkomen. De planten moeten daarna wel weer snel droog gestookt worden om ziekteproblemen te voorkomen. Het is waarschijnlijk dat er meer energie gebruikt zal worden om het extra vocht in het Glas-Film-Kasconcept weer uit te halen omdat de afvoer via de condensatie tegen het kasdek kleiner zal worden indien vergeleken wordt met een enkeldeks kas waar de schermen kieren of geopend zijn. Ten opzichte van een stegdoppel kanaalplaat kas is hier geen verslechtering te verwachten bij het Glas-Film-Kasconcept.

Samenvattend

In de Phalaenopsis teelt zijn ervaringen met isolerende kasdekken in de vorm van stegdoppel kanaalplaten in de warme fase die de transmissie van de kas sterk verlagen. In deze warme teeltfase wordt in kassen met een enkel glazen dek juist weer altijd geschermd wat in de winterdag ten koste gaat van licht. Toepassing van een isolerend kasdek met een betere transmissie in het Glas-Film-Kasconcept kan het gebruik van assimilatiebelichting enigszins beperken. Door de diffuse werking van het kasdek kan meer natuurlijk licht worden toegelaten wat de groeisnelheid kan verhogen en het gebruik van assimilatiebelichting verder kan beperken. De kans op voortakken zal afnemen door de hogere planttemperatuur. Door verminderde condensatie zal de vochtafvoer vaker op alternatieve wijze moeten gebeuren. Afhankelijk van de gekozen ontvochtigingsmethode kan ook dit energiezuinig gebeuren. Een hoger vochniveau is in principe voor de teelt een pre echter de praktijk is bijzonder terughoudend in verband met potentiële ziektedruk.

4 Energiebesparing Glas-Film-Kasconcept

Voor een drietal gewassen, tomaat, Phalaenopsis en groene planten, worden in dit hoofdstuk de resultaten van klimaat en energieberekeningen met KASPRO (de Zwart, 1996) getoond voor de verschillende kasdekken genoemd in Tabel 2.4. Voor het buitenklimaat is het selectiejaar SEL2000 gebruikt. Alle teelten zijn zo goed als mogelijk ingericht volgens Het Nieuwe Telen waarbij zo dicht mogelijk bij de gangbare praktijk is gebleven. Hierdoor wordt in alle cases van de teelten ontvochtigd met buitenlucht volgens het regain principe zoals dit nu ook wordt toegepast in de Venlow Energy kas. De efficiency die hierbij verondersteld wordt is 80%. De capaciteit is voor de cases met een enkel kasdek 30% lager verondersteld dan voor de cases met een dubbel kasdek, ervan uit gaande dat bij een enkel dek de ontvochtiging van de kas ondersteund wordt door de condensatie tegen het kasdek. De exacte warmteweerstand van de glas film combinatie is onbekend terwijl dit wel een belangrijke input parameter voor de modelberekeningen is. Aan de hand van rekenvoorbeelden over de isolatie van een spouw in combinatie met mogelijke luchtbeweging is de warmteweerstand van de glas-film combinatie zo goed mogelijk ingeschat. Voor het dubbel glas van de VenlowEnergy kas is deze wel bekend.

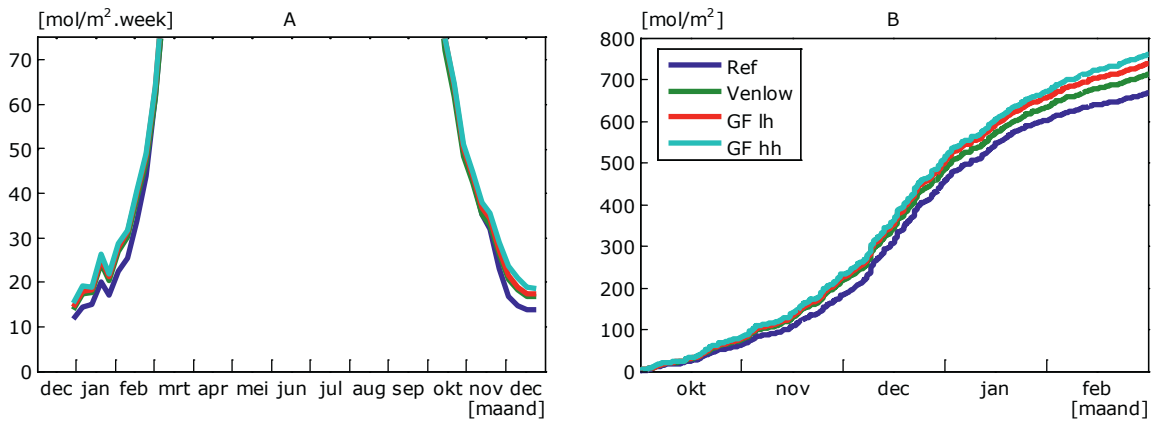
De volgende cases zijn vervolgens doorgerekend:

case	Omschrijving kasdek	
1	referentiekas (enkel glas)	Ref
2	Venlow Energy kas (dubbel glas)	Venlow
3	Glas-Film-Kasconcept met lage haze (glas en film)	GF_lh
4	Glas-Film-Kasconcept met hoge haze (glas en film)	GF_hh

4.1 Tomaat

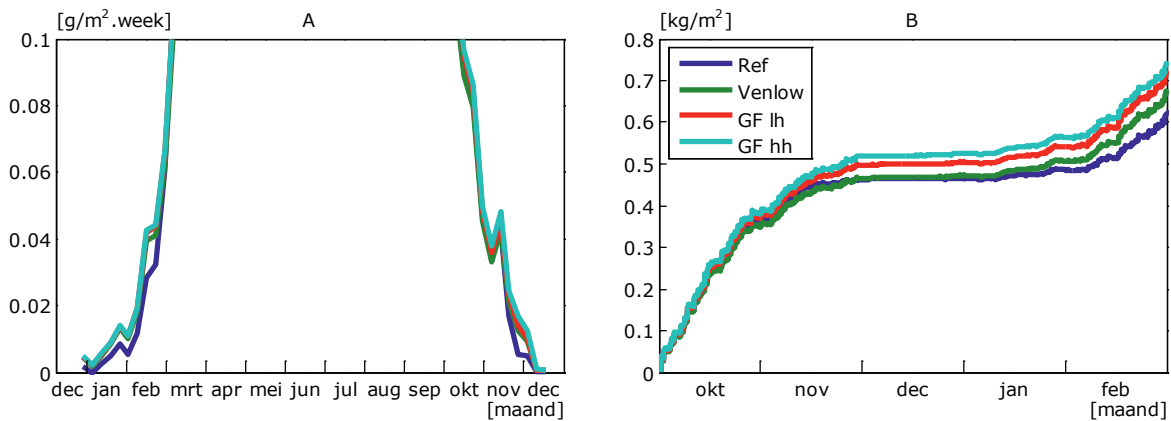
Bij een dubbel kasdek is één enkel beweegbaar scherm gemonteerd en bij een enkel kasdek is er van teeltstart (23 december) tot 20 februari naast een beweegbaar scherm ook nog een niet geperforeerd folie gebruikt. Daarnaast is het beweegbare scherm wat sneller gesloten in deze gevallen. In de cases met een dubbel kasdek is het scherm soms vertraagd gesloten om de gewenste temperatuurverlaging naar de nacht niet teveel te vertragen. De capaciteit van de ontvochtigingsinstallatie is in de cases met een dubbel kasdek op $8 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{uur}$ gezet waar deze in de cases met een enkel kasdek 30% lager is gekozen ($5.6 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{uur}$). De teelt wordt op 1 december beëindigd. Alle andere setpoints zijn gelijk gehouden. De belangrijkste resultaten zijn aan het eind van de paragraaf in Tabel 4.1. samengevat.

In Figuur 4.1. is de lichtsom per week weergegeven (A) en de cumulatieve lichtsom in de winter periode (B). De referentie (Ref) laat in de winter een duidelijk lager niveau zien. Dat is vooral het gevolg van het vaste folie scherm dat van 21 november tot 20 februari gemonteerd is om toch een laag energiegebruik te realiseren. In de periode oktober tot en met maart is er o.a. hierdoor 7, 11 en 14% meer PAR licht op het gewas in respectievelijk de Venlow, GF lh en GF hh gekomen. Dit is enigszins strijdig met de verwachting zoals geschetst in Tabel 2.2. maar bij bestudering van Figuur 2.5. is te zien dat direct licht, wat in deze periode altijd met grote hoeken ten opzichte van de loodrechte invalt, in de GF hh beter in de kas kan komen dan bij de GF lh. De verschillen zijn echter klein. In de zomer presteert de GF lh wel beter, wat gezien de resultaten in Tabel 2.2. ook te verwachten is. Op jaarbasis ontvangen de gewassen 5736, 5705, 5887 en 5850 mol/m^2 PAR licht voor respectievelijk Ref, Venlow, GF lh en GF hh. De glas-film combinaties presteren dus beter op licht. Deze resultaten zijn ook samengevat in Tabel 4.1.



Figuur 4.1. PAR lichtsom per week (A) en de cumulatieve lichtsom in de winterperiode (B) voor 4 verschillende kasdekken.

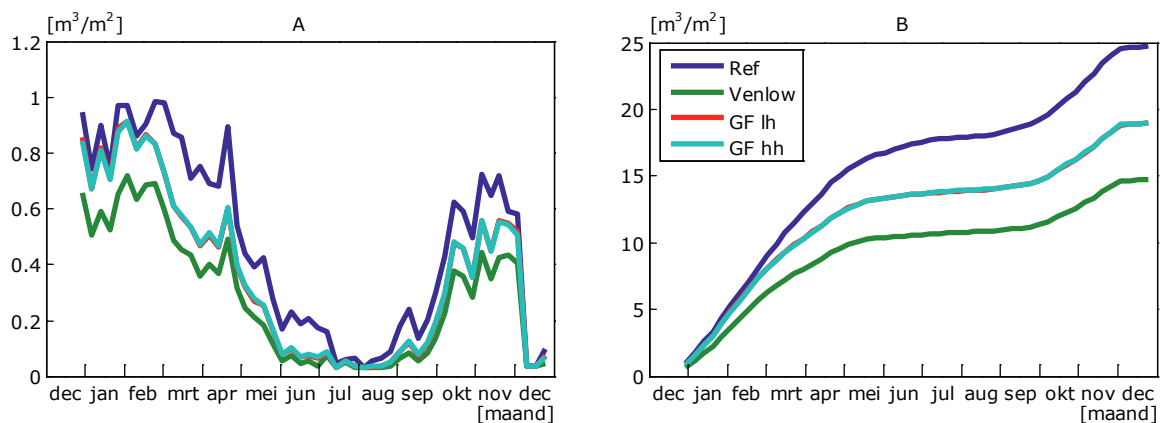
Licht is een belangrijke productie factor. Met behulp van een eenvoudig fotosynthese model is uitgerekend wat het licht en kasklimaat in termen van temperatuur en CO₂ betekend voor de potentiële drogestof productie van het gewas. Of dat in de praktijk ook daadwerkelijk uit het gewas kan worden gehaald is uiteraard van veel meer factoren afhankelijk. Het geeft echter wel een indicatie. Daarnaast is in de deze berekening ook het diffuse licht meegenomen indien in het kasdek, afhankelijk van de haze, direct licht in enige mate is omgezet in diffuus licht. De resultaten zijn in Figuur 4.2. getoond.



Figuur 4.2. Drogestof productie per week (A) en de cumulatieve drogestof productie in de winter (B) voor 4 verschillende kasdekken.

De cumulatieve grafiek (B) laat een iets ander beeld zien dan alleen het PAR licht zoals getoond in Figuur 4.1. (B). Dit is het diffuus effect. Op jaarbasis is de berekende drogestof productie 8.65, 8.44, 8.82 en 9.02 kg/m². In de moeilijke wintermaanden, oktober t/m februari zijn de verschillen nog wat groter en bedraagt de drogestof productie 84, 91 en 97% van GF hh welke de hoogste productie haalt voor respectievelijk Ref, Venlow en GF lh. Ook dit is het gevolg van de hogere lichtdoorlatendheid van direct licht bij grote hoeken van inval ten opzichte van de loofrecht zoals in Figuur 2.5. is getoond.

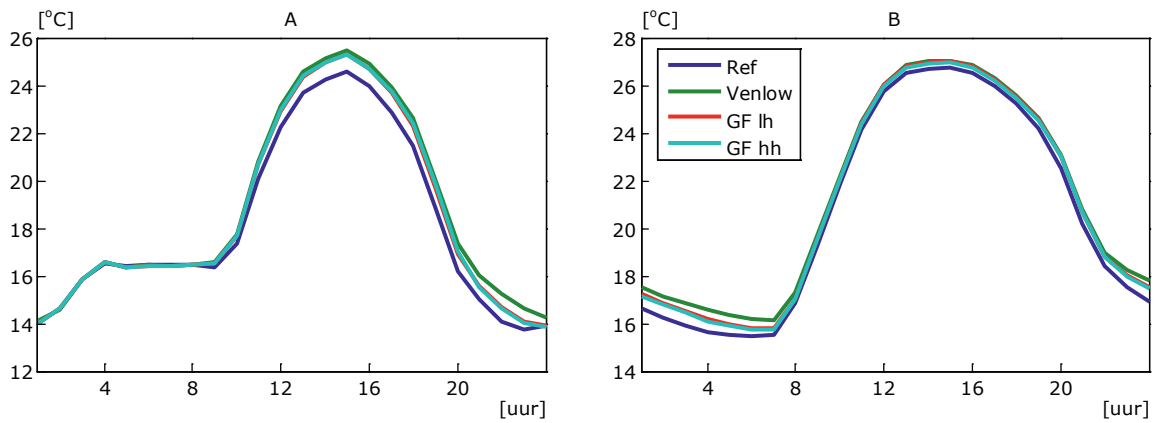
De effecten van de verschillende kasdekken op het energiegebruik zijn in Figuur 4.3. gepresenteerd.



Figuur 4.3. Energiegebruik per week (A) en het cumulatieve energiegebruik door het jaar (B) voor 4 verschillende kasdekken.

De Figuur laat zien dat in de perioden dat er een niet geperforeerd vast folie in de kas met enkel glas is gemonteerd, deze kas qua energieprestaties in de buurt komt van de glas-film combinaties. Voor de ontvochtiging is in alle gevallen het regain principe toegepast met een efficiency van 80%. Dat de glas-film combinaties onderling weinig verschillen is het gevolg van de materiaaleigenschappen van het glas en de film die het warmteverlies van deze 2 kasdekken vrijwel gelijk houdt. Alleen een verschil in transmissie waardoor er een verschil in de gratis geleverde zonnewarmte kan ontstaan en het kleine verschil in emissie van de film (Tabel 2.3.) zal gevolgen kunnen hebben voor het overall energiegebruik. De Venlow Energy kas presteert vooral beter door de low-emission coating die specifiek is opgebracht om de maximale energiebesparing te bereiken. Op jaarbasis zijn de energie gebruiken 24.8, 14.8, 19.0 en 19.0 m³/m² voor respectievelijk Ref, Venlow, GF lh en GF hh. Ter vergelijking, wordt van de Venlow ruit de low-emission coating vervangen door een diffuse laag met AR, dan zal het gebruik op 17.7 m³/m² uitkomen. Dit is gebaseerd op de eigenschappen van het kasdek (geen low-emission coating) en setpointinstellingen zoals bij de andere cases. De low-emission coating zoals toegepast in de VenlowEnergy kas (opgesloten in de spouw) kan bij de glas-film kas niet toegepast worden daar deze coating gaat eroderen, waarbij de transmissie sterk verlaagd wordt, indien deze coating vochtig wordt. Gezien de open structuur van de spouw in de glas-film kas is deze coating niet te gebruiken. Of er ander typen low-emission coatings beschikbaar zijn die wel tegen vocht bestand zijn is onbekend. In het geval dat dit technisch toch mogelijk is, dan kan het energieverbruik waarschijnlijk weer met ca. 3 m³/m² verlaagd worden. Daar staat tegenover dat dit type coating meestal een behoorlijk negatieve invloed heeft op de transmissie van het dek.

