

## Consultancy haalbaarheid Klimrekscherm

### Gefinancierd door

Productschap Tuinbouw (PT)  
Postbus 280  
2700 AG Zoetermeer

Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie (ELI)  
Postbus 20401  
2500 EK Den Haag

### Uitgevoerd door

Jan-Paul van der Kolk (DLV Plant)  
Arjan van Antwerpen (DLV Glas en Energie)  
Feije de Zwart (WUR Glastuinbouw)  
Sjaak van Dijk (Klimrek BV)

**PT - Projectnummer: 14031.13**

*Dit document is auteursrechtelijk beschermd. Niets uit deze uitgave mag derhalve worden veelevoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch door fotokopieën, opnamen of op enige andere wijze, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van DLV Plant. De merkrechten op de benaming DLV komen toe aan DLV Plant B.V.. Alle rechten dienaangaande worden voorbehouden. DLV Plant B.V. is niet aansprakelijk voor schade bij toepassing of gebruik van gegevens uit deze uitgave.*

## Uw sector investeert in dit project via het

Productschap  Tuinbouw



Ministerie van Economische Zaken,  
Landbouw en Innovatie

---

**DLV Plant**  
Postbus 7001  
6700 CA Wageningen

Agro Business Park 65  
6708 PV Wageningen

T 0317 49 15 78  
F 0317 46 04 00  
E [info@dlvplant.nl](mailto:info@dlvplant.nl)  
**[www.dlvplant.nl](http://www.dlvplant.nl)**

---

## Inhoudsopgave

|          |                                                                           |           |
|----------|---------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Inleiding en doel</b>                                                  | <b>4</b>  |
| 1.1      | Inleiding                                                                 | 4         |
| 1.2      | Doelstelling                                                              | 4         |
| <b>2</b> | <b>Lichtmetingen DLV Glas en Energie</b>                                  | <b>5</b>  |
| 2.1      | Inleiding                                                                 | 5         |
| 2.2      | Uitgangspunten                                                            | 5         |
| 2.3      | De meetopstelling                                                         | 6         |
| 2.4      | Resultaten                                                                | 8         |
| 2.5      | Opmerkingen en conclusies                                                 | 11        |
| <b>3</b> | <b>Effect Klimrekscherm op warmteverzameling, groei en economie</b>       | <b>12</b> |
| 3.1      | Inleiding                                                                 | 12        |
| 3.2      | Effect van het Klimrekscherm op de lichtomstandigheden in een tuinbouwkas | 12        |
| 3.3      | Effect van het Klimrekscherm op de gewasproductie                         | 17        |
| 3.4      | Gebruik van de laagwaardige warmte van het Klimrekscherm                  | 21        |
| 3.5      | Economische perspectieven                                                 | 23        |
| 3.6      | Conclusies                                                                | 25        |
| <b>4</b> | <b>Toekomstperspectieven Klimrek scherm</b>                               | <b>27</b> |
| 4.1      | Inleiding                                                                 | 27        |
| 4.2      | Asymmetrisch dek                                                          | 27        |
| 4.3      | Het nieuwe telen                                                          | 27        |
| 4.4      | Diffusiteit en vloeistof toevoeging                                       | 27        |
| 4.5      | Teelten                                                                   | 28        |
| <b>5</b> | <b>Conclusies en aanbevelingen</b>                                        | <b>29</b> |

|                                                         |           |
|---------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Bijlage 1. Meting lichtbol referentienummer 4691</b> | <b>31</b> |
| <b>Bijlage 2. Kas en teeltbeschrijving Tomaat</b>       | <b>34</b> |
| <b>Bijlage 3. Kas en teeltbeschrijving Komkommer</b>    | <b>36</b> |
| <b>Bijlage 4. Kas en teeltbeschrijving Ficus</b>        | <b>38</b> |

# 1 Inleiding en doel

## 1.1 Inleiding

Voor de glastuinbouw is het van groot belang om minder afhankelijk te zijn van fossiele energie. Vanuit het programma Kas als Energiebron wordt daarom gezocht naar nieuwe mogelijkheden om het gebruik van fossiele energie te reduceren. “Het Nieuwe Telen” is het energiezuinig telen in kassen met behulp van de technieken en ervaringen uit geconditioneerde teeltsystemen en (semi-) gesloten kassen.

Binnen “Het Nieuwe Telen” wordt er gezocht naar relatief simpele praktijkklare oplossingen zoals: vermindering van de warmtevraag door intensievere isolatie met energieschermen, minimalisering van de inzet van “de minimumbuis” en “de vochtmier” ten behoeve van de vochtbeheersing van het klimaat, inzet van energiezuinige technieken voor de vochtbeheersing, en telen met de natuur (licht en buitentemperatuur) mee. Het klimrekscherm kan een waardevolle bijdrage leveren aan “het nieuwe telen” omdat het een efficiënte warmtewisselaar is en de mogelijkheid biedt om het beschikbare zonlicht efficiënt te benutten (door het op afroep licht diffuus te maken). Bovendien is het een simpel praktijkklaar gericht systeem.

## 1.2 Doelstelling

Deze haalbaarheidstudie heeft als doel de mogelijkheden van het klimrek systeem in de glastuinbouw in kaart te brengen in een semi-gesloten teelt concept teneinde te komen tot energiebesparing, productieverhoging, betere kwaliteit, betere CO<sub>2</sub> benutting en minder uitval ten gevolge van vochtproblemen door een te hoge RV.

Doelstellingen zijn:

- Aan de hand van nieuwe inzichten voor wat betreft diffuus licht, lichtdoorlatendheid scherm en praktijkgerichte waardes de haalbaarheid van het systeem opnieuw berekenen.
- Het effect van de toepassing van het klimrekscherm in kaart brengen op teelttechnisch- en energiegebied. Beoogde energie gasbesparing is tot 16 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> per jaar.
- De technische randvoorwaarden voor installatie en gebruik opstellen.
- Economische haalbaarheid van het klimrekscherm bepalen.