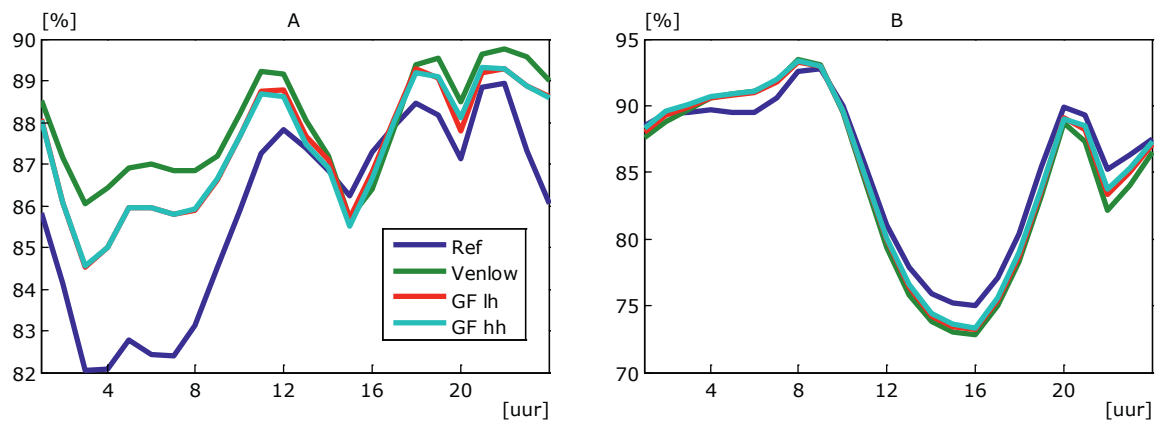
Naast licht is temperatuur een belangrijke productie factor. Voor twee typische maanden, maart en augustus is de cyclisch gemiddelde kasluchttemperatuur gepresenteerd in Figuur 4.4. In de maand maart (A) is goed te zien dat de dubbeldeks kassen wat makkelijker warm worden dan de enkeldeks kas waar op dat moment het permanente folie al verwijderd is. In de avond is goed te zien dat het warmteverlies van de enkeldeks kas het grootst is, de kas koelt het snelste af waar dat bij de Venlow het langzaamst gaat, wat ook te verwachten is. Overdag wordt de Venlow gemiddeld iets warmer maar dat komt uit de regeling. Immers de kas wordt sneller warm maar zolang de kasluchttemperatuur het setpoint ventilatie niet overschrijd, wordt er eigenlijk optimaal gebruik gemaakt van de gratis zonnewarmte. In de zomer zijn de verschillen overdag nog kleiner wat aangeeft dat de ventilatiecapaciteit niet de beperkende factor is. Wel is het langzamere afkoelen van de glas-film combinaties maar meer nog van de Venlow Energy kas opvallend. Gezien de ervaringen met de Venlow Energy kas is dus te verwachten dat dit geen problemen oplevert.



Figuur 4.4. Cyclisch gemiddelde kasluchttemperatuur in de maand maart (A) en de cyclisch gemiddelde kasluchttemperatuur in de maand augustus (B) voor 4 verschillende kasdekken.

De gewastemperatuur laat vrijwel gelijke resultaten zien. In maart neigt de gewastemperatuur in de Venlow naar een iets hoger niveau, wat o.a. te maken heeft met de emissiecoating. In de zomer wordt de GF lh iets warmer wat zal komen door de hogere transmissie, er komt eenvoudig meer energie op het gewas. Omdat het klimaat op de kasluchttemperatuur geregeld wordt, zal dit verschil in planttemperatuur niet zo snel “weggeregeld” worden.

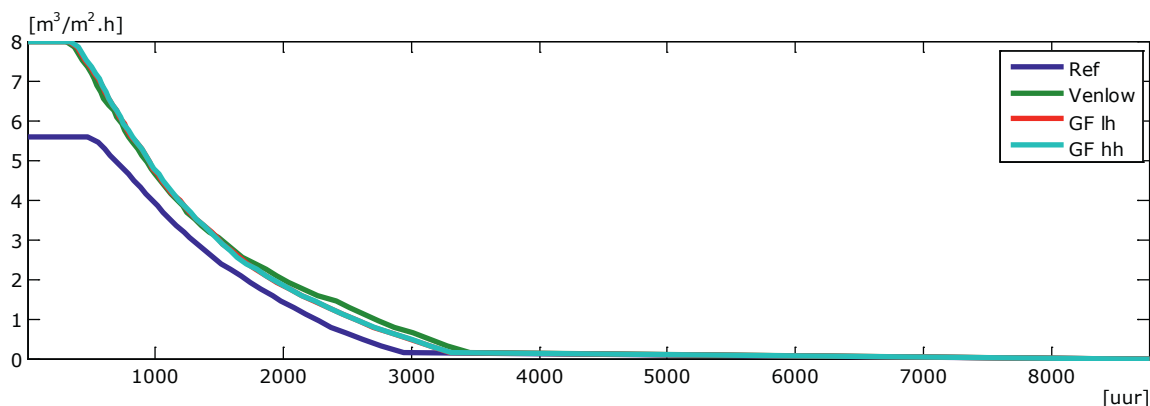
Vocht tenslotte is voor deze twee maanden in Figuur 4.5. A en B weergegeven. In maart is de enkeldeks kas droger door de ontvochtigingscapaciteit van het koude kasdek. Door het vele ventileren in augustus zijn de verschillen tussen de dubbele kasdekken erg klein.



Figuur 4.5. Cyclisch gemiddelde kaslucht RV in de maand maart (A) en de cyclisch gemiddelde kaslucht RV in de maand augustus (B) voor 4 verschillende kasdekken.

Door de verschillen in gerealiseerde vochniveaus in de kas en de kasdekmaterialen waardoor de dektemperatuur in de kas gaat verschillen, zijn er grote verschillen in condensatiestroom van de kaslucht naar het kasdek. In Tabel 4.1. zijn deze condensatiestromen weergegeven.

De inzet van de ontvochtigingsunit is in Figuur 4.6. te zien in een jaarbelasting durkromme. Hiervoor zijn alleen de uren dat er geteeld wordt in ogenschouw genomen. Hoewel de dubbeldeks kassen meer ontvochtigingscapaciteit hebben moeten deze toch meer uren worden ingezet. Een deel van wat in de enkeldeks kas met de condensatie tegen het kasdek wordt afgevoerd moet in de dubbeldeks kassen met deze unit worden afgevoerd. Een ander deel van het vocht wordt automatisch met de toegenomen ventilatie ten gevolge van het kleinere warmteverlies van de kas afgevoerd.



Figuur 4.6. Jaarbelasting duurkromme van ontvochtigingscapaciteit van de regain unit voor 4 verschillende kasdekken.

Tabel 4.1. Overzicht belangrijkste resultaten tomaat per jaar.

	Warmte verbruik	Elektriciteit verbruik	Condensatie kasdek	Aanvullende CO ₂ vraag	Jaar lichtsom	Winter lichtsom	Winter drogestof productie
	[m ³ /m ²]	[kWh/m ²]	[kg/m ²]	[kg/m ²]	[mol/m ²]	[mol/m ²]	[% t.o.v. Ref]
Ref	24.8	6.5	83	24	5737	667	100
Venlow	14.8	6.7	3	32	5706	712	108
GF_lh	19.0	6.9	23	30	5888	738	115
GF_hh	19.0	6.9	23	30	5851	759	119
Venlow2 ¹⁾	17.7	6.9	16	31	5937	764	121

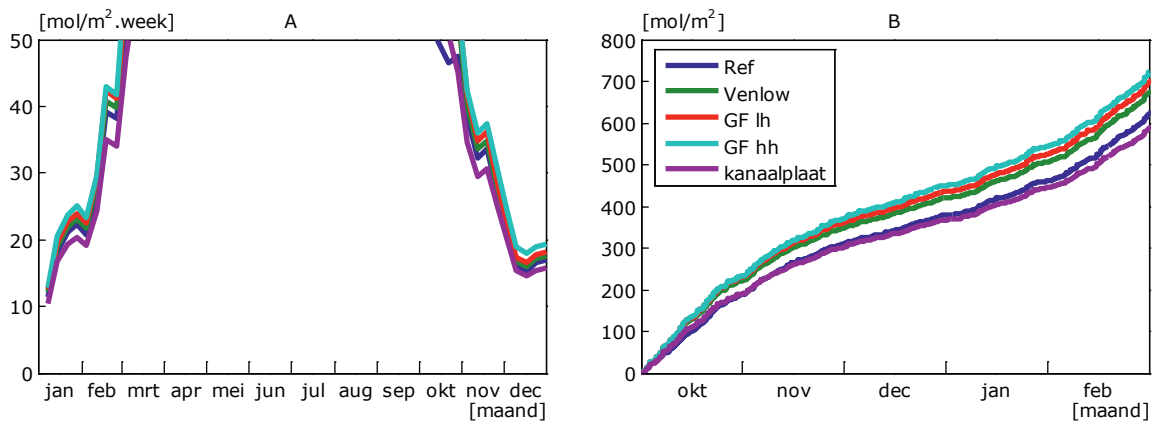
¹⁾ Als Venlow ruit maar de low-emission coating vervangen door een diffuse laag met AR.

4.2 Groene planten

Groene planten is een verzamelnaam voor groene en bonte planten in Nederland, die voornamelijk bestaan uit: *Dracaena*, *Ficus*, *Hedera*, *Chrysalidocarpus* (beter bekend als *Areca*), *Yucca*, *Calathea* en *Nolina*. De meeste van deze gewassen zijn subtropisch tot tropisch van oorsprong en worden afhankelijk van de hoeveelheid licht, jaarrond geteeld bij stooktemperaturen globaal tussen de 18-22 °C met in de winter temperaturen aan de onderkant van deze range en in de zomer aan de bovenkant. De klimaatbehoefte van deze gewassen is grotendeels vergelijkbaar. De teelt kenmerkt zich in de zomer door veel licht weg te schermen. Met de kennis verkregen bij projecten als grip op licht (van Noort *et al.* 2013) kan er in de zomer met veel meer licht geteeld worden, mits dit licht wel (grotendeels) diffuus is gemaakt. In de zomer kan hiermee tot 15 mol licht worden toegelaten, terwijl in de praktijk tot 7 á 8 mol wordt geteeld, wat meestal met 2 schaduwsschermen bereikt wordt, een transparant isolerend doek als een XLS10 en een zomerdoek als XLS14 waarbij ook nog wel eens krijt wordt toegepast. In de winter wordt er in deze teelten niet belicht zodat een hoge transmissie in de winter van groot belang is. In de praktijk worden soms kassen met een isolerend kasdek van stegdoppel kanaalplaat toegepast. Voor het vergelijk is voor deze teelt in deze paragraaf ook een stegdoppel kanaalplaat aan de berekeningen toegevoegd. De watergift van deze teelt op betonvloeren gaat middels eb-vloed. Hierdoor wordt om de paar dagen een grote hoeveelheid vocht ingebracht die weer zal gaan opdrogen. De belangrijkste resultaten zijn aan het eind van de paragraaf in Tabel 4.2. samengevat.

De referentie kas heeft 2 beweegbare schermen en de kassen met dubbeldek slechts 1 zomerdoek. Voor de dubbeldeks kassen is een XLS16 zomerdoek gebruikt, echter om de verschillende kasdek transmissies te compenseren zijn de lichtniveaus waarbij het zomerdoek wordt gesloten wel aangepast. Dit om in de zomer vergelijkbare lichthoeveelheden toe te kunnen passen. Het schermgebruik in de zomer is niet geoptimaliseerd echter de energetische effecten hiervan zijn beperkt en de lichteigenschappen in de winterdag zijn van groter belang. Energetisch heeft dit dan ook nagenoeg geen invloed.

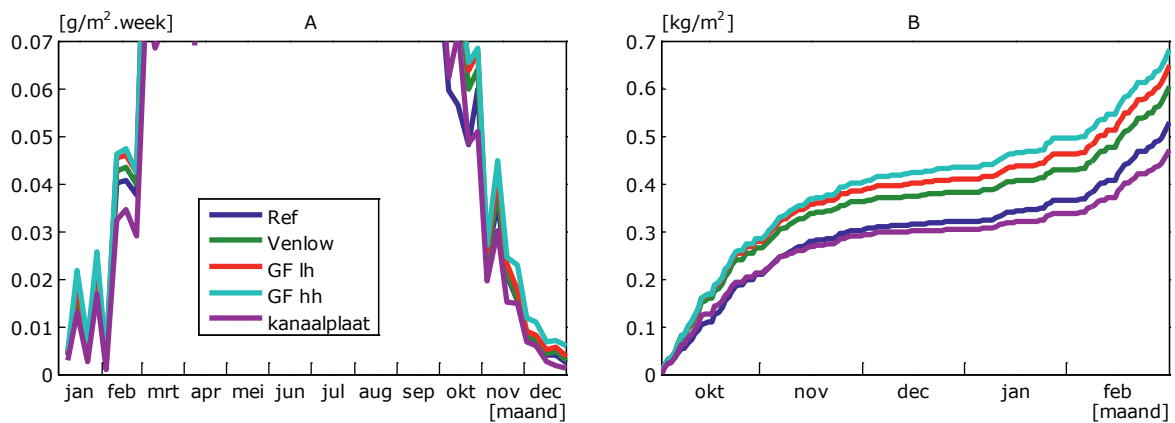
In Figuur 4.7. is de lichtsom per week weergegeven (A) en de cumulatieve lichtsom van de winterperiode (B). Om de effecten in de winterperiode te verduidelijken is deze cumulatieve grafiek (B) op 1 oktober gestart.



Figuur 4.7. PAR lichtsom per week (A) en de cumulatieve lichtsom van de winterperiode (B) voor 5 verschillende kasdekken.

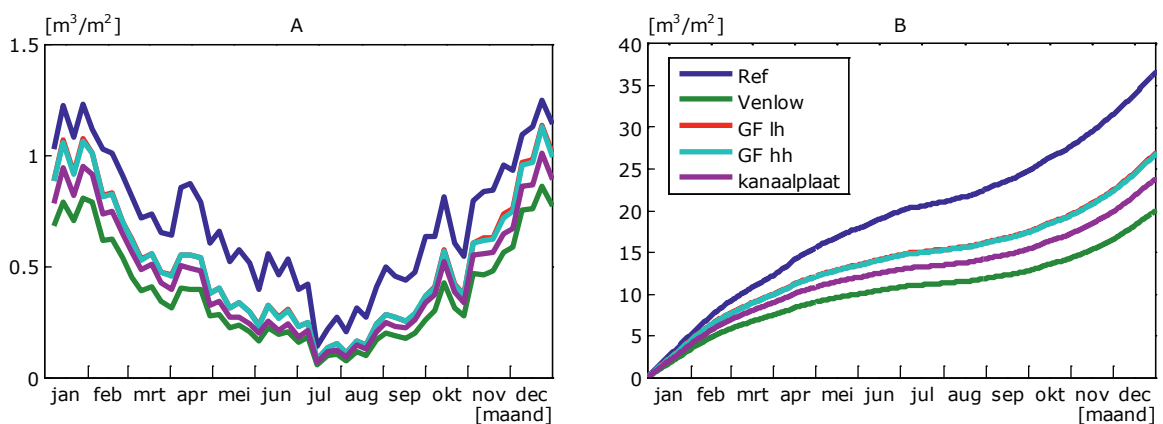
Figuur 4.7. A laat forse verschillen zien in de winterperiode, waarbij de kanaalplaat er opvallend laag uitkomt, wat gezien de transmissie eigenschappen ook niet zal verwonderen. Indien de winterperiode voor licht van 1 oktober t/m 1 maart wordt beschouwd, dan ontvangen de gewassen 623, 676, 701, 721 en 588 mol/m^2 PAR licht voor respectievelijk Ref, Venlow, GF lh, GF hh en kanaalplaat in deze periode. De glas-film combinaties presteren dus beter op licht dan de andere cases. De stegdoppel kanaalplaat presteert een ruime 20% slechter in dit tijdvak dan de beste glas-film combinatie de GH hh. Zie ook de opmerking in paragraaf 4.1 waarom GH hh wat beter presteert dan GF lh. De enkeldeks glazen referentie kas presteert relatief laag doordat in deze kas voor energiebesparing het aanwezig transparante scherm op koude dagen dicht blijft. In de dubbeldeks kassen waar maar 1 scherm met een slechte transmissie aanwezig is gaat het scherm altijd open bij zonsopkomst omdat anders teveel natuurlijk licht wordt weggeschermd.