Het verslag bestaat uit een aantal afzonderlijke rapportages. In hoofdstuk 2 staan de resultaten van de lichtmetingen verricht door DLV Glas en Energie. In hoofdstuk 3 wordt de rapportage getoond van WUR Glastuinbouw door H.F. de Zwart. In dit rapport is het effect van het gebruik van het klimrekscherm op warmteverzameling, groei en economie doorgerekend. Hoofdstuk 4 gaat verder in op de toekomstperspectieven van het klimrekscherm. In hoofdstuk 5 worden alle conclusies van de deelrapporten getoond.

## 2 Lichtmetingen DLV Glas en Energie

Door DLV Glas en Energie

### 2.1 Inleiding

Voor u ligt de rapportage van de lichtdoorlaat metingen van Klimrek producten in Pijnacker. Deze meting en dit rapport zijn uitgevoerd naar aanleiding van uw vraag om inzichtelijk te krijgen wat de lichtdoorlaat van toe te passen folies voor het klimrekscherm zijn in droge toestand, met condens aan onderzijde en in de situatie als de condens wordt verwijderd als er een waterfilm over de folie loopt aan zowel bovenzijde als onderzijde.

Het klimrekscherm bevat een folie wat van goot naar nok loopt en wat oprolbaar is en dus op afroep beschikbaar. Door daar een diffuus scherm (met hoge haze factor) in te doen kan de lichttoetreding dus op afroep diffuus worden gemaakt. Nadeel van folie in een kas is dat er condens op treedt aan de onderzijde. Door anticondensfolie (AC) te gebruiken ontstaat na verloop van tijd verkleuring wat niet is gewenst. Daarom is de wens om te onderzoeken of door een waterfilm over het folie te laten lopen (aan onderzijde) ook het condens kan worden weggenomen zonder dat er lichtverlies op treedt.

De werkelijke lichtdoorlaat (loodrecht en diffuus) is gemeten met de meetbol van DLV Glas en Energie. Tevens is daarmee de haze factor van het materiaal bepaald. Daarna is op de meetopstelling bij Klimrek producten in Pijnacker onderzocht wat er gebeurt bij condensvorming en bij toepassing van een waterfilm aan boven- en onderzijde van het folie.

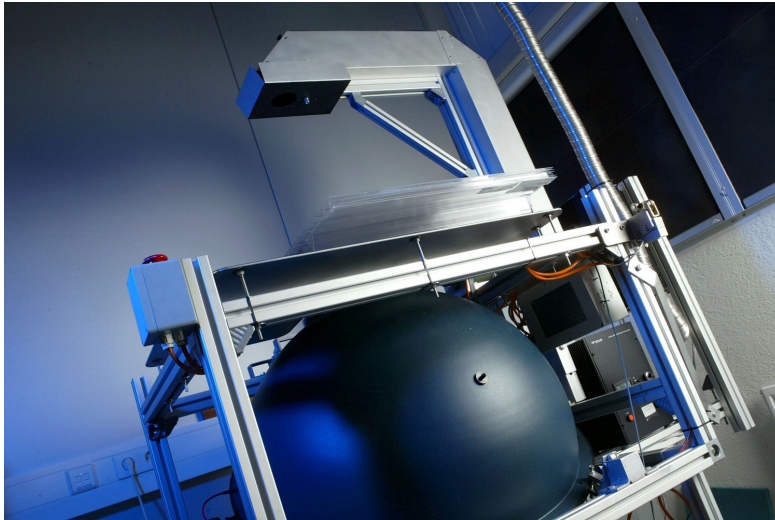
### 2.2 Uitgangspunten

Droog folie materiaal gemeten met de meetbol bij DLV Glas en Energie in Naaldwijk. Dit is de referentie van het materiaal.

Op de meetopstelling bij Klimrek is onder een aantal andere omstandigheden gemeten om onderling te kunnen vergelijken. Hierbij is de meting van het droge materiaal in deze opstelling de referentie. Daarna zijn een aantal andere natte omstandigheden gemeten. Er is gemeten met een LI-COR LI-250 lichtmeter gemeten met een PAR sensor die in de opstelling op een vaste plek is gemonteerd onder het foliedoek. Er is ook gemeten met open scherm.

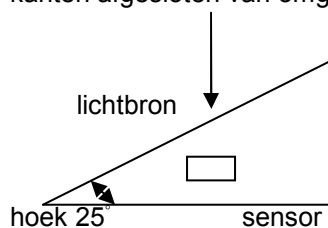
## 2.3 De meetopstelling

In Naaldwijk is gemeten met de vaste meetopstelling om de lichtdoorlaat in loodrechte toestand en onder de hoeken van 15, 30 45, 60 en 75 graden te meten. Dit is een hemisferische meting maar verder diffuse meting genoemd. De haze factor van het materiaal is ook met deze opstelling gemeten. In foto hieronder is deze meetopstelling zichtbaar.



**Figuur 1 Meetbol DLV Glas en Energie**

De metingen op het bedrijf van Klimrek producten is gemeten met een door Klimrek ontworpen meetkubus waarin een folie onder een hoek van 25 graden zit gespannen. De PAR sensor zit in het midden van deze box 25 cm onder het folie gemonteerd op een horizontaal vlak (staat waterpas). Boven het scherm is tevens in horizontale toestand een lichtbron gemonteerd. De lichtbron bestaat uit een aantal ledlampjes. De lichtbundel gaat dus in een hoek van 25 graden t.o.v. loodrecht door het foliescherm. De bak is aan alle kanten afgesloten van omgevingslicht zodat alleen de lichtbron op de sensor komt.



**Figuur 2**

Om de diverse omstandigheden te meten wordt aan de onderzijde condensvorming gemaakt door water in een pannetje met een spiraal te verwarmen. Het natmaken van de bovenzijde van de folie gebeurt via het opbrengen van water (met uitvloeier) aan de hoogste zijde van het folie zodat het omlaag loopt over het folie.

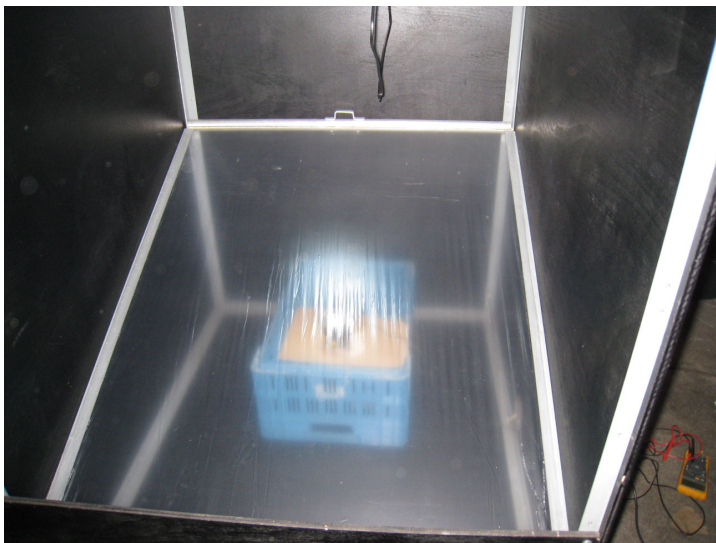
De onderzijde van het folie wordt van een waterfilm voorzien door water met uitvloeier aan de hoogste zijde van het folie op te brengen waar het via gemaakte gleufjes/gaatjes naar

de onderzijde van het scherm kan. Dit proces is tijdens de meting soms versneld door het scherm op en af te rollen met water met uitvloeier erin.

De volgende afbeeldingen geven de meetopstelling met de meetkist weer.



**Figuur 3 Meetkist ten behoeve van de lichtmetingen**



**Figuur 4 Meetkist waarbij het folie gespannen is onder het folie een PAR-meter geïnstalleerd is.**

## 2.4 Resultaten

### 1. Heldere folie met AC werking

#### Meetopstelling Klimrek

| Situatie                                       | $\mu\text{mol}/\text{cm}^2$ | Verskil met vorige rij (%) |
|------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Scherm open                                    | 13,70                       |                            |
| Scherm dicht droog                             | 11,75                       | 14,2                       |
| Scherm dicht met condens                       | 11,75                       | 0                          |
| Scherm dicht met waterfilm bovenzijde          | -                           | -                          |
| Scherm dicht met waterfilm boven en onderzijde | 11,30                       | 3,8                        |

#### Opmerkingen:

Bij toepassing AC folie ontstaat er geen condens en dus is er in die situatie geen verschil gemeten t.o.v. droog folie.

Met waterfilm alleen aan bovenzijde is niet gemeten en met aan boven en onderzijde is niet veel lager dan droog.

### 2. Helder folie zonder AC werking

#### Meetopstelling Klimrek

| Situatie                                       | $\mu\text{mol}/\text{cm}^2$ | Verskil met vorige rij (%) |
|------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Scherm open                                    | 13,28                       |                            |
| Scherm dicht droog                             | 11,78                       | 11,3                       |
| Scherm dicht onder droog boven waterfilm       | 11,65                       | 1,1                        |
| Scherm dicht met condens                       | 8,42                        | 27,7                       |
| Scherm dicht met waterfilm bovenzijde          | 8,50                        | 1,0                        |
| Scherm dicht met waterfilm boven en onderzijde | 11,65                       | 37,1                       |

#### Opmerkingen:

Door condensvorming op het heldere folie wordt de lichtdoorlaat een stuk lager (28,5%). Door een waterfilm aan te brengen aan de onderzijde van het folie komt de waarde weer bijna terug op de beginwaarde in droge toestand. Het verlies is nog maar 1% t.o.v. de beginwaarde in droge toestand.



### 3. Diffuus folie zonder AC werking

#### Meetopstelling Klimrek

| Situatie                                       | $\mu\text{mol}/\text{cm}^2$ | Verskil met vorige rij (%) |
|------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Scherm open                                    | 12,83                       |                            |
| Scherm dicht droog                             | 9,15                        | 28,7                       |
| Scherm dicht onder droog boven waterfilm       | 9,15                        | 0                          |
| Scherm dicht met condens                       | 7,23                        | 21,0                       |
| Scherm dicht met waterfilm boven en onderzijde | 9,06                        | 25,3                       |

#### Opmerkingen:

Door condensvorming op het diffuse folie wordt de lichtdoorlaat een ook stuk lager (21%), maar minder dan de 28,5% bij het heldere folie. Door een waterfilm aan te brengen aan de onderzijde van het folie komt de waarde weer bijna terug op de beginwaarde in droge toestand. Het verlies is nog maar 1% t.o.v. de beginwaarde in droge toestand.

### 4. Metingen met de meetbol bij DLV glas & energie

Met de meetbol is gemeten wat de loodrechte doorlaat van een diffuus folie is en wat de doorlaat van de diverse hoeken (15,30,45,60,75 graden) is. De diffuse doorlaat is de gemiddelde waarde van de lichtdoorlaat van de hoeken incl. de loodrecht meting waarbij de meetapparatuur komt tot een gewogen gemiddelde waarde.

De haze factor geeft de mate van verstrooiing van het licht weer. Een hoge waarde betekent meer verstrooiing. Het zegt dus niets over de lichtdoorlaat van een materiaal.