Een indicatie wat dit voor de drogestofproductie van het gewas betekent is getoond in Figuur 4.8. Hier geldt ook weer dat effecten op gewasopbouw en daarmee kwaliteitsaspecten in deze grafiek niet tot uiting komen. In Figuur 4.8A is de wekelijkse drogestof productie en in Figuur B de cumulatieve drogestof productie voor de winterperiode getoond. In Figuur B valt direct de slechts zeer beperkte groei in de december op. Licht is in deze periode duidelijk de limiterende factor. Er zijn zelfs dagen dat de groei (drogestof productie) negatief uitvalt, wat wil zeggen dat de plant voor onderhoud meer suikers gebruikt heeft dan er worden aangemaakt. Wordt weer de periode 1 oktober tot en met 1 maart als winter beschouwd, dan zijn de drogestof producties 0.53, 0.61, 0.65, 0.68 en 0.47 kg/m^2 voor respectievelijk ref, Venlow, GF lh, GF hh en kanaalplaat in deze periode. Doordat het transparante scherm in de referentie kas in deze periode ten behoeve van de energiebesparing vaak gesloten is geweest wordt een groot deel van het licht in deze kas alsnog diffuus gemaakt zodat het effect op de productie iets kleiner wordt dan op grond van de lichtsom in deze periode verwacht zou kunnen worden. In de stegdoppel kanaalplaat kas wordt ten gevolge van de lagere lichttransmissie in de winter duidelijk slechter gepresteerd op potentiële gewasgroei.



Figuur 4.8. Drogestof productie per week (A) en de cumulatieve drogestof productie van de uren dat het zonnescherm geopend is door het jaar (B) voor 5 verschillende kasdekken.

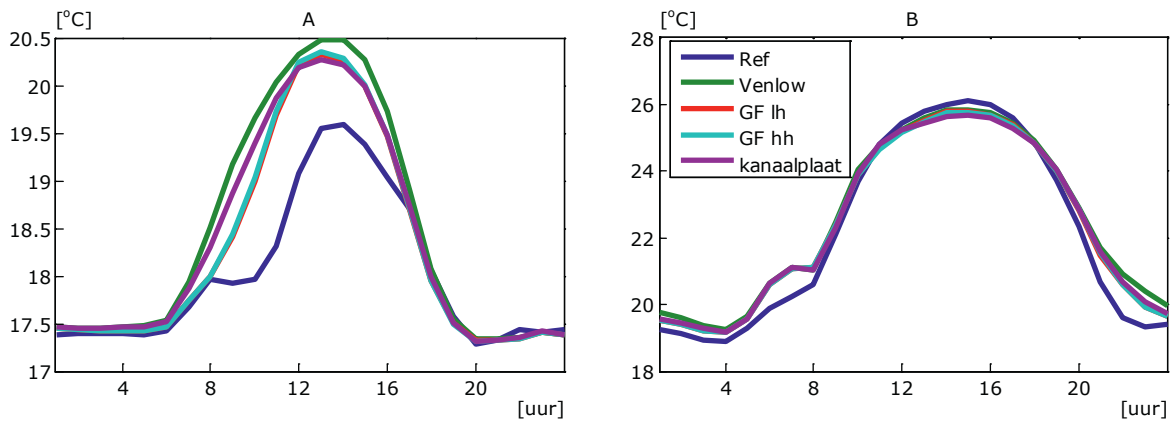
De effecten van de verschillende kasdekken op het energiegebruik zijn in Figuur 4.9. gepresenteerd. Zoals al enigszins te verwachten komt de stegdoppel kanaalplaat kas tussen de Venlow en de glas-film kassen uit. Immers de isolatiewaarde is ook in deze volgorde gerangschikt. De lagere lichttransmissie van de stegdoppel kanaalplaat heeft hierbij zeker een verhogend effect op het energiegebruik. Het dubbele scherm in de referentie kas presteert minder dan de dubbeldeks kassen. De isolatie waarde van het zomerdoek speelt hierbij ook een rol.



Figuur 4.9. Energiegebruik per week (A) en het cumulatieve energiegebruik door het jaar (B) voor 5 verschillende kasdekken.

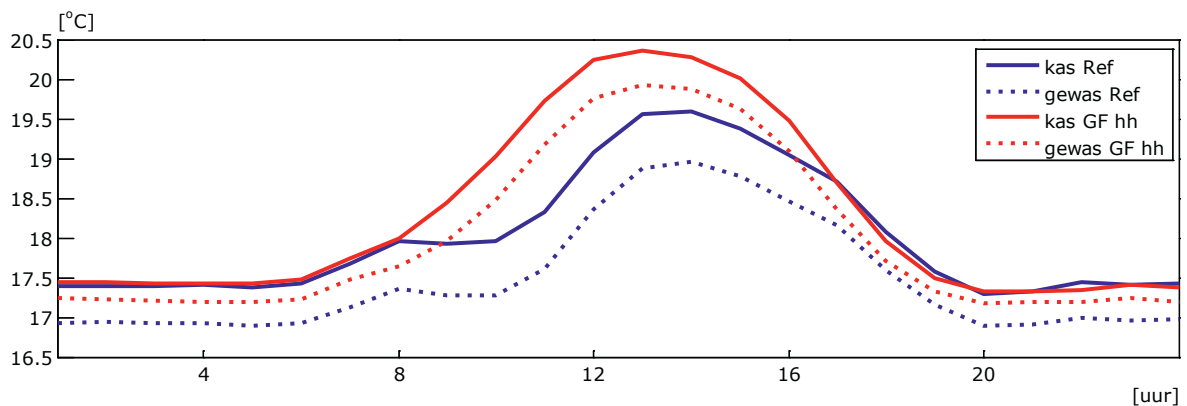
Op jaarbasis zijn de energie gebruiken 36.5, 20.0, 26.9, 26.7 en 23.8 m^3/m^2 voor respectievelijk Ref, Venlow, GF lh, GF hh en kanaalplaat.

Voor twee typische maanden, februari, waar nog geen zonnescherm gebruikt wordt en augustus, is de cyclisch gemiddelde kasluchttemperatuur gepresenteerd in Figuur 4.10. In de maand februari (A) is goed te zien wat het effect is van het ten behoeve van licht al snel openen van het transparante scherm op de kasluchttemperatuur. Daarnaast wordt de referentiekas overdag ook minder warm. Overdag wordt de Venlow gemiddeld iets warmer maar dat komt naast de hogere isolatie van het kasdek ook voort uit de regeling. Immers de kas wordt sneller warm maar zolang de kasluchttemperatuur het setpoint ventilatie niet overschrijdt, wordt er eigenlijk optimaal gebruik gemaakt van de gratis zonnearmte. In de zomer zijn de verschillen overdag ook klein. Dat de referentie wat warmer neigt te worden is het gevolg van het dubbele schermgebruik om zonlicht te weren. In deze kas wordt naast het zomerscherm ook het XLS10 doek grotendeels gesloten om het directe licht weg te nemen en om te zetten in diffuus. Wel is het langzamere afkoelen van de glas-film combinaties maar meer nog van de Venlow opvallend. Dat dit minder sterk naar voren komt dan in de tomaat (paragraaf 4.1) is het gevolg van het hogere setpoint verwarmen in de groene planten dan bij tomaat.



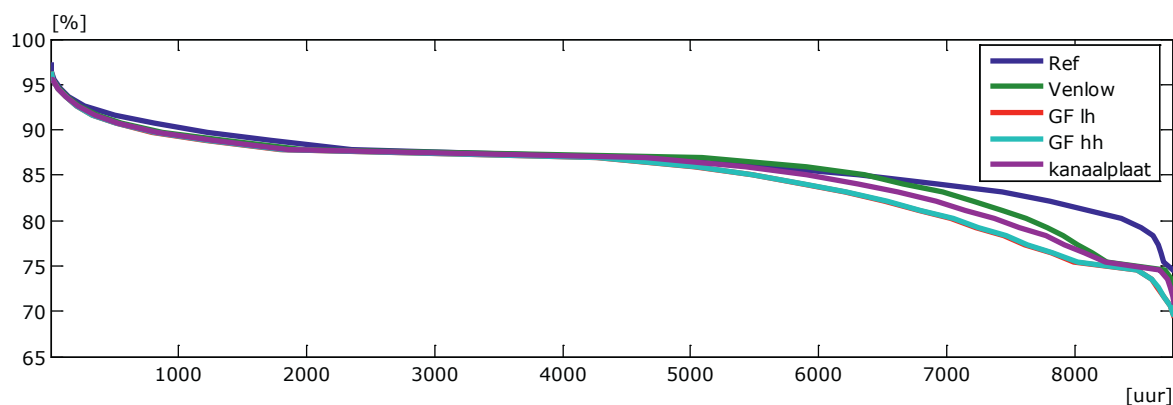
Figuur 4.10. Cyclisch gemiddelde kasluchttemperatuur in de maand februari (A) en de cyclisch gemiddelde kasluchttemperatuur in de maand augustus (B) voor 5 verschillende kasdekken.

De gewastemperatuur laat vrijwel gelijke resultaten zien. In Figuur 4.11. is voor de referentie en de glas-film met hoge haze de kaslucht en gewas temperatuur getoond als cyclisch gemiddelde in de maand februari. Hierbij is het opvallend dat het verschil tussen kaslucht en gewastemperatuur gedurende de gehele dag vrijwel constant is en in de glas-film met hoge haze in de nacht een duidelijk kleiner verschil kent. In de ochtend tussen 10 en 12 loopt het verschil tussen deze 2 kassen op tot meer dan 2°C, wat te maken heeft met openen van de schermen in de referentie kas.



Figuur 4.11. Cyclisch gemiddelde kaslucht- en gewas-temperatuur in de maand februari van de referentie en glas-film met hoge haze case.

Vocht tenslotte is in Figuur 4.12. als een jaarbelastingduurkromme weergegeven. Het dubbele scherm in de Ref beperkt in de zomer de vochtafvoer enigszins zodat het vocht wat hoger uitkomt dan in de - dubbeldekse kassen. Ook zullen deze dubbeldekskassen in de avond wat vaker en langer ventileren omdat de kas langzamer afkoelt zoals in Figuur 4.10B is getoond. Dit speelt uiteraard alleen een rol als in de avond geventilerd moet worden om een gewenst nachttemperatuur te halen. Dit speelt bij groene planten veel minder dan bij tomaat. De stabilisatie op 75% is het gevolg van de verneveling.



Figuur 4.12. Jaarbelasting duerkromme van de kaslucht RV voor 5 verschillende kasdekken.

In Tabel 4.2. zijn de belangrijkste resultaten van deze paragraaf samengevat. In tegenstelling tot paragraaf 4.1 wordt hier geen jaar licht en drogestof productie getoond. Het gebruik van de zonwering heeft hier grote invloed op en de verschillende kasdekken zullen een verfijning van de setpoints van de zonwering nodig hebben die buiten de scope van dit project valt.

Tabel 4.2. Overzicht belangrijkste resultaten groene planten.

	Warmte verbruik	Elektriciteit verbruik	Condensatie kasdek	aanvullende CO ₂ vraag	winter lichtsom	winter lichtsom	winter ds productie	winter ds productie
	[m ³ /m ²]	[kWh/m ²]	[kg/m ²]	[kg/m ²]	[mol/m ²]	[% t.o.v Ref]	[kg/m ²]	[% t.o.v Ref]
Ref	36.5	6.7	84	3	623	100	0.53	100
Venlow	20.0	7.5	15	10	676	109	0.60	115
GF_lh	26.9	7.3	51	8	701	112	0.65	123
GF_hh	26.7	7.3	52	8	721	116	0.68	129
kanaalplaat	23.8	7.5	28	9	588	94	0.47	89

4.3 Phalaenopsis

De Phalaenopsis teelt kenmerkt zich door twee teelfasen met grote verschillen. In de eerste fase worden kleine planten ongeveer een halfjaar bij een temperatuur van minimaal 28 °C geteeld. In verband met kwaliteitsproblemen mag de temperatuur niet onder die temperatuur dalen. In de tweede fase mag de kasluchttemperatuur niet warmer worden dan 19 á 20 °C, de koelfase. In deze paragraaf worden deze 2 fasen afzonderlijk behandeld. De eisen die aan de kassen gesteld worden zijn ook zo verschillend dat deze bedrijven een deel specifiek voor de warme en een deel speciaal voor de koeling hebben ingericht. In de praktijk is er na de koeling nog een afweek maar de verschillen zijn beperkt en deze twee uitersten zullen de gevolgen van een glas-film dek voor dit gewas voldoende bespreken. Van het totale bedrijfsoppervlak is ca. 40% warm, 20% echt gekoeld en de rest, de afweek op een temperatuur iets hoger dan van de koeling maar met meer temperatuurvrijheid.

De watergift van deze teelt gaat middels beregening. Hierdoor wordt om de paar dagen een grote hoeveelheid vocht ingebracht die weer zal gaan opdrogen. Daarnaast is bekend dat niet zo zeer de verdamping van de plant maar ook de verdamping uit de pot een grote bijdrage aan de vochtinhouding in de kas heeft. Hiervoor is een “constante” verdampfingsflux van de bodem naar de kaslucht ingebracht.

De ontvochtigingscapaciteit van de regain installatie is voor dit gewas voor alle cases gelijk gehouden op een capaciteit van maximaal 5 m³/m².uur. Dit om bij de enkeldekskas het transparante scherm ook daadwerkelijk altijd gesloten te kunnen houden. Anders had hier wellicht soms het scherm op een kier moeten worden getrokken om de vochtafvoer te verhogen.

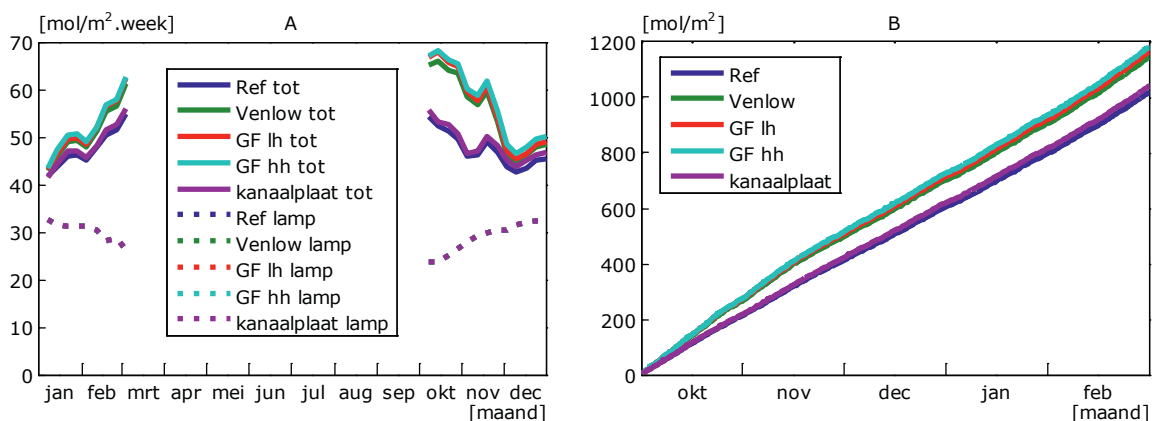
Hoewel in deze teelt gebruik gemaakt wordt van belichting wordt voor de duidelijkheid om het vergelijk tussen de cases gelijk te houden alle warmte met een ketel geproduceerd en de elektriciteit ingekocht. In de praktijk zal vrijwel altijd een wk-installatie worden ingezet.