#### Doek met referentienummer 4691

| meethoek  | Lichtdoorlaat (%) |
|-----------|-------------------|
| Loodrecht | 90,6              |
| 15°       | 90,7              |
| 30°       | 90,4              |
| 45°       | 88,6              |
| 60°       | 81,0              |
| 75°       | 57,0              |

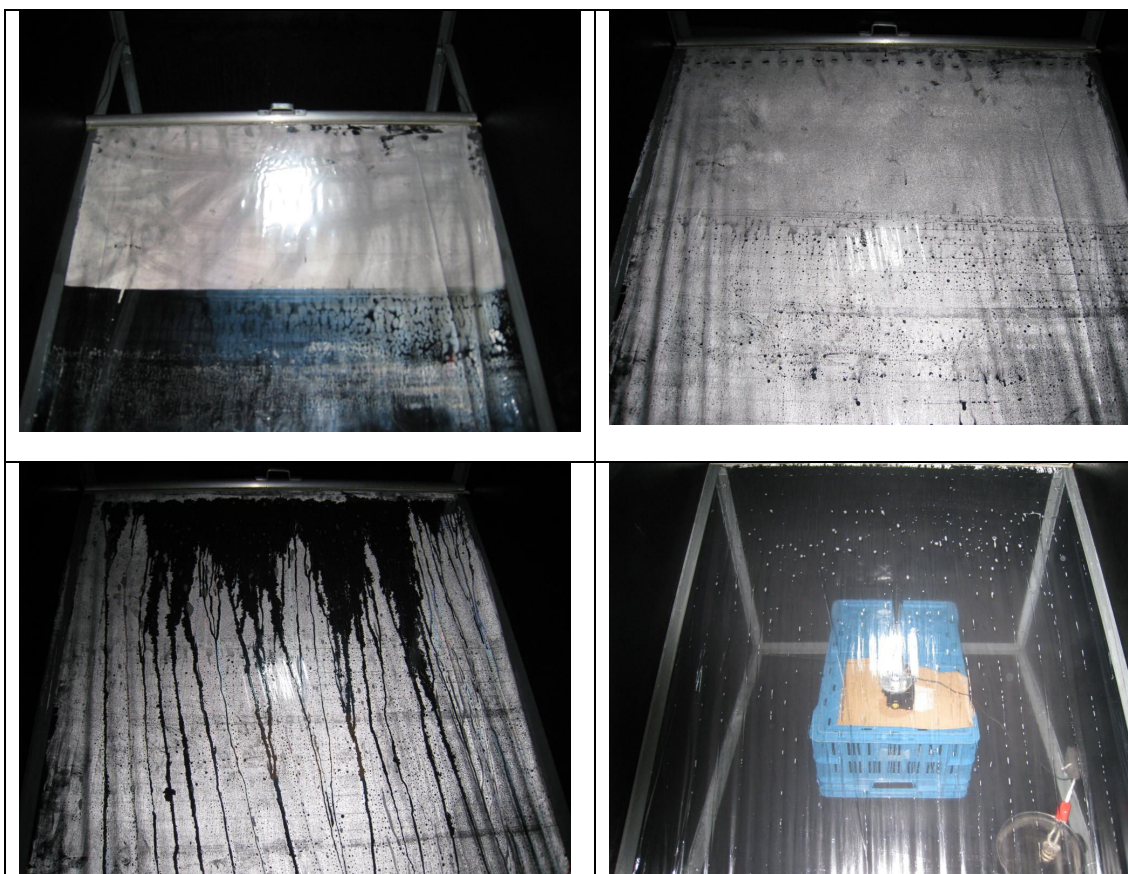
Diffuus 82,4 % lichtdoorlaat  
Haze 34,8 %

Bovenstaand doek wordt gezien de haze factor omschreven als een diffuus folie. De hoek van de lichtbron t.o.v. het folie was bij de meetopstelling van klimrek 25 graden t.o.v. loodrecht. Vandaar dat gerekend is met de meetwaarde van de hoek van 30 graden uit de bovenstaande tabel van de meetbol. Deze waarde is 90,4% lichtdoorlaat. Als dit diffuus folie gaat condenseren zou er 21% lichtverlies optreden (zie opmerking bij paragraaf 3).

| Situatie                                       | lichtdoorlaat (%) | Verskil t.o.v. geen scherm (%) |
|------------------------------------------------|-------------------|--------------------------------|
| Scherm open                                    | 100 %             |                                |
| Scherm dicht droog                             | 90,4%             | 9,6                            |
| Scherm dicht onder droog boven waterfilm       | 90,4%             | 9,6                            |
| Scherm dicht met condens                       | 71,4%             | 28,6                           |
| Scherm dicht met waterfilm boven en onderzijde | 89,5%             | 10,5                           |

Dit betekent dus een lichtdoorlaat van 71,4% onder gecondenseerd folie. Als deze condensvorming wordt teniet gedaan door water met uitvloeier aan onder en bovenzijde van het folie loopt het lichtverlies uiteindelijk terug naar ca. 1%. Dit betekent dus dat er dan een lichtdoorlaat is van 89,5% bij dit folie.

De volgende afbeeldingen laten het tegengaan van condenswerking zien.



**Figuur 5** Foto linksboven een gecondenseerd vlak en een niet gecondenseerd vlak. Rechtsboven volledig gecondenseerd folie waarbij bovenaan een aantal kleine gaatjes te zien zijn. Foto linksonder het effect zien van een waterfilm onder het folie en rechtsonder het uiteindelijke resultaat van een waterfilm aan de onderzijde.

## 2.5 Opmerkingen en conclusies

- Een foliescherm geeft lichtverlies in gesloten toestand.
- Indien het folie helder is, is dat verlies kleiner dan wanneer er wordt gekozen voor een diffuus folie. Een diffuus folie heeft echter als voordeel dat het door de hogere haze factor meer verspreiding van het licht veroorzaakt.
- Nadeel van folie is dat als er condens op zit de hoeveelheid groeilicht wat er door komt aanzienlijk lager wordt. In de praktijk wordt dit condensvorming voorkomen door AC folie toe te passen. Echter deze AC werking zal na verloop van tijd verdwijnen. Daarom is onderzocht of het lichtverlies a.g.v. condensvorming onder een scherm kan worden voorkomen door een laagje water met uitvloeier.
- Het blijkt dat door een waterfilm met uitvloeier aan de onderzijde van het scherm te laten stromen, dat daardoor de condens weg is en de lichtdoorlaat weer terug komt op ongeveer het niveau van een droog folie. Uiteindelijk is er 1% minder lichtdoorlaat t.o.v. droog folie.
- Indien er echter wel condensvorming op treedt is het lichtverlies bij het gemeten diffuse folie met 21% vele malen hoger t.o.v. droog diffuus folie. Ofwel door het water met uitvloeier voorkom je 20% lichtverlies bij een diffuus folie.
- Bij het gemeten helder folie is het lichtverlies door condensvorming met 28,5% t.o.v. droog helder folie een stuk hoger. Daar is de winst van het water met uitvloeier met 27,5% dan ook nog hoger dan bij een diffuus folie.

### **3 Effect Klimrekscherm op warmteverzameling, groei en economie**

Door WUR Glastuinbouw (H.F. de Zwart)

#### **3.1 Inleiding**

Klimrek B.V. ontwikkelt een schermstelsel dat vanuit de goot naar de nok in de zuidwaarts gerichte kap van een kas kan worden opgetrokken. Dit scherm heeft diffuserende eigenschappen zodat bij het optrekken van het scherm het licht in de kas een meer diffuus karakter krijgt. Dit leidt tot een vergroting van het fotosynthese-potentieel.

Wanneer het scherm met koud water bevoeid wordt geeft het scherm naast een effect op het lichtregime, ook een koelend effect. De koeling zorgt voor een afname van het ventilatieverlies van CO<sub>2</sub> door de ramen wat bij het gebruik van CO<sub>2</sub>-dosering eveneens een productieverhogend effect heeft. Daarnaast vormt een het scherm op deze manier een collector voor duurzame energie.

In dit rapport wordt het effect van het Klimrekscherm op de lichtcondities in de kas in beeld gebracht. Ten behoeve van de berekening van de lichtomstandigheden wordt gebruik gemaakt van de optische eigenschappen van het gebruikte folie zoals die door DLV Glas en Energie zijn bepaald.

De combinatie van de gebruikswijze van het scherm en de teelt waarin dit scherm wordt ingezet leidt tot een te verwachten effect in termen van gewasgroei.

Afhankelijk van de strategie waarmee het scherm wordt ingezet en met water wordt bevoeid zal er een bepaalde hoeveelheid laagwaardige warmte worden verzameld. Na opslag van deze warmte over korte of lange termijn kan deze worden ingezet als bijdrage voor de verwarming uit duurzame bron.

De combinatie van effecten op gewasgroei en op energieverbruik leveren een voordeel op variabele kosten en opbrengsten uit het bedrijf. In hoofdstuk 3.5 worden deze kosten en opbrengsten in beeld gebracht en in relatie gebracht tot de investeringskosten voor de installatie. Dit leidt dan tot een aantal bedrijfseconomische conclusies ten aanzien van het Klimrekscherm.

#### **3.2 Effect van het Klimrekscherm op de lichtomstandigheden in een tuinbouwkas**

Het Klimrekscherm bestaat uit een transparant folie dat in opgerolde toestand in een cassette is opgeborgen. Het scherm is aan het losse uiteinde bevestigd aan een meeneemprofiel. Bij sluiting van het scherm wordt het folie vanuit de goot naar de nok omhoog getrokken zodat al het licht dat door de zuidzijde de kas binnenvalt via het Klimrekscherm in de kas komt.

Het meeneemprofiel dient tevens als bevestigingspunt voor sectorsproeiers en zorgt voor de wateraanvoer naar die sproeiers. Behalve een schermende werking geeft het Klimrekscherm namelijk ook een koelfunctie op het moment dat koud water (met een typische waarde van 10 °C) vanaf de bovenkant van het scherm wordt opgespoten. Op weg naar beneden warmt dit koude water op onder invloed van de warme omgeving. Indien het scherm dus wordt bevloeid op momenten dat de kasluchttemperatuur boven de ventilatielijn uit komt kan op deze manier warmte uit zonne-energie worden verzameld.

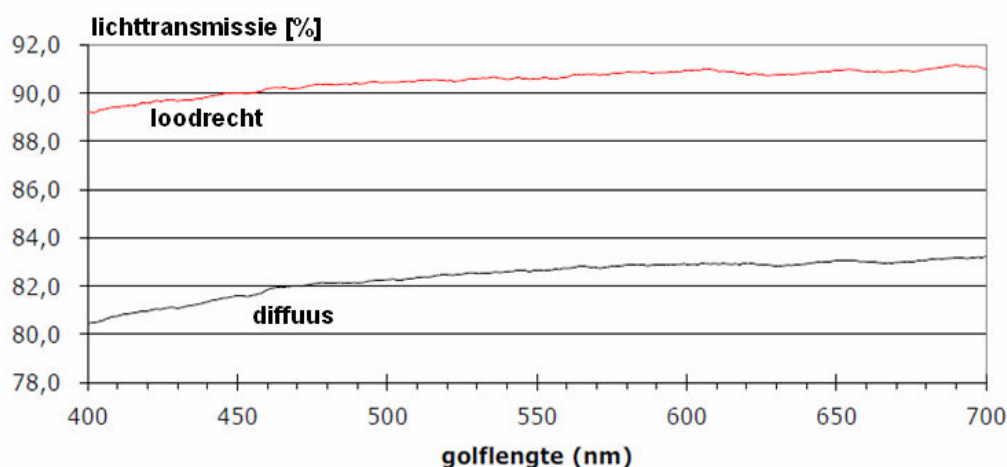
De optische eigenschappen van het folie zijn door DLV Glas en Energie bepaald, wat leidde tot de volgende resultaten.