4.3.1 Warme fase

In deze teeltfase wordt er belicht met maximaal 16 uur per dag met een intensiteit van $80 \mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$. In deze teelt wordt veel aandacht besteed aan het beheersen van het licht. Zo wil men in deze fase niet meer licht dan 7 á 8 $\text{mol}/\text{m}^2.\text{dag}$ geven om de kwaliteit van de plant te waarborgen. Om dit te bereiken wordt er veel geschermd en zelfs gekrijt. Een deel van de teelt is er dus de "vreemde" situatie dat er al veel geschermd en gekrijt wordt om lichtpieken te vermijden terwijl in de nacht de lampen nog branden. Om de verschillende onderdelen van belichting, scherm en krijt voor de verschillende kasdekken op elkaar af te stemmen zou een uitgebreide optimaliseringsslag uitgevoerd moeten worden die buiten de scope van deze studie ligt. Daarom is aan de belichting voor alle cases niets veranderd. Van 1 november tot 15 februari worden de schermen ten behoeve van zonwering exact gelijk gestuurd. Verschillen in gerealiseerd lichtniveaus zouden dus opgevangen kunnen worden door meer of minder te belichten wat naast energiegebruik voor warmte ook invloed zal hebben in het energiegebruik voor de belichting. De kas met enkeldek heeft voor reducering van het energiegebruik het transparante scherm jaarrond gesloten. Daarnaast zijn de kassen altijd met minimaal 2 schermen uitgerust. Omdat er belicht wordt is er een donker doek om lichtuitstoot te voorkomen. Daarnaast is er ook altijd een schaduw scherm, hier voor alle cases gelijk gehouden, een XLS16 doek. Voor het vergelijk is voor deze teelt in deze paragraaf ook een stegdoppel kanaalplaat aan de berekeningen toegevoegd wat in de praktijk voor de warme afdeling ook regelmatig voorkomt.

De belangrijkste resultaten zijn aan het eind van de paragraaf in Tabel 4.3. samengevat.

In Figuur 4.13. is de totale lichtsom per week en de lichtsom van de lampen weergegeven (A) en de cumulatieve totale lichtsom van de winterperiode (B). Om de effecten in de winterperiode te verduidelijken is deze cumulatieve grafiek (B) op 1 oktober gestart.



Figuur 4.13. PAR lichtsom per week (A) en de cumulatieve lichtsom van de winterperiode (B) voor 5 verschillende kasdekken.

Figuur 4.13. A laat forse verschillen zien in de winterperiode. Het aandeel van de lampen is overal gelijk omdat hier niet aan geoptimaliseerd is. Het lampenaandeel in het totaal is in de winter soms bijna 2/3 van de weekssom. Andersom geredeneerd door minder te belichten zou er evenveel licht gegeven kunnen worden bij een kleinere inzet van elektriciteit voor de belichting. Hierbij geldt dat een week lang 1 uur per dag minder belichten ruim 2 mol minder lamplicht in die week betekent en een besparing op elektriciteit van 0.35 kWh. Anders gezegd om de in Figuur 4.13B getoonde verschillen in PAR som met belichting op te heffen had er meer dan 550 uur minder belicht hoeven te worden, wat overeenkomt met een besparing op elektriciteit van 28 kWh.

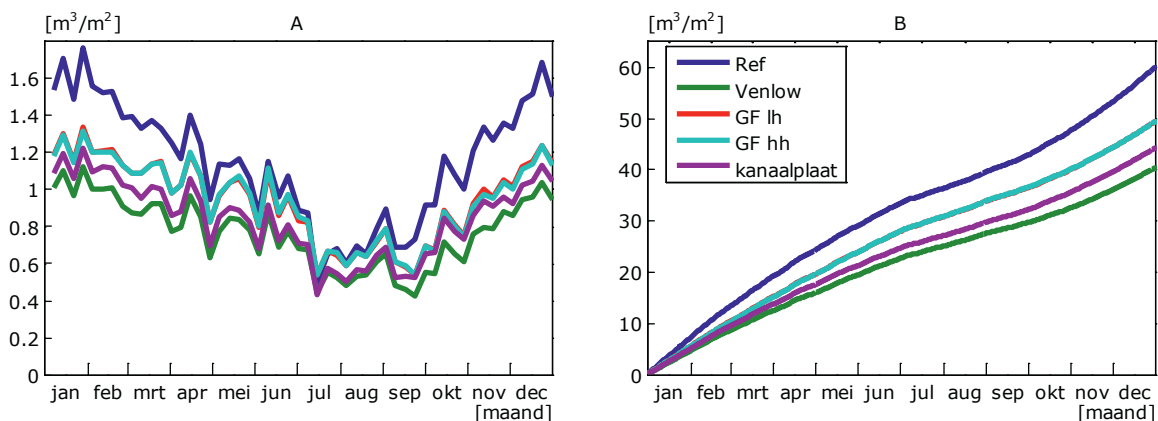
De Figuur laat zien dat de enkeldeks kas er als laagste uitkomt, wat gezien het permanent gesloten transparante doek ook niet vreemd is.

Indien de winterperiode voor licht van 1 oktober t/m 1 maart wordt beschouwd, dan ontvangen de gewassen 1016, 1145, 1164, 1180 en 1038 mol/m² totaal aan PAR licht voor respectievelijk Ref, Venlow, GF lh, GF hh en kanaalplaat in deze periode. Zonder belichting was dit 360, 489, 508, 524 en 382 mol/m² aan PAR licht geweest. Deze verschillen zijn nog wat groter dan op grond van de transmissie eigenschappen van de kassen verwacht zou mogen worden, maar door het voorzichtig op temperatuur sturen van het klimaat wordt in de regeling extra voorzichtig met schermsturingen omgesprongen om koudeval te voorkomen.

De gevolgen van deze lichtsommen op de drogestofproductie is nog lastiger te geven dan bij de ander gewassen omdat het lampeneffect en de sturing hiervan een grote invloed heeft op de totaal som.

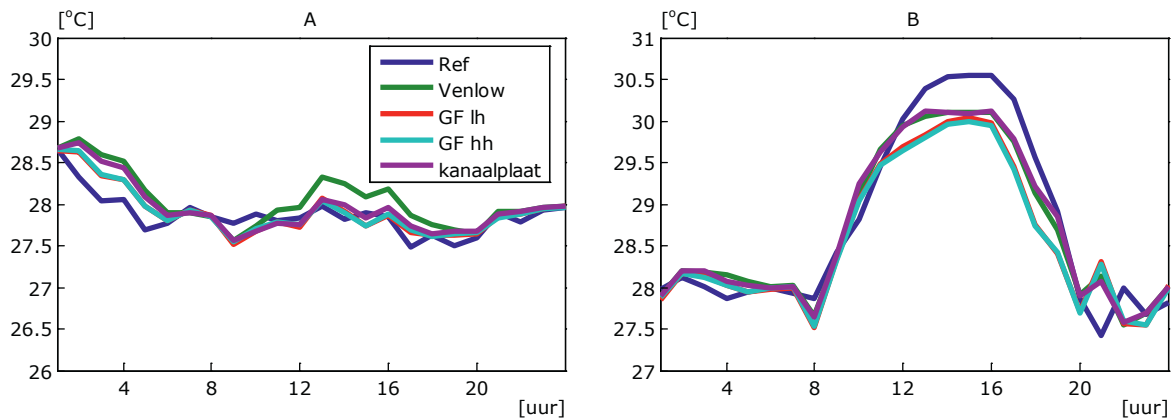
Hierbij geldt ook nog eens dat effecten op gewasopbouw en daarmee kwaliteitsaspecten die bij dit gewas een bijzonder grote rol spelen niet in deze cijfers zijn mee te nemen. Door de grote onzekerheid worden deze gegevens in deze paragraaf dan ook niet gegeven. Algemeen kan gesteld worden dat in de winterperiode als licht de limiterende factor is meer licht ook een sneller productie betekend.

De effecten van de verschillende kasdekken op het warmtegebruik van de kassen zijn in Figuur 4.14. gepresenteerd. Net als bij de andere gewassen komt de stegdoppel kanaalplaat kas tussen de Venlow en de glas-film kassen uit. Immers de isolatiewaarde is ook in deze volgorde gerangschikt. Het enkele kasdek laat bij dit gewas een groter verschil zien dan bij de voorgaande gewassen. De lagere lichttransmissie van de enkeldeks kas met het permanent gesloten scherm heeft hierbij zeker een verhogend effect op het energiegebruik. Op jaarbasis zijn de energie gebruiken 60.0, 40.4, 49.5, 49.4 en 44.3 m³/m² voor respectievelijk Ref, Venlow, GF lh, GF hh en kanaalplaat.



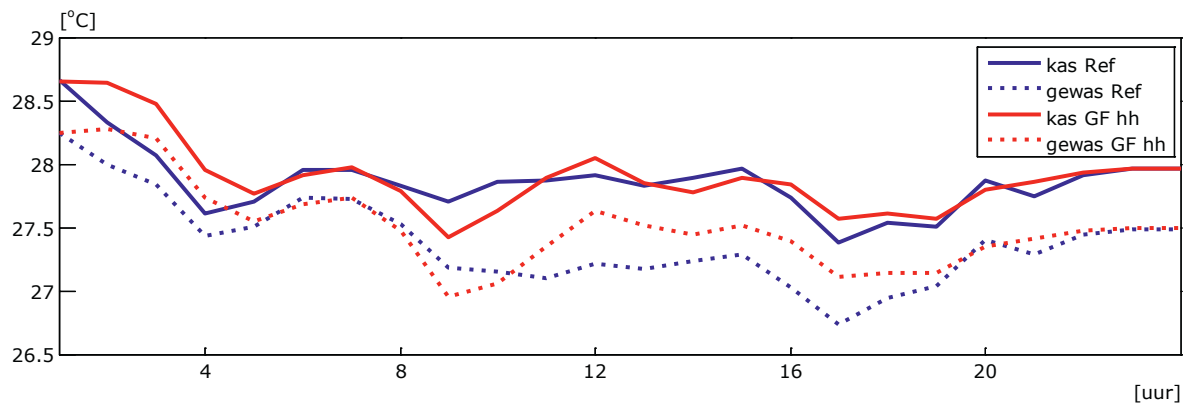
Figuur 4.14. Energiegebruik per week (A) en het cumulatieve energiegebruik door het jaar (B) voor 5 verschillende kasdekken.

Voor twee typische maanden, februari, waar nog geen krijt gebruikt wordt, maar waar al wel regelmatig het zonnescherm overdag dicht kan lopen en juli, is de cyclisch gemiddelde kasluchttemperatuur gepresenteerd in Figuur 4.15. In de maand februari (A) is de kleine variatie in kasluchttemperatuur te zien wat ook in de lijn der verwachting licht. In de nacht gaan de lampen rond middernacht aan wat een verhoging van de kasluchttemperatuur betekent. De glas kas met de laagste isolatie graad koelt hierop wat sneller af dan de ander kassen. De hoge isolatiegraad van de Venlow komt overdag het duidelijkst naar voren. Als de zon dan even doorkomt loopt de kasluchttemperatuur sneller op. In de zomer zijn de verschillen overdag iets anders dan verwacht zou worden maar hier speelt het meestal gesloten transparante scherm een belangrijke rol in. Die beperkt namelijk de ventilatiecapaciteit van de teeltruimte waardoor warmte minder gemakkelijk afgevoerd kan worden.



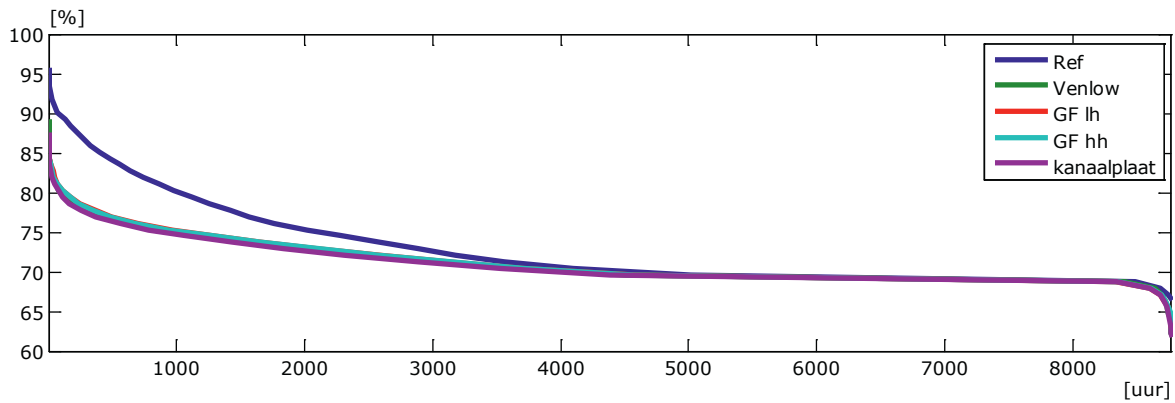
Figuur 4.15. Cyclisch gemiddelde kasluchttemperatuur in de maand februari (A) en de cyclisch gemiddelde kasluchttemperatuur in de maand juli (B) voor 5 verschillende kasdekken.

De gewastemperatuur laat overeenkomstige resultaten zien. In Figuur 4.16. is voor de referentie (enkel dek) en de glas-film met hoge haze de kaslucht en gewas temperatuur getoond als cyclisch gemiddelde in de maand februari. Voor de Phalaenopsis wordt er wel op een kasluchttemperatuur geregeld maar of er wel of geen voortakkers gaan ontstaan zal meestal toch met de gewastemperatuur te maken hebben. De Figuur laat zien dat overdag ondanks gelijke kasluchttemperatuur de gewastemperatuur iets achter blijft bij de enkeldeks kas ondanks het permanent gesloten transparante scherm. De verschillen zijn echter erg klein.



Figuur 4.16. Cyclisch gemiddelde kaslucht- en gewas-temperatuur in de maand februari van de referentie en glas-film met hoge haze case.

Vocht tenslotte is in Figuur 4.17. als een jaarbelastingduurkromme weergegeven. Het permanent gesloten scherm in de Ref beperkt in de zomer de vochtafvoer enigszins zodat het vocht hoger uitkomt dan in de - dubbeldeks kassen waar beduidend minder geschermd wordt.



Figuur 4.17. Jaarbelasting duerkromme van de kaslucht RV voor 5 verschillende kasdekken.

In Tabel 4.3. zijn de belangrijkste resultaten van deze paragraaf samengevat. Er wordt geen jaar lichtsom en drogestof productie getoond. Het gebruik van de zonwering en krijten heeft hier een te grote invloed op en de verschillende kasdekken zullen een verfijning van de setpoints van de zonwering nodig hebben welke buiten de scope van dit project valt. De warmtevraag is in het algemeen zo groot dat voor de CO₂ dosering geen aanvullende CO₂ ingekocht hoeft te worden.

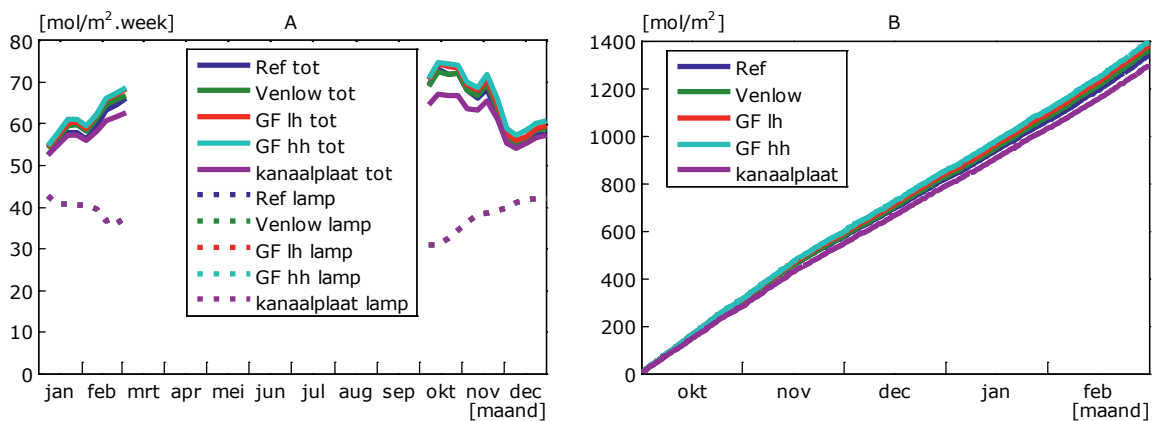
Tabel 4.3. Overzicht belangrijkste resultaten van de warme teeltfase van Phalaenopsis.