### resultatenblad

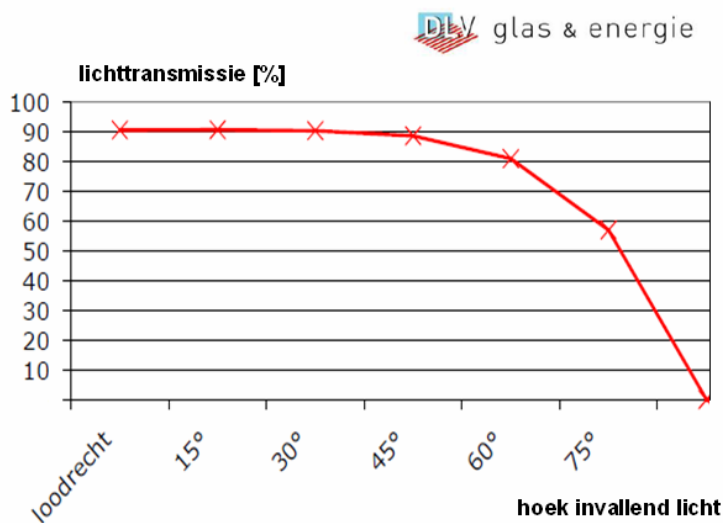
#### loodrecht en diffuse lichtdoorlatendheid

|                      |                |         |
|----------------------|----------------|---------|
| <b>klant</b>         | <b>Klimrek</b> |         |
| klant nr             | AC folie       |         |
| monster nr           | 4691           |         |
| meetdatum            | 20-okt-10      |         |
| dikte (mm)           | 0              |         |
| grafieknaam          | loodrecht      | diffuus |
| lichttransmissie (%) | 90,6           | 82,4    |



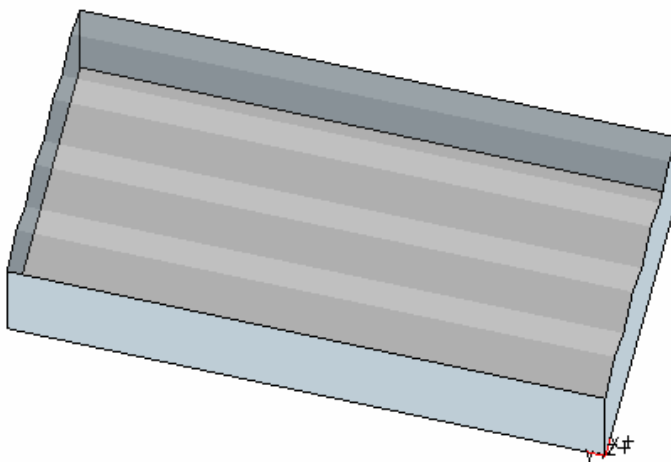
Figuur 1 Lichttransmissie van het folie dat gebruikt wordt in het Klimrekscherm als functie van de golflengte

Op grond van de gegevens in figuur 1 wordt de diffuse lichttransmissie gesteld op 82,4%. De grafiek laat ook een getal voor de loodrechte transmissie zien, maar het simulatiemodel waarin het effect van de lichttransmissie worden doorgerekend gebruikt voor direct licht de van moment tot moment variërende hoek van inval van het licht op het noord- en zuiddek. Daarom wordt voor de transmissie voor direct licht gebruik gemaakt van de curve die in figuur 2 wordt getoond. Deze grafiek geeft aan dat voor het licht dat met steile invalshoeken op de kas valt een directe transmissie van 90% kan worden gehanteerd. Pas bij een hoek van inval die groter wordt dan 45% gaat de transmissie voor direct licht afnemen. Overigens is de vorm van de curve voor het betreffende folie vrijwel gelijk aan de curve voor enkel glas.



Figuur 2 Hoek-afhankelijke lichttransmissie van het folie dat gebruikt wordt in het Klimrekscherm

Uitgaande van de bovenbeschreven materiaaleigenschappen wordt door het simulatiemodel van moment tot moment berekend wat het effect is van het Klimrekscherm op de lichtomstandigheden in de kas. Veronderstel dat de zon bijna op het zuiden staat met een elevatie van 60° staat (zie figuur 3).



Figuur 3 Aanzicht op een oost-west georiënteerde kas, gezien vanuit de zon die bijna in het zuiden staat bij een elevatie van 60°.

In het geval zoals getoond in figuur 3 valt 57% van het zonlicht door de zuidkap en 33% door de noordkap. De som van deze twee percentages is 90% en geen 100 omdat er allerlei constructiedelen in een kas zitten die doorlatendheid 0 hebben.

De hoek van inval aan de zuidkap is 8° en aan de noordkap is die onder deze omstandigheden 54°. Volgens figuur 2 is de lichttransmissie van het folie in de zuidkap bij deze hoek van inval 90%. De lichtdoorlatendheid van het glas is bij de zuidkap ook 90% en bij de noordkap is die onder deze omstandigheden 83%. De overall lichttransmissie



voor direct licht met opgetrokken Klimrekscherm is in dit geval dus  $57 \cdot 0.9 \cdot 0.9 + 33 \cdot 0.83 = 74\%$ . Zonder het Klimrekscherm zou die  $57 \cdot 0.9 + 33 \cdot 0.83 = 79\%$  bedragen.

De doorlatendheid van het Klimrekscherm voor diffuus licht bedraagt 82.4% en omdat de helft van het diffuse licht door het ene dakvlak valt en de andere helft door het andere dakvlak, bedraagt de vermindering van lichtdoorlaat voor diffuus licht 8.8%.

Als we nu een kas veronderstellen met een overall diffuse doorlatendheid van 73% en uitgaan van een diffuse stralingsintensiteit van  $200 \text{ W/m}^2$  en een directe straling van  $500 \text{ W/m}^2$  dan is de totale hoeveelheid straling in de kas zonder Klimrekscherm  $0.73 \cdot 200 + 0.79 \cdot 500 = 541 \text{ W/m}^2$ . Met het Klimrekscherm is dit  $0.73 \cdot 0.912 \cdot 200 + 0.74 \cdot 500 = 503 \text{ W/m}^2$ .