	Warmte gebruik [m ³ /m ²]	Elektriciteit gebruik [kWh/m ²]	Condensatie kasdek [kg/m ²]	aanvullende CO ₂ vraag [kg/m ²]	lichtsom		
					totaal winter	totaal winter	lamp winter
					[mol/m ²]	[% t.o.v Ref]	[mol/m ²]
Ref	60.1	172.5	100	0	1016	100	656
Venlow	40.4	171.7	7	0	1145	113	656
GF_lh	49.5	171.7	40	0	1164	115	656
GF_hh	49.4	171.8	41	0	1180	116	656
kanaalplaat	44.3	171.7	19	0	1038	102	656

4.3.2 Koeling

In deze teeltfase wordt er belicht met maximaal 16 uur per dag met een intensiteit van 105 μmol/m².s. Er wordt wat meer licht toegelaten dan in de warme fase maar nog steeds wordt er veel geschermd en gekrijt. Het setpoint verwarmen in deze fase rond de 18 °C, wordt het warmer dan 18.5 °C en is de buitentemperatuur hoger dan 17 °C, dan wordt de mechanische koeling ingezet. Daarbuiten wordt de kasluchttemperatuur met de luchtramen gehandhaafd.

In Figuur 4.18. is de totale lichtsom per week en de lichtsom van de lampen weergegeven (A) en de cumulatieve totale lichtsom van de winterperiode (B). Om de effecten in de winterperiode te verduidelijken is deze cumulatieve grafiek (B) op 1 oktober gestart.

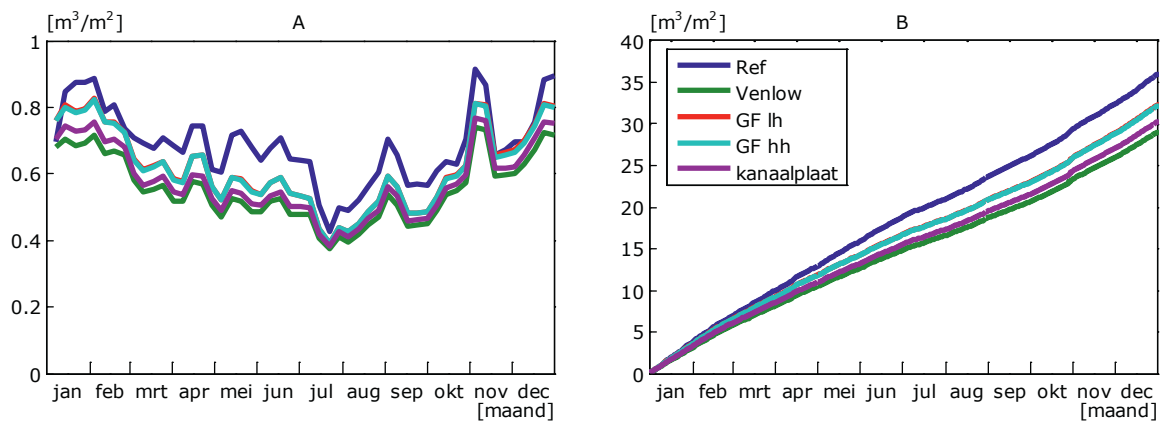


Figuur 4.18. PAR lichtsom per week (A) en de cumulatieve lichtsom van de winterperiode (B) voor 5 verschillende kasdekken.

Figuur 4.18. A laat wederom forse verschillen zien in de winterperiode. Het aandeel van de lampen is overall gelijk omdat hier niet aan geoptimaliseerd is. Het lampenaandeel in het totaal is in de winter door de toegenomen belichtingscapaciteit wel toegenomen, anders gezegd er zijn minder dagen dat de lichtsom niet gehaald wordt. Daarom wordt het verschil tussen de kanaalplaat en enkeldekskas met de overige case in de periode oktober-november kleiner dan als in Figuur 4.13. getoond. Ook hier geldt dat door meer of minder te belichten de lichtsommen voor de verschillende cases verkleind zouden kunnen worden. Hierbij geldt dat een week lang 1 uur per dag minder belichten ruim 2.6 mol minder lamplicht in die week betekent en een besparing op elektriciteit van 0.45 kWh. Anders gezegd om de in Figuur 4.18B getoonde verschillen in PAR som met belichting op te heffen had er meer dan 270 uur minder belicht hoeven te worden, wat overeenkomt met een besparing op elektriciteit van 17.5 kWh.

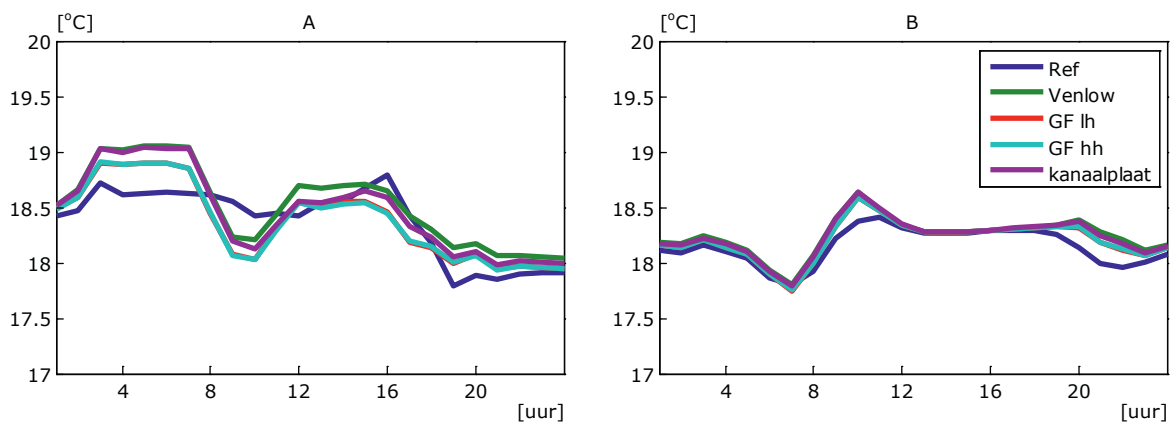
De Figuur laat zien dat de kas met stegdoppel kanaalplaat er als laagste uitkomt, wat gezien de transmissie eigenschappen van deze kas logisch is. Anders dan in de warme fase kan het transparante scherm afhankelijk van de omstandigheden (buitentemperatuur) hier wel geopend worden in de enkeldeks kas. Indien de winterperiode voor licht van 1 oktober t/m 1 maart wordt beschouwd, dan ontvangen de gewassen 1336, 1358, 1379, 1394 en 1292 mol/m^2 totaal aan PAR licht voor respectievelijk Ref, Venlow, GF lh, GF hh en kanaalplaat in deze periode. Zonder belichting was dit 853 mol/m^2 aan PAR licht lager geweest.

De effecten van de verschillende kasdekken op het warmtegebruik van de kassen zijn in Figuur 4.19. gepresenteerd. Net als bij de andere gewassen komt de stegdoppel kanaalplaat kas tussen de Venlow en de glas-film kassen uit. Ten opzichte van de warme fase valt het op dat de verschillen in absoluut niveau tussen de cases veel kleiner zijn en dat het patroon gedurende het jaar vlakker is. In de zomer wil het warmtegebruik niet echt wegzakken ondanks het relatief lage setpoint verwarmen. Dit heeft te maken met de mechanische ontvochtiging waardoor er minder gebruik gemaakt wordt van de warmte die de kas gedurende de dag op kan vangen. De kas wordt immers niet warmer dan ca. 18.5 °C. Ook de smalle marges waarbinnen de regeling moet werken draagt hier niet aan bij. Op jaarbasis zijn de energie gebruiken 36.0, 29.0, 32.3, 32.2, en 30.3 m^3/m^2 voor respectievelijk Ref, Venlow, GF lh, GF hh en kanaalplaat. Hier komt nog een elektriciteitsgebruik van 206 kWh/ m^2 voor de belichting bij.



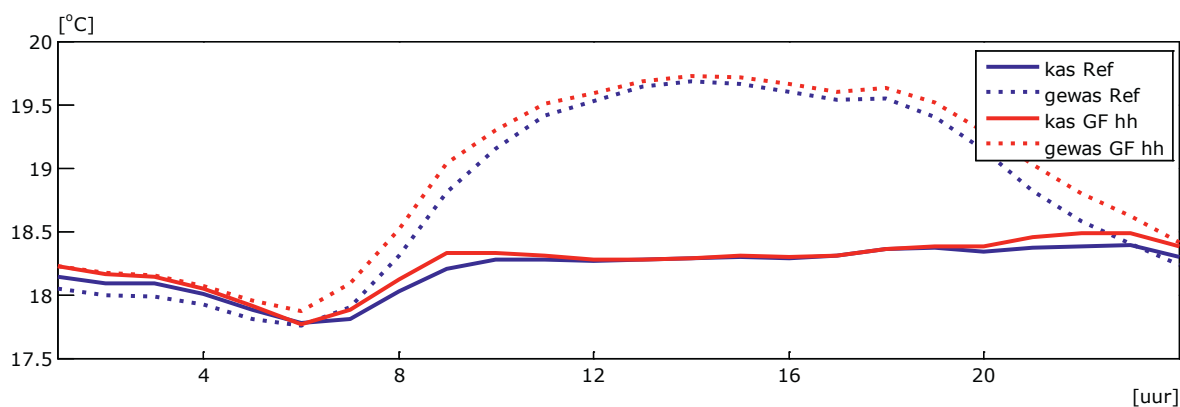
Figuur 4.19. Energiegebruik per week (A) en het cumulatieve energiegebruik door het jaar (B) voor 5 verschillende kasdekken.

Voor twee typische maanden, februari, waar nog geen krijt gebruikt wordt, maar waar al wel regelmatig het zonnescherm overdag dicht kan lopen en augustus, een maand waar volop gekoeld moet worden, is de cyclisch gemiddelde kasluchttemperatuur gepresenteerd in Figuur 4.20. In de maand februari (A) is de nachttemperatuur in de sterk geïsoleerde Venlow en kanaalplaat kas wat warmer dan de andere kassen, wat het gevolg is van de belichting. De top ligt op 19 °C omdat dat in de winter het setpoint voor ventilatie is. De enkeldekskas kent een iets ander schermregeling (scherm opent pas bij 100 W/m² globale straling waar bij de dubbele dekken het scherm bij 5 W/m² opent om maximaal van het natuurlijk licht gebruik te kunnen maken. In augustus is het sneller opwarmen en afkoelen van de cases met isolerende dekken weer goed zichtbaar.



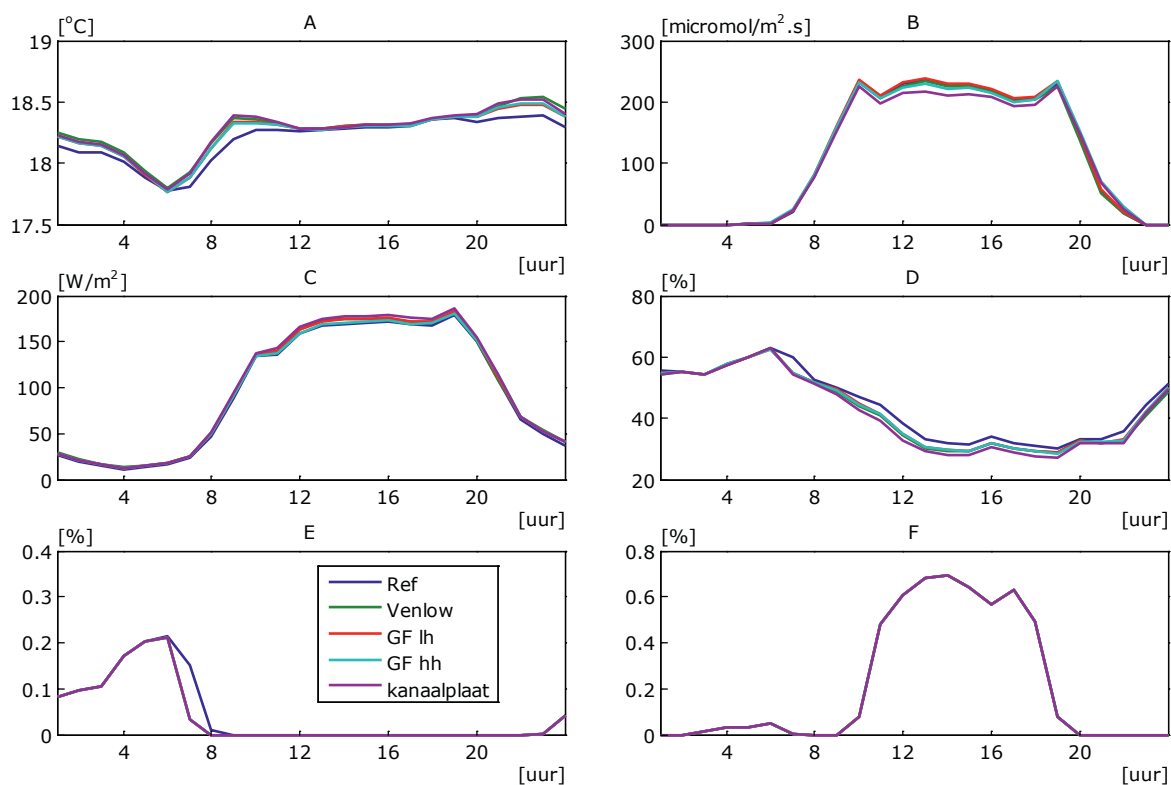
Figuur 4.20. Cyclisch gemiddelde kasluchttemperatuur in de maand februari (A) en de cyclisch gemiddelde kasluchttemperatuur in de maand juli (B) voor 5 verschillende kasdekken.

In Figuur 4.21. is voor de referentie (enkel dek) en de glas-film met hoge haze de kaslucht en gewas temperatuur getoond als cyclisch gemiddelde in de maand juli wanneer er volop gekoeld moet worden. De Figuur laat zien dat overdag ondanks gelijke kasluchttemperatuur de gewastemperatuur warmer wordt dan de kasluchttemperatuur wat gezien de beperkte verdampingscapaciteit van Phalaenopsis ook te verwachten is. De verschillen zijn overdag verwaarloosbaar klein, wel neemt de gewastemperatuur gelijk aan de kasluchttemperatuur sneller toe en langzamer af in de cases met isolerende dekken.



Figuur 4.21. Cyclisch gemiddelde kaslucht- en gewas-temperatuur in de maand februari van de referentie en glas-film met hoge haze case.

Koeling is een onmisbaar onderdeel in deze fase. Het koelen is een energie intensief proces. Het is dan ook interessant of de isolerende kasdekken ook meer koeling behoeven. Om dit te duiden is in Figuur 4.22. voor de maand augustus, het cyclisch gemiddelde van de kasluchttemperatuur (A), de lichtintensiteit op het gewas (B), de benodigde koelcapaciteit (C), de raamstand (D), de schermstand van het donker doek (E) en de schermstand van het XLS16 zonweringsdoek (F) getoond.

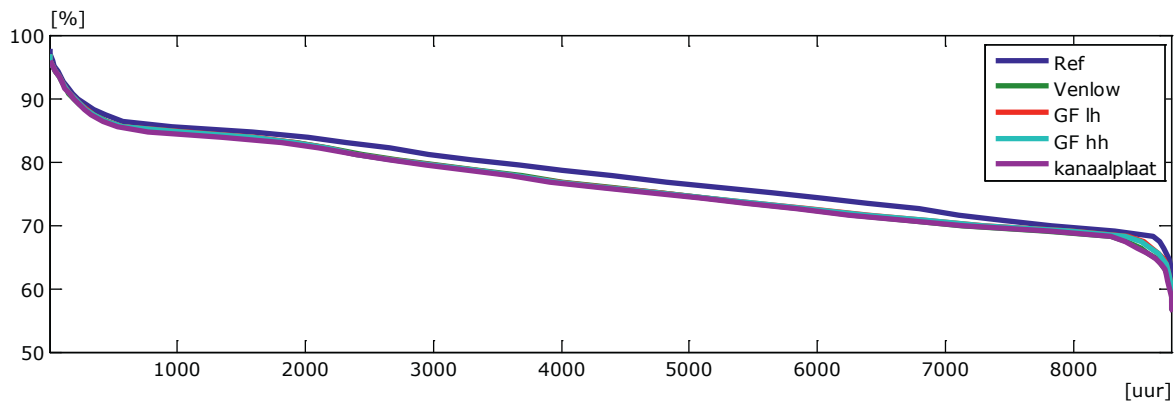


Figuur 4.22. Cyclisch gemiddelde van de kasluchttemperatuur (A), de lichtintensiteit op het gewas (B), de benodigde koelcapaciteit (C), de raamstand (D), de schermstand van het donker doek (E) en schermstand van het zonweringsdoek (F) voor 5 verschillende kasdekken van de maand augustus.

Omdat de lichtintensiteit en daarmee de potentiële koellast voor de zomer niet geoptimaliseerd is, laat Figuur 4.22B een lagere lichtintensiteit voor de stegdoppel kanaalplaat zien hoewel het zonnescherm in alle cases exact gelijk gestuurd is. Het krijgt op de stegdoppel kanaalplaat kas is dus iets te dik aangebracht. Doordat de enkeldekskas iets langzamer opwarmt dan de isolerende kasdekken kan deze kas met behulp van de luchtramen net iets vaker koelen (4.22D).

Het verschil in uiteindelijke koelbehoefte (4.22C) is uiteindelijk erg klein, waarbij het erop lijkt dat de beter isolerende kasdekken net iets meer koelbehoefte hebben.

Vocht tenslotte is in Figuur 4.23. als een jaarbelastingduurkromme weergegeven. Koeling heeft een behoorlijk effect op de vochtthuishouding omdat de temperatuur in de koeler vaak onder de dauwpuntstemperatuur van de kaslucht ligt. Meer of minder koelen heeft dan al snel effect op de vochtthuishouding inde kas. Dit is ook medede oorzaak van het iets hogere vochniveau in de referentie kas.



Figuur 4.23. Jaarbelasting duurkromme van de kaslucht RV voor 5 verschillende kasdekken.

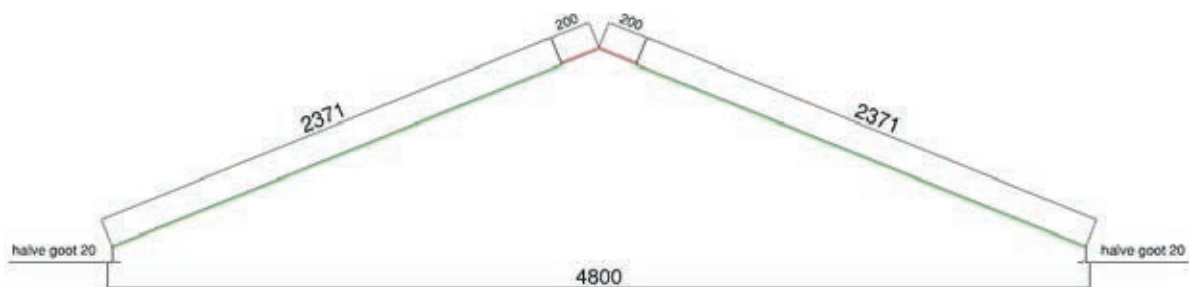
In Tabel 4.4. zijn de belangrijkste resultaten van deze paragraaf samengevat. De warmtevraag is in het algemeen zo groot dat voor de CO₂ dosering geen aanvullende CO₂ ingekocht hoeft te worden. Wel is de totale hoeveelheid warmte die door de koeling aan de kas is onttrokken toegevoegd. In de praktijk zal dit met een warmtepomp aquifer systeem bereikt kunnen worden.

Tabel 4.4. Overzicht belangrijkste resultaten van de warme teeltfase van *Phalaenopsis*.

	warmteverbruik [m ³ /m ²]	elektriciteitsverbruik [kWh/m ²]	onttrokken warmte [MJ/m ²]	lichtsom		
				totaal winter [mol/m ²]	totaal winter [% t.o.v. Ref]	lamp winter [mol/m ²]
Ref	36.0	220.1	598	1337	100	853
Venlow	29.0	218.9	639	1358	102	853
GF_lh	32.3	219.5	634	1379	103	853
GF_hh	32.2	219.4	626	1394	104	853
kanaalplaat	30.3	219.1	654	1291	97	853

5 Berekeningen sneeuw afsmelt

Een potentieel probleem van isolerende kasdekken is sneeuw. Het is mogelijk dat de isolatiegraad van het dek zo hoog is dat het niet mogelijk is eventuele sneeuw van het dek af te smelten zoals dat bij kassen met enkel glas wel kan. Daarvoor zijn hoge luchttemperaturen nodig die in samenspraak met de erg lage lichtcondities door dat zelfde sneeuwdek voor ongewenste ratio's lichtsom/temperatuursom zullen zorgen. In dubbellaags folie kassen is ruime ervaring met het op druk brengen/houden/ventileren van de spouw. Deze kennis wil het consortium in het kasontwerp gebruiken om middels luchtdoorvoer door de spouw eventuele sneeuw af te smelten. Of en in welke mate dit kan gaan lukken is met behulp van CFD modellen bepaald. De te beantwoorden vragen hierbij zijn: Welke afsmeltsnelheid is te bereiken met onbehandelde kaslucht of met naverwarmde kaslucht? Hoeveel lucht moet worden ingebracht? Voor de berekeningen wordt uitgegaan van één kap met de dimensies zoals aangegeven in Figuur 5.1.



Figuur 5.1. Dimensies van het in de berekeningen gebruikte kasdek.

Daarnaast worden materiaaleigenschappen van de in het kasdek toegepaste materialen als dichtheid, warmtecapaciteit en thermische geleidbaarheid gebruikt. De belangrijkste zijn in Tabel 5.1. opgenomen.

Tabel 5.1. Materiaaleigenschappen kasdekmaterialen gebruikt in de berekeningen.

Materiaal soort	Soortelijk gewicht	Cp	Geleiding
	[kg/m ³]	[J/(kg °K)]	[W/(m °K)]
glas	2500	840	1.00
LD polyethyleen	920	2300	0.36
Aluminium	2719	871	202.4

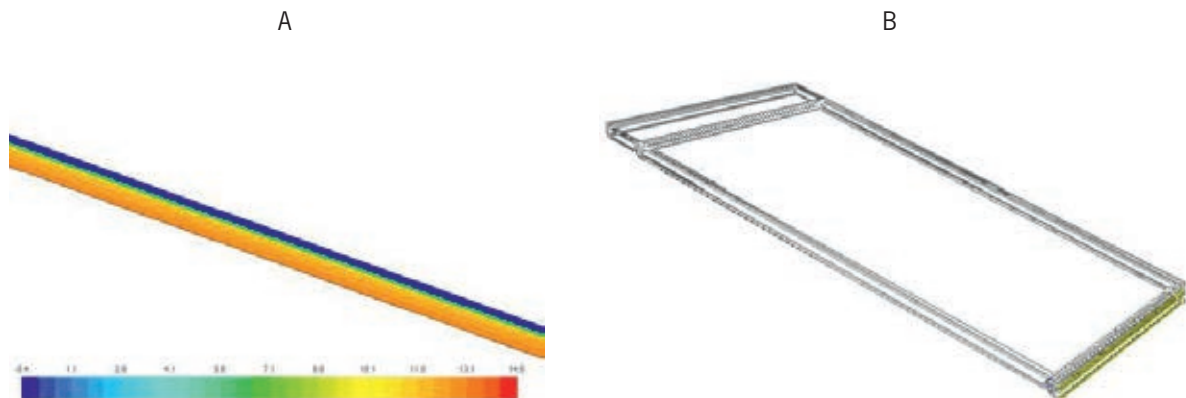
Sneeuw kent vele varianten tussen droge poeder met een lage dichtheid, matige geleidbaarheid en een hoge isolatie en natte sneeuw die een hoge dichtheid kent. Er is gekozen voor een tussenvorm en de eigenschappen zijn in Tabel 5.2. gegeven. Bij de berekeningen wordt ervan uitgegaan dat er 1 cm sneeuw op het kasdek ligt.

Tabel 5.2. Materiaaleigenschappen sneeuw en lucht.

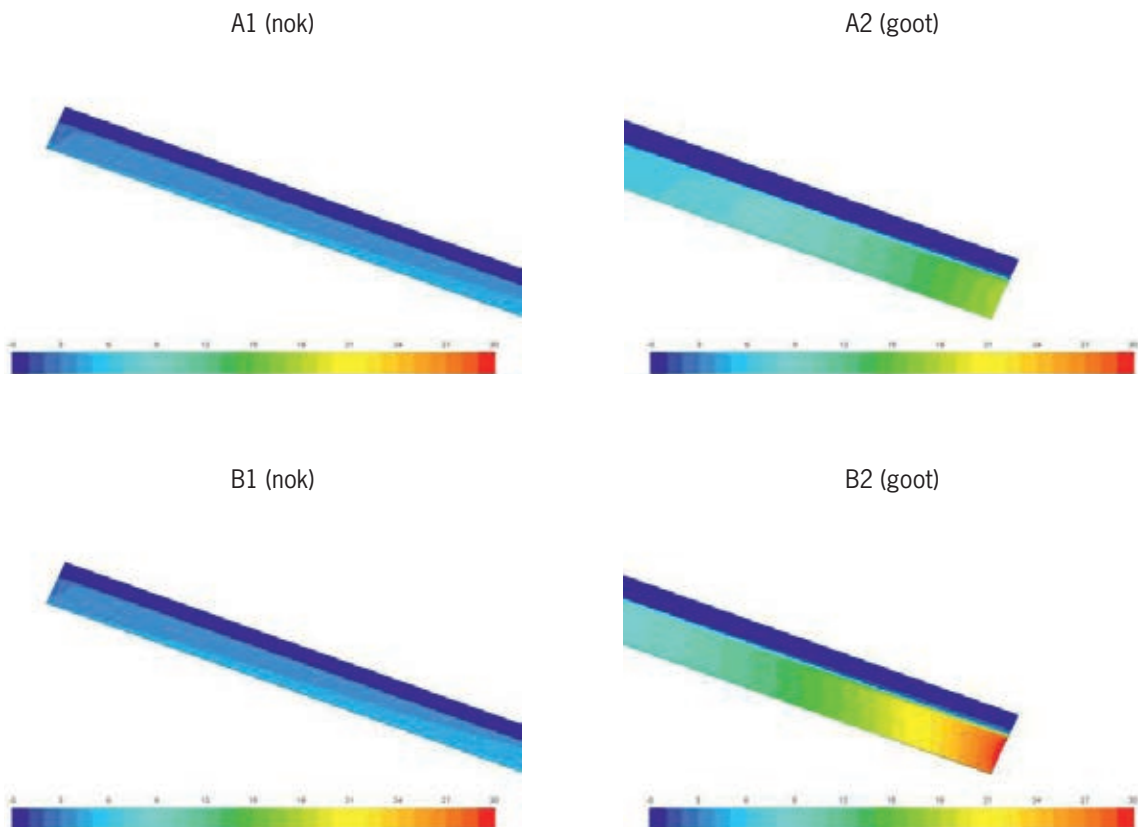
materiaal	Soortelijk gewicht	Cp	Geleiding	Viscositeit	Smelt warmte	Solidus temperatuur	Liquidus temperatuur
	[kg/m ³]	[J/(kg °K)]	[W/(m °K)]	[kg/(m s)]	[J/kg]	[°K]	[°K]
Snow	300	2108	0.197	0.0031	333550	273.12	275.15
Air	1.225	1006.4	0.02				

In de berekeningen wordt er van bijvoorbeeld van uitgegaan dat de aanwezige kaslucht 18°C is en dat deze direct door de spouw wordt gevoerd. Door te variëren in de flow die door de spouw wordt gevoerd, zal de afsmeltsnelheid van de sneeuw gaan variëren. In Figuur 5.2A is een temperatuurverdeling gegeven zoals deze in de spouw kan ontstaan als er sneeuw op het dek ligt.

Bij deze berekeningen is een 2D model van het kasdek gemaakt waarin de lucht gelijkmatig over de hele lengte van de goot wordt ingeblazen. Dit is dus een 2 dimensionale versie van het in Figuur 5.2B getoonde object, zie gele baan in Figuur 5.2B.



Figuur 5.2. Temperatuurverdeling in de spouw met sneeuw op het dek (A) en een 3D aanzicht van het object waarbij de lucht gelijkmatig op de gele locatie in de spouw wordt ingebracht.



Figuur 5.3. Temperatuurverdeling in de spouw met sneeuw op het dek. Luchtstroom $5.0 \text{ m}^3/\text{uur}$ per m^2 kasdek en een inblaastemperatuur $18 \text{ }^\circ\text{C}$ (A) en een inblaastemperatuur van $30 \text{ }^\circ\text{C}$ (B).

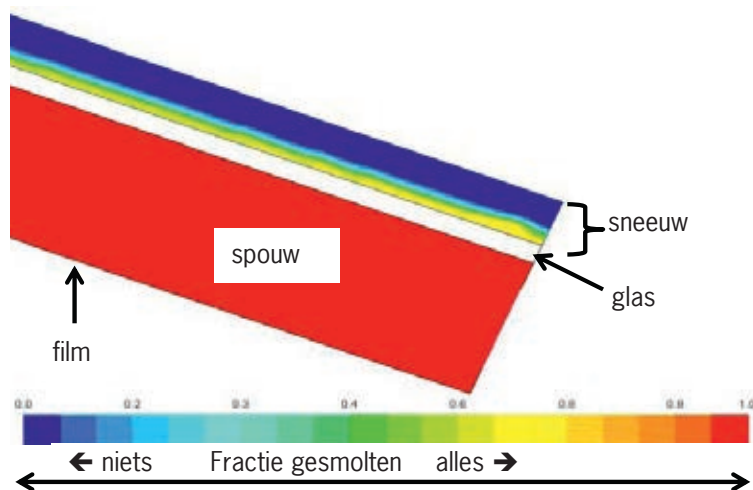
In Figuur 5.3. is de temperatuurverdeling in de spouw met sneeuw op het dek bij een luchtstroom $5.0 \text{ m}^3/\text{uur}$ per m^2 kasdek bij een inblaastemperatuur van $18 \text{ }^\circ\text{C}$ (kasluchttemperatuur), case A en $30 \text{ }^\circ\text{C}$ (verwarmde kaslucht), case B getoond voor het goot deel (2) en bij de nok (1). Kaslucht die met $18 \text{ }^\circ\text{C}$ bij de goot wordt ingeblazen, zal uiteraard onderweg naar boven, waar bij de luchtramen een opening komt waar de lucht weer kan worden afgevoerd, gaan afkoelen.

De sneeuw (1 centimeter dik), smelt in deze situatie niet, wat te maken heeft met de manier waarop dit type berekeningen gemaakt wordt. De getoonde figuren zijn dan ook van een zogenaamde “steady state” situatie. De gemiddelde luchttemperatuur in de spouw is $5.3 \text{ }^\circ\text{C}$ voor de case A en $7.0 \text{ }^\circ\text{C}$ voor case B. Na het bereiken van deze steady state situatie wordt aan het model de vrijheid gegeven om daadwerkelijk ook sneeuw te gaan afsmelten. De resultaten hiervan zijn in paragraaf 5.1 en 5.2 besproken.

In Bijlage 1 is analoog aan Figuur 5.3. de situatie met een air flow van $12.6 \text{ m}^3/\text{uur}$ gegeven.