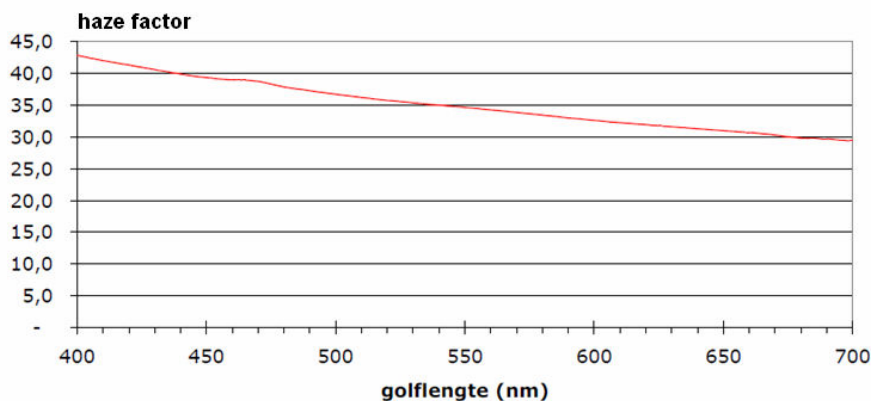
Anders dan glas, heeft het folie echter een diffuserende werking. Dit betekent dat het licht wat door het folie wordt doorgelaten onder verschillende hoeken uittreedt. Figuur 4 geeft aan dat de haze van dit folie 35% bedraagt. Dit betekent dat 35% van het uitredende licht een hoekverandering van meer dan  $2.5^\circ$  heeft ondergaan (dit is de definitie van haze).



### resultatenblad

#### haze factor

| klant       | Klimrek   |
|-------------|-----------|
| klant nr    | AC folie  |
| monster nr  | 4691      |
| meetdatum   | 20-okt-10 |
| dikte (mm)  | 0         |
| grafieknaam | haze      |
| haze factor | 34,8      |

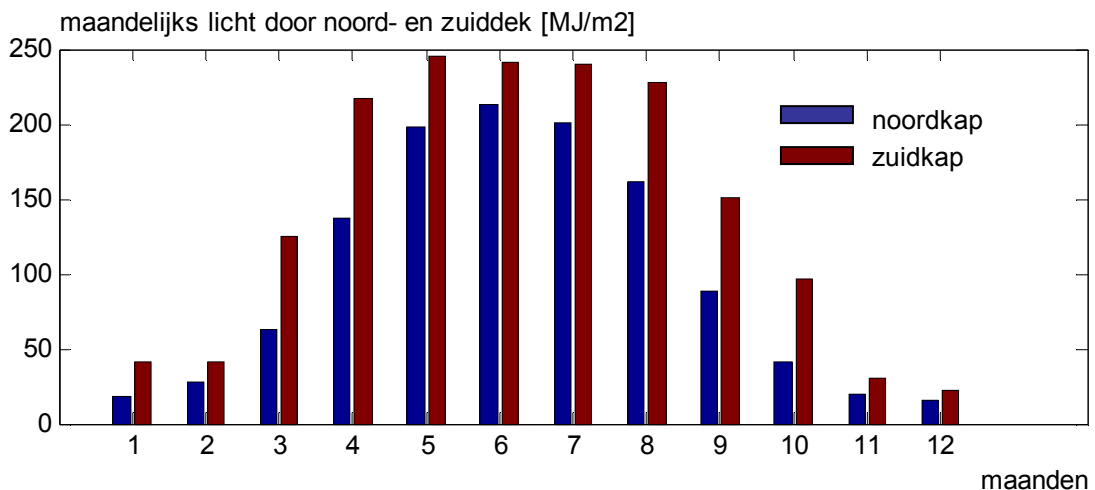


Figuur 4 Haze-factor van het folie dat gebruikt wordt in het Klimrekscherm

De hoeveelheid licht in de kas is dus verlaagd ( $38 \text{ W/m}^2$  minder in het bovenstaande voorbeeld), maar ook van samenstelling veranderd. Als we 35% van het door het folie doorgelaten licht als diffuus licht veronderstellen dan 'levert' het folie in het hier besproken voorbeeld  $0.57 \cdot 0.9 \cdot 0.9 \cdot 500 \cdot 0.35 = 81 \text{ W/m}^2$  diffuus licht. De totale hoeveelheid diffuus licht in de kas met het opgetrokken Klimrekscherm is dus  $0.73 \cdot 0.912 \cdot 200 + 81 = 214 \text{ W/m}^2$ . Als het Klimrekscherm niet opgetrokken is bedraagt de hoeveelheid diffuus licht in deze omstandigheden  $0.73 \cdot 200 = 146 \text{ W/m}^2$ . Het optrekken van het scherm leidt dus tot  $68 \text{ W/m}^2$  meer diffuus licht en  $106 \text{ W/m}^2$  minder direct licht ( $106 \text{ W/m}^2$  volg uit  $541 - 146 = 503 - 214$ ).

Alle bovengenoemde getallen gelden voor het geval de folie droog is. DLV glas en energie heeft aangegeven dat de lichttransmissie met 1%-punt afneemt als de folie besproeid wordt. Het voorbeeld wat in het bovenstaande gedeelte is uitgewerkt voor een specifieke situatie is in de onderstaande figuren uitgewerkt voor een heel jaar.

Figuur 5 laat eerst zien hoeveel licht er per maand door het zuidvlak valt en hoeveel door het noordvlak.



Figuur 5 *Lichttoetreding in de kas, opgedeeld naar maanden van het jaar en uitgesplitst naar licht dat door de noordkap valt en licht dat door de zuidkap valt*

Op grond van figuur 5 kan gesteld worden dat het Klimrekscherm inwerkt op maximaal ongeveer 60% de hoeveelheid licht in de kas.

Het model wat voor de berekeningen wordt gebruikt voert van minuut tot minuut door het jaar de eerder voorgerekende procedure uit zodat een nauwkeurig beeld kan worden verkregen van het effect van het gebruik van het scherm op de hoeveelheid diffuus en direct licht in de kas.