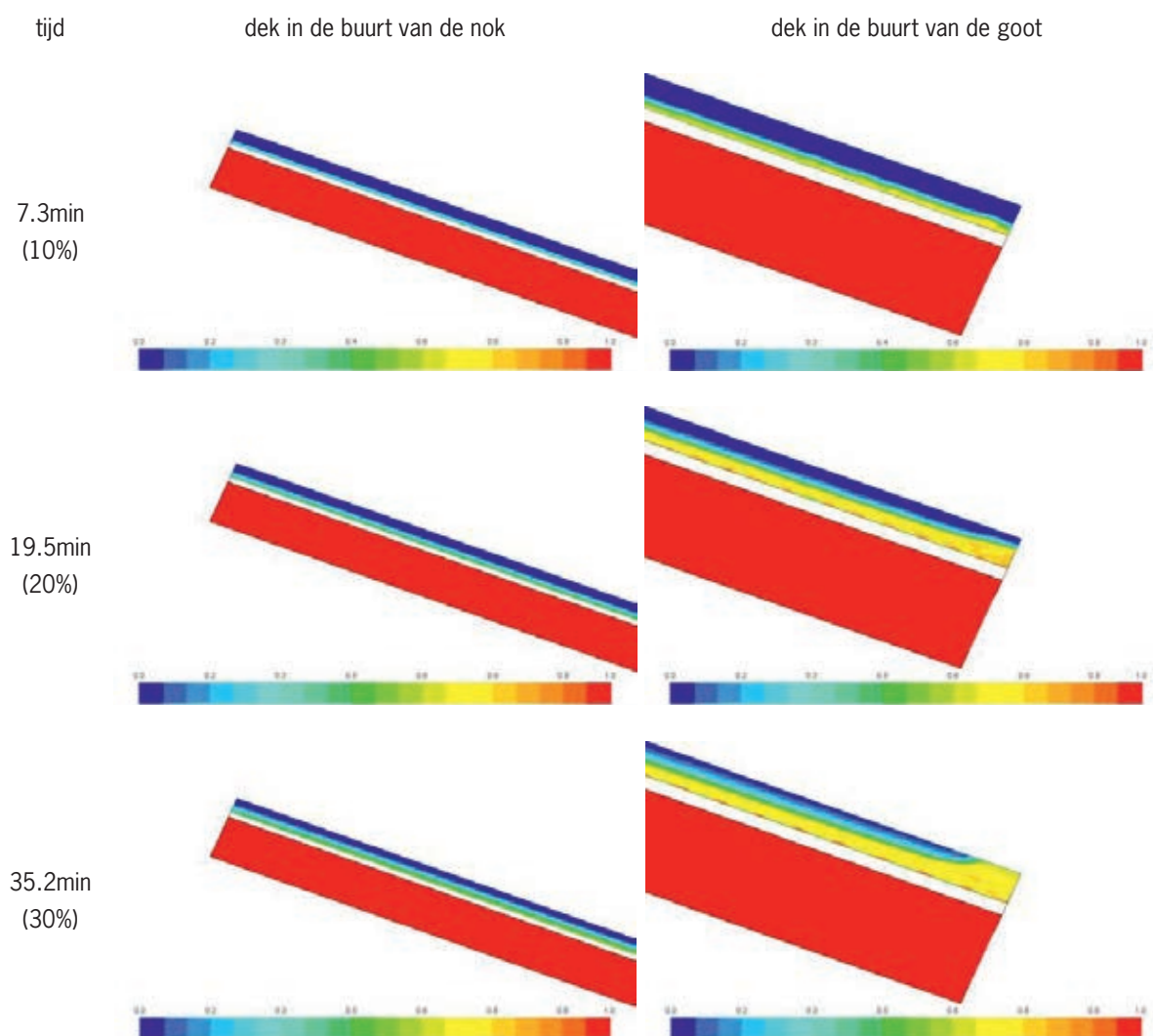
5.1 Onbehandelde kaslucht

Kaslucht die met $18 \text{ }^\circ\text{C}$ bij de goot wordt ingeblazen koelt onderweg naar boven zoals in Figuur 5.3. getoond. Daardoor zal de sneeuw in de buurt van de goot het eerste gaan smelten. Verwacht wordt dat hoger gelegen sneeuw vervolgens naar beneden kan gaan schuiven, zeker als er op de grenslaag van glas wat aan de buitenkant zit en de sneeuw een smeltend waterlaagje ontstaat wat het afschuiven van de sneeuw richting de goot zal vereenvoudigen. In Figuur 5.4. is getoond hoe het smelten “modelmatig” in zijn werk gaat. Donker blauw betekent een vloeibare fractie van 0, de sneeuw is nog niet aan het smelten en rood geeft een vloeibare fractie van één aan of te wel volledig gesmolten.



Figuur 5.4. Modelmatige benadering van sneeuwsmelten middels fractie vloeibaar.

In Figuur 5.5. is de vloeibare fractie van sneeuw op een drietal tijdstippen na aanvang van het inblazen van kaslucht met een temperatuur van $18 \text{ }^\circ\text{C}$ en een luchtstroom $12.6 \text{ m}^3/\text{uur}$ per m^2 kasdek, gegeven. Let wel het zijn dus geen temperaturen en de spouw is rood gekleurd omdat deze volledig vloeibaar is. De Figuur laat zien dat na ruim 7 minuten al 10% van de sneeuw niet meer “solid” (donker blauw) is. Dit neemt naar 30% toe na ruim 35 minuten lucht blazen van $18 \text{ }^\circ\text{C}$ met een capaciteit van $12.6 \text{ m}^3/\text{uur}$ per m^2 kasdek. Na een half uur is aan de goot het eerste stukje kasdek over de volle dikte aan het smelten (aan de bovenkant van het sneeuwdek zie je geen blauw meer) terwijl aan de nok kant er nog bij bijna de helft van de sneewdikte (1 cm) nog helemaal niets gebeurt.



Figuur 5.5. Vloeibare fractie van sneeuw op verschillende tijdstippen na aanvang luchtinblaas met een luchttemperatuur van 18 °C en een luchtstroom 12.6 m³/uur per m² kasdek.

In de berekeningen is vervolgens de flow door de spouw gevarieerd. De tijdsduur (minuten) om een percentage van de sneeuw aan het smelten te krijgen is in Tabel 5.3. aangegeven.

Tabel 5.3. Flow en smelttijden om op een vast percentage van het kasdek de sneeuw af te smelten bij een inblaastemperatuur van 18 °C, kasluchttemperatuur.

flow per m ² kasdek [m ³ /uur]	flow per meter goot [m ³ /uur]	Smelttijd om fractie x van kasdek van 1 cm sneeuw te ontdoen [min]		
		10%	20%	30%
5.0	11.9	8.5	24.6	45.3
7.5	17.9	7.3	19.5	35.2
12.6	29.8	7.2	18.3	32.3
25.2	59.6	6.5	17.3	31.8

De tabel laat duidelijk zien dat er geen lineair verband is tussen de afsmeltsnelheid en de flow door de spouw. Een vervijfvoudiging van de flow laat een reductie in afsmeltsnelheid van zo'n 30% zijn. Deze resultaten zijn van een 2D situatie waarbij dus over de hele lengte van de goot deze luchtstroom gelijkmatig wordt ingebracht. Deze voorstelling van zaken is dan ook idealer dan de werkelijkheid. In werkelijkheid namelijk, zal dit met meer lokale punten om de X cm in de goot gaan plaatsvinden.

5.2 Behandelde kaslucht

Wordt de aanwezige kaslucht van zeg 18 °C voordat deze door de spouw wordt gevoerd opgewarmd tot zeg 30 °C dan ontstaan een verkorting van de smelttijd. In Tabel 5.4. de resultaten.

Tabel 5.4. Flow en smelttijden om op een vast percentage van het kasdek de sneeuw af te smelten bij een inblaastemperatuur van 30 °C.

flow per m ² kasdek [m ³ /uur]	flow per meter goot [m ³ /uur]	Smelttijd om fractie x van kasdek van 1 cm sneeuw te ontdoen [min]		
		10%	20%	30%
5.0	11.9	8.0	19.0	31.4
7.5	17.9	7.5	15.6	29.7
12.6	29.8	5.9	14.2	26.7
25.2	59.6	4.8	12.9	17.8

Vergelijking van Tabel 5.4. met 5.3 laat zien dat een verhoging van de luchttemperatuur zeker een versnelling van de afsmelttijd heeft. Het is echter geen lineair proces, waarbij allerlei stroming en warmteoverdrachtsaspecten een rol spelen. Wat van belang is dat de grenslaag sneeuw kasdek van een kleine waterfilm wordt voorzien. Dat zal het afschuiven van de sneeuw van het kasdek naar de goot versnellen.

6 Economie

De investeringskosten van het energiebesparende Glas-Film-Kasconcept, gebaseerd op Het Nieuwe Telen, zijn nog grotendeels onbekend. Daarom wordt er niet direct naar terugverdientijd maar meer naar investeringsruimte gekeken. De investeringsruimte wordt berekend door de te verwachten baten minus de kosten van het systeem te kapitaliseren naar een huidige waarde. Deze waarde kan binnen de gestelde afschrijvingstermijn worden terugverdiend. Daar de kapitalisatie van gewasreactie, en in het bijzonder als het kwaliteitsaspecten betreft, bijzonder lastig is, wordt in dit hoofdstuk alleen naar tomaat gekeken waar een wat directere relatie tussen kg productie en financiële opbrengst te maken is, wat overigens niet wil zeggen dat in de tomatenproductie kwaliteitsaspecten buitenbeschouwing gelaten kunnen worden.

De investeringsruimte voor dit kasconcept wordt bepaald door deze te vergelijken met een referentiekas, waarbij het uitgangspunt voor het vergelijk een standaard groentekas met de volgende uitgangsgegevens is:

Kapmaat :	4800 mm
Vakmaat :	5000 mm
Inrichting Het Nieuwe Telen:	<ul style="list-style-type: none">• Ontvochtigingsinstallatie• 2 beweegbare schermen• één tijdelijk vast geperforeerde folie
Glas :	Standaard gehard glas
Luchtmechaniek:	Standaard voor en tegenlucht met opdruckers vanaf de tralie

Het Glas-Film-Kasconcept kent een tweetal extra investeringen; een verhoging van de ontvochtigingscapaciteit van ca. 30% en het glas-film principe bestaande uit aanpassingen aan goot, roeden, een Fclean clear film en een “spouwblaas” installatie. Daar staan besparingen op energie (warmte), een scherminstallatie en eventuele meeropbrengst tegenover.

In Tabel 6.1. zijn de belangrijkste energie en productiekennmerken van het Glas-Film-Kasconcept ten opzichte van een HNT referentie weergegeven, beiden met een ontvochtigingsinstallatie volgens het regain principe.

Tabel 6.1. Belangrijkste energie- en productiekennmerken van het Glas-Film-Kasconcept ten opzichte van een HNT referentie kas voor een tomatenteelt.

	Referentie met HNT	Glas-Film-Kasconcept (hoge haze)
Warmte [m ³ /m ²]	24.8	19
Elektriciteit [kWh]	6.4	6.9
additioneel CO ₂ verbruik [kg/m ²]	24	30
Productie [%]	100	104

Er wordt vervolgens onderscheid gemaakt in de meer- en minderkosten die éénmalig bij de investering in het systeem naar voren komen en meer- en minderkosten die jaarlijks terugkomen.

Meer- en minderkosten éénmalige investering

Bij het ontwerpen van de Glas-Film kas is steeds als uitgangspunt genomen, om de standaard Venlo-kas minimaal aan te passen. De standaard Venlo-kas is qua kostprijs dusdanig uitontwikkeld, dat aanpassing al snel tot prijsverhoging zullen leiden. Bij het ontwerp van het nieuwe dek is geprobeerd zoveel mogelijk op de bestaande systemen in het dek aan te sluiten. Eén en ander komt tot uiting in onderstaande opsomming van meer en minderkosten waarbij de genoemde bedragen een prognose zijn. Pas in een later stadium zullen exacte bedragen op basis van marktconforme oppervlakten duidelijk worden.

Omschrijving éénmalig per m ² kas	meer-/minderkosten
Toepassing slechts 1 beweegbaar scherm in plaats van 2	-/- € 6,50
F-Clean folie (clear uitvoering - 60 micron - breedte 2,35 meter)	€ 6,00
Intrekken F-Clean (arbeid/pvc strips en machine)	€ 1,50
Aanpassingen aluminium dek (goot/kalf/intrekprofiel onder kalf/kaders luchtramen)	€ 6,00
Spouwventilatie (ventilatoren, toebehoren, sturing en arbeid)	€ 1,00
Gehard glas diffuus, met 2xAR in plaats van standaard gehard glas	€ 7,00
Luchtramen dubbelglas (263x2500x16 mm)	€ 5,00
Diverse onvoorzien	€ 1,00
Totaal éénmalig	€ 21,00

Opsomming meer- en minderkosten per jaar

Naast de éénmalige meer- en minderkosten zijn er ook jaarlijks terugkerende kosten, die bij de Glas-Film kas afwijken van de referentiekas. Hieronder volgt een opsomming, waarbij de opbrengsten als minderkosten (-/-) zijn opgenomen.

Ook hier zijn het geprognoseerde bedragen.

Omschrijving jaarlijks per m ² kas	meer-/minderkosten
Materiaal en arbeid aanbrengen vaste folie (ontbreekt bij Glas-Film kas)	-/- € 1,00
Onderhoud, rente en afschrijving 1x beweegbaar scherm (5%+2%+14%); (in de Glas-Film kas is nog slechts 1 beweegbaar scherm aanwezig)	-/- € 1,30
Energiebesparing van 6 m ³ /m ² á € 0,30	-/- € 1,80
Productietoename (4%) 2% extra opbrengst, (i.v.m. zomerproductie is opbrengst niet lineair) ¹⁾	-/- € 1,00
Extra kosten, de variabele kosten van arbeid, verpakking en afzet	€ 0,20
Extra CO ₂ gebruik 6kg/m ² á €0,10	€ 0,60
Extra elektriciteitsgebruik á €0,12	€ 0,06
Totaal per jaar	€ 4,24

¹⁾ Vertaling van potentiële productie die uit modelberekeningen naar voren komt vertalen naar harde kg opbrengsten in de praktijk kent vele haken en ogen. De lagere kastransmissie van de Venlow Energy kas zou volgens deze benadering dan ook ten koste gaan van productie echter tijdens de proeven kwam meerdere jaren naar voren dat de productie in deze kas zelfs hoger uitkwam dan referentiekassen. In potentie is er dus een productieverhoging maar of die uiteindelijk ook bereikt wordt is afhankelijk van vele factoren.

Conclusie

Op basis van bovenstaande zal de terugverdientijd van de resulterende meerkosten ten opzichte van de referentiekas zonder hulp van subsidie op circa 5 jaar uitkomen.

Indien het haalbaar blijkt om een diffuse F-Clean te maken met een “middle haze” en een hoge lichtdoorlatendheid kan voor een helder glas en een diffuse F-clean worden gekozen, waardoor nog € 3,00 per m² glas kan worden bespaard. Hierdoor wordt de terugverdientijd tot ruim 4 jaar gereduceerd.

6.1 SWOT-analyse van het glas-film kasconcept

Een SWOT-analyse (Strengths, Weaknesses, Oportunities and Threats) is een hulpmiddel om de resultaten van het onderzoek in een wat breder perspectief te plaatsen door naar de kansen, bedreigingen, sterkten en zwakten van het concept van de glas-film kas te kijken. Voor de glas-film kas zijn hiervoor de belangrijkste resultaten als uitgangspunt gekozen. Omdat het hier een deskstudie betreft kan een definitieve SWOT analyse pas na een “praktijk” testfase worden opgemaakt.

	kansen ↓	bedreigingen ↓
Verwachte gewasgroei en energiegebruik van het glas-film concept		
sterkten →	hoe uit te buiten	hoe aan te passen
goede lichtdoorlatendheid bij hoge isolatiegraad	<ul style="list-style-type: none"> • vermindering van constructiedelen in het kasdek ten opzichte van dubbel glas toepassing door lager gewicht • meer natuurlijk licht op het gewas door minder (noodzakelijk) schermgebruik waardoor potentiële productie toeneemt, hierdoor verhoging opbrengsten/inkomsten 	
goede besparing op de warmtevraag	<ul style="list-style-type: none"> • warmtevraag gereduceerd ten opzichte van praktijk, hierdoor besparing energie/kosten 	<ul style="list-style-type: none"> • Implementatie van de teeltstrategie volgens het nieuwe telen mede noodzakelijk om besparing te bereiken
sneeuw kan gesmolten worden	<ul style="list-style-type: none"> • maakt introductie van isolerende kasdekken in gebieden met sneeuwval mogelijk 	<ul style="list-style-type: none"> • Bij onvoldoende capaciteit van dit systeem kan sneeuwbelasting maar meer nog te lage lichtopbrengst gewasproblemen veroorzaken
lager prijsniveau ten opzichte van dubbel (isolatie) glas	<ul style="list-style-type: none"> • glas-film dek incl. installatie zijn goedkoper dan hoogwaardig dubbel glas, bij bewezen prestaties kan het een interessant alternatief zijn voor dubbel glas 	
zwakten →	hoe te verbeteren	waarvoor oppassen
Nederlandse tuinbouw is niet "folie minded", men denkt in glas	<ul style="list-style-type: none"> • in proef aantonen dat toepassing van film in het kasdek werkt 	
verminderde vochtafvoer door condensatie door geïsoleerd glas-film-dek	<ul style="list-style-type: none"> • ontvochtigingsunit (so wie so nodig voor toepassing HNT principe) met verhoogde capaciteit • bij systemen met latente warmteterugwinning kan meer warmte geogst worden 	<ul style="list-style-type: none"> • het condens gedrag is een aandachtspunt ook voor andere kasdekmaterialen
open structuur van de spouw	<ul style="list-style-type: none"> • door de open structuur van de spouw, wat wezenlijk onderdeel van concept is, kan alleen bij permanente conditionering van de spouw vervuiling (condensatie) voorkomen worden 	<ul style="list-style-type: none"> • conditionering van de spouw kan al snel gepaard gaan met forse toename energiegebruik • conditionering van de spouw kan tot verontreinigingen leiden die dan slecht te verwijderen zijn
nastreven hoger vochniveau om energiedoelstelling te halen	<ul style="list-style-type: none"> • Ontvochtigingsunit met voldoende capaciteit inzetten • Stringentere controle op vocht gerelateerde ziektes 	<ul style="list-style-type: none"> • ontstaan schimmelinfecties als Botrytis

7 Conclusies

In deze haalbaarheidsstudie wordt de energetische, gewastechnische en economische haalbaarheid van een nieuwe ontwikkeld Glas-Film-Kasconcept onderzocht. De haalbaarheidsstudie heeft laten zien dat een combinatie van glas en film als alternatief voor dubbel glas als kasdek een uitstekend potentieel heeft om het energiegebruik van een HNT kas met enkeldek en twee beweegbare schermen te verlagen zonder dat dit nadelige effecten op gewasproductie hoeft te hebben. Gebruik van een ander kasdek heeft effecten op het kasklimaat, en zal dan ook ontwikkeling en groei van het gewas beïnvloeden. Hoewel voor andere gewassen dan al beproefd in de Venlow Energy kas niet alle consequenties kunnen worden voorzien, lijken de stuurmiddelen die met Het Nieuwe Telen voorhanden zijn, voldoende om eventuele negatieve gevolgen door veranderde vochtgehalten te voorkomen dan wel te beperken. Een grotere capaciteit van de ontvochtiging dan bij het standaard Nieuwe Telen is noodzakelijk, daar staat tegenover dat met één beweegbaar scherm (voor Phalaenopsis nog²⁾ in dit kasconcept over het algemeen goed te telen moet zijn.

Transmissie

Om tot een goede combinatie van de basismaterialen glas en ETFE film te komen met een zo hoog mogelijke totale transmissie van het kasdek, zal de keus op een van AR coating voorziene diffuse glasruit met een heldere Fclean (clear) film moeten vallen. Met deze combinatie is een lichttransmissie van het kasdek te bereiken die beter is dan van standaard enkel tuinbouwglas en de dubbel glas panelen met één low-emission coating zoals in de Venlow Energy kas is toegepast. De transmissie zal vergelijkbaar kunnen worden met een dubbel glazen dek waar de low-emission coating is ingeruild voor een extra AR coating. De keus voor een hogere of lagere haze valt enigszins buiten de scope van deze studie. Algemeen geldt tot nu toe meer haze is beter maar het mag slechts beperkt ten koste gaan van de overall transmissie. Het hier onderzochte glas met hoge haze en AR coating is gunstig voor de lichtinval in de wintermaanden. Door het verminderde schermgebruik in het Glas-Film-Kasconcept ontvangt het gewas uiteindelijk meer winterlicht, wat een productievoordeel zou moeten gaan opleveren. In Tabel 7.1. is een overzicht van de winterlichtsom (1 oktober tot 1 maart) bij de verschillende kasdekken opgenomen.

Tabel 7.1. Winter lichtsom (mol/m^2) voor de verschillende teelten bij verschillende kasdekken.

Kasdek	Tomaat	groene plant	Phalaenopsis ²⁾	
			warm	koud
Ref	667	623	1016	1337
Venlow	712	676	1145	1358
GF_lh	738	701	1164	1379
GF_hh	759	721	1180	1394
Venlow2 ¹⁾	764	-	-	-
kanaalplaat	-	588	1038	1291

¹⁾ Als Venlow ruit maar de low-emission coating vervangen door een diffuse laag met AR.

²⁾ De genoemde getallen zijn inclusief de belichting.

Energiegebruik

Het energiegebruik van een Glas-Film-Kasconcept is lager dan van een referentie kas met enkel kasdek en HNT en komt maar iets hoger uit dan van een kas met glazen dubbel dek waar naast een diffuse ruit met maximale transmissie voor 4 lagen met AR is gekozen. Omdat de keus voor een dubbel glazen dek systeem met of zonder low-emission coating behoorlijke gevolgen heeft voor het energiegebruik, presteert de Venlow Energy kas qua energieverbruik beter dan de dubbel glas met 4 keer AR (Venlow2). In Tabel 7.2. een overzicht van de verschillen in berekend energiegebruik (warmte). Het besparingsdoel voor de glas-film kas van 50% ten opzichte van de gangbare praktijk met een verbruik van 33 tot 40 m^3/m^2 voor een tomatenteelt wordt dan ook bereikt.

Tabel 7.2. Warmte gebruik (m^3/m^2) van warmte voor de verschillende teelten bij verschillende kasdekken.

Kasdek	Tomaat	groene plant	Phalaenopsis	
			warm	koud
Ref	24.8	36.5	60.1	36.0
Venlow	14.8	20.0	40.4	29.0
GF_lh	19.0	26.9	49.5	32.3
GF_hh	19.0	26.7	49.4	32.2
Venlow2 ¹⁾	17.7	-	-	-
kanaalplaat	-	23.8	44.3	30.3

¹⁾ Als Venlow ruit maar de low-emission coating vervangen door een diffuse laag met AR.

Kasklimaat

Met een kasklimaatmodel zijn berekeningen gedaan voor het kasklimaat voor de verschillende kasconcepten. Analyse van de rekenresultaten laat zien dat het klimaat welke gerealiseerd kan worden in het Glas-Film-Kasconcept in de verschillende teelten sterk vergelijkbaar zal zijn met dat van de Venlow Energy kas. Door de lagere isolatiegraad van dit kasdek zal het gerealiseerde klimaat vaak ergens tussen dat van een enkeldeks kas en de Venlow Energy kas komen. Voor het Glas-Film-Kasconcept kunnen we de volgende conclusies trekken ten opzichte van een referentie kas met enkel glas en HNT:

- De kasluchttemperatuur daalt langzamer en in de zomer blijft deze in de avond en nacht op een hoger niveau liggen dan bij de enkeldeks kas.
- De planttemperatuur zal door het warmere kasdek op een hoger niveau komen te liggen. Voor tomaat betekent dit al snel een hogere trosafplitsingsnelheid en bij Phalaenopsis kan dit voortakkers helpen voorkomen.
- Het ontbreken van één scherminstallatie en het openen van het scherm in de winter levert veel lichtwinst op in deze periode, zeker in vergelijking met een stegdoppel kanaalplaat kas in groene planten of als soms toegepast in de warme fase van de Phalaenopsis.
- Door het verhogen van de ontvochtigingscapaciteit ten opzichte van de referentie kas met enkel glas en HNT zijn er minder uren overschrijding van het vochtsetpoint.
- De mismatch tussen beschikbare CO₂ en benodigde CO₂ neemt verder toe. Het is belangrijk om over een van de warmteproductie ontkoppelde CO₂ bron te beschikken.

Gewasreacties

Redenerend vanuit de ervaring van de teelt van tomaat en komkommer in het algemeen, Het Nieuwe Telen en bij de Venlow Energy kas in het bijzonder, zullen de genoemde veranderingen in kasklimaat in het Glas-Film-Kasconcept effecten hebben op het gewas. Voor zover dat tot nu toe te beredeneren valt, zijn dit:

- Gunstiger effect op de groeisnelheid door een hogere planttemperatuur, vooral in de wintermaanden.
- Door vochtiger kasklimaat kunnen de gewassen vegetatiever gaan groeien. Bij tomaat kan dit vaak met bladdunning gestuurd worden terwijl dit bij de groen planten juist een pre is. Bij Phalaenopsis is men voorzichtig t.a.v. hogere vochniveaus.
- Kans op meer vegetatieve reactie, door minder snelle afkoeling in de voornacht.
- Risico op grotere schimmeldruk in het gewas door een vochtiger microklimaat.
- Groter risico op fysiogene afwijkingen in de groeipunten van de plant, zoals broeikoppen bij komkommer en bladrandjes bij tomaat, door voor verdamping ongunstige omstandigheden.

De ervaringen met de Venlow Energy kas hebben tot nu toe echter nog geen onoverkomelijke problemen met het gewas opgeleverd. Daar het Glas-Film-Kasconcept een vergelijkbaar klimaat zal creëren zijn er op voorhand dan ook geen onoverkomelijke gewasproblemen te verwachten. Door de hogere lichttransmissie zijn productievoordelen in de wintermaanden te verwachten.

Economie

De economische haalbaarheid van een glas film kas wordt bepaald door de balans tussen meer- en minder-investeringen die éénmalig moeten plaatsvinden en jaarlijkse meer- en minder-kosten. Voor een tomatenteelt is berekend dat een terugverdientijd van minder dan 5 jaar mogelijk moet zijn.

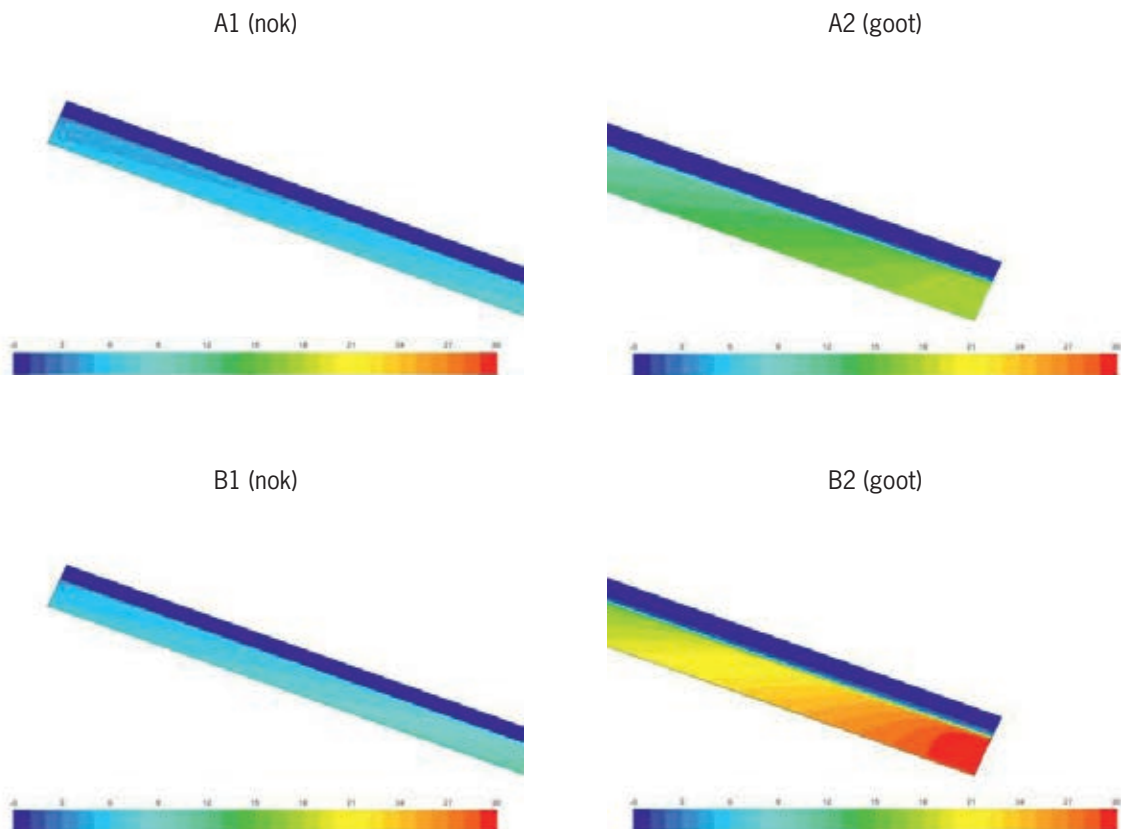
Sneeuw afsmelt

Sneeuw ophoping in de wintermaanden op een kas met dubbel glas vormt tot nu toe een uitdaging. Berekeningen laten zien dat bij een gerichte luchtstroom door de spouw in het Glas-Film-Kasconcept het mogelijk is het smeltproces op het glas in gang te brengen. Belangrijk hierbij is de lucht goed verdeeld in te kunnen blazen. Een verhoging van de luchttemperatuur van de ingeblazen lucht heeft wel een versnelling van de afsmelt tot gevolg maar dit is geen lineair proces.

8 Literatuur

- Poot, E.H.; Kempkes, F.L.K.; Gelder, A. de; Janse, J.; Raaphorst, M.G.M. (2010). Nieuw kasdek voor Het Nieuwe Telen. Bleiswijk : Wageningen UR Glastuinbouw, (Rapporten GTB 1050) - p. 86.
- Kempkes, F.L.K., J. Janse. (2013) Praktijkervaringen met de Venlow Energy kas 2010-2012. Bleiswijk : Wageningen UR Glastuinbouw, (Rapport GTB 1279) - p. 86.
- Filip van Noort; Wanne Kromwijk; Jan Snel; Mary Warmenhoven; Esther Meinen; Tao Li; Frank Kempkes; Leo Marcelis (2013). 'Grip op licht' bij potanthurium en bromelia; Meer energie besparing bij Het Nieuwe Telen Potplanten met meer natuurlijk, diffuus licht en verbeterde monitoring, 2013. Bleiswijk : Wageningen UR Glastuinbouw, (Rapport GTB 1287) - P. 94.
- Zwart, H.F. de 1996. Analyzing energy-saving options in greenhouse cultivation using a simulation model. IMAG-DLO rapport 96-05.

Bijlage I CFD Sneeuwsmelten



Figuur I.1 Temperatuurverdeling in de spouw met sneeuw op het dek. Luchtstroom 12.6 m³/uur per m² kasdek en een inblaastemperatuur 18 °C (A) en een inblaastemperatuur van 30 °C (B)

In Figuur I.1 is de temperatuurverdeling in de spouw met sneeuw op het dek bij een luchtstroom 12.6 m³/uur per m² kasdek bij een inblaastemperatuur van 18 °C (kasluchttemperatuur), case A en 30 °C (verwarmde kaslucht), case B getoond voor het goot deel (2) en bij de nok (1). Dit Figuur is analoog aan Figuur 5.3. De sneeuw (1 centimeter dik) smelt in deze situatie niet. De getoonde figuren zijn een “steady state” situatie. De gemiddelde luchttemperatuur in de spouw is 8.4 °C voor de case A en 12.6 °C voor case B.