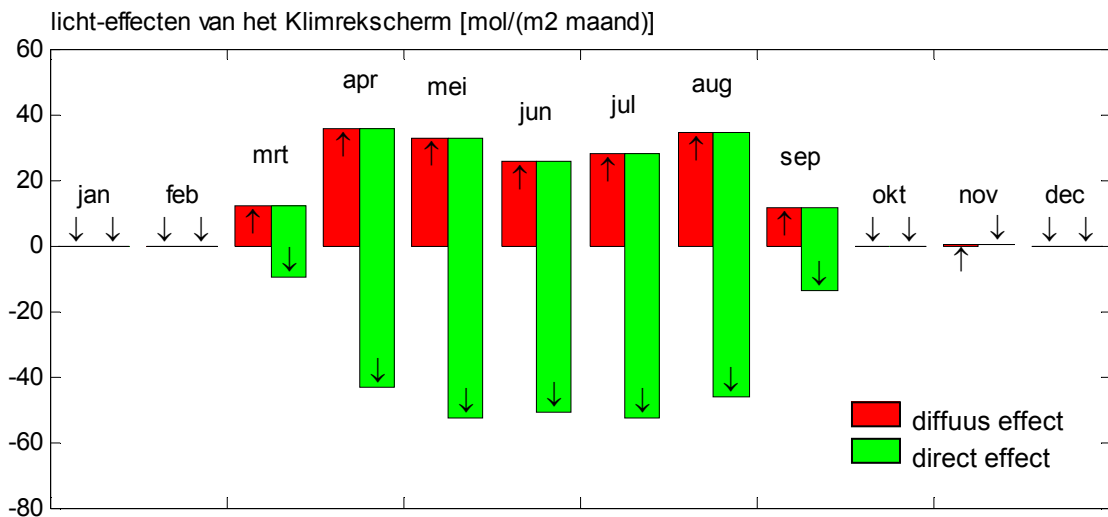
Figuur 6 toont het resultaat van deze berekeningen waarbij gewerkt is met de lichttransmissie-gegevens van een besproeid folie (waardoor de transmissie met 1 %-punt afneemt). De grafiek laat zien hoeveel mol extra diffuus licht de kas binnenkomt en hoeveel mol minder direct licht er binnenkomt, waarbij een moderne komkommerkas als uitgangspunt is genomen (vakmaat 4 meter, diffuse lichtdoorlatendheid van het kasdek, inclusief scherminstallatie, 73%).

In de koude maanden van het jaar wordt het scherm praktisch niet gebruikt en is er geen effect van het scherm (er is door de ontwerper aangegeven dat de cassette + meeneemprofiel volledig in de gootconstructie zijn opgenomen).

Van maart t/m september wordt het scherm regelmatig gebruikt (in deze berekeningen wordt het scherm opgetrokken als er meer dan 500 W/m<sup>2</sup> globale straling is en de kastemperatuur boven de ventilatielijn uitkomt. Het is duidelijk dat de hoeveelheid diffuse



straling toeneemt in de zomerperiode met zo'n 30 mol/m<sup>2</sup> per maand toeneemt en dat de hoeveelheid directe straling met zo'n 80 mol/m<sup>2</sup> per maand afneemt. Gemiddeld neemt de lichthoeveelheid in de kas dus met circa 50 mol/m<sup>2</sup> per maand af. Op jaarbasis betekent dit dat de hoeveelheid diffuus licht in de kas met 7% toeneemt terwijl de hoeveelheid direct licht per jaar 17% lager is. De totale hoeveelheid zonlicht in de kas met een Klimrekscherm dat bij 500 W/m<sup>2</sup> wordt opgetrokken neemt af met 5.2% per jaar.



Figuur 6 Effecten op de hoeveelheid diffuus licht en direct licht in een kas met Klimrekscherm in vergelijking met een kas zonder Klimrekscherm. Alle overige kaseigenschappen zijn gelijk gehouden.

Het Klimrekscherm levert dus een voordeel voor de groei op wanneer de efficiëntie van de fotosynthese uit diffuus licht ruim twee keer zo groot is als de efficiëntie uit direct licht. Hierop wordt in het volgende hoofdstuk nader ingegaan.

Overigens is het denkbaar dat bij gebruik van het Klimrekscherm de 'scherpte' van het zonlicht wordt weggenomen en het er in de eerste weken van de tweede teelt (in mei, juni en juli) niet langer gebruik gemaakt hoeft te worden van het schaduw scherm. In de referentieteelt wordt het energiescherm voor die functie gebruikt door het tot 80% dicht te trekken als er buiten meer dan 600 W/m<sup>2</sup> straling is.

Als dit zo gedaan wordt dan neemt het totale lichtverlies door het Klimrekscherm voor de komkommerteelt af naar 3.3%.

### 3.3 Effect van het Klimrekscherm op de gewasproductie

De fotosynthese van planten is een sterk niet-lineair proces, waardoor de totale fotosynthese toeneemt naarmate het beschikbare licht meer egaal over het gewas wordt verdeeld. Hierdoor zal bijvoorbeeld 200 W/m<sup>2</sup> diffuus licht in de kas tot een hogere productie leiden dan 100 W/m<sup>2</sup> diffuus + 100 W/m<sup>2</sup> direct.

In geval 35% van het directe licht zou worden omgezet in diffuus licht, zonder verlies aan overall transmissie wordt door het simulatiemodel een jaarrond-productietoename van 6% verwacht.

Behalve een effect op het lichtregime heeft het gebruik van het Klimrekscherm ook een invloed op de CO<sub>2</sub>-concentratie in de kas omdat de verlaging van de lichtsom in de kas tot een vermindering van de ventilatie leidt. De ventilatie wordt nog meer beperkt als het scherm ook nog eens bevoeid wordt met koud water, waardoor het scherm gaat werken als een koeler met een koelcapaciteit van gemiddeld 85 W/(m<sup>2</sup><sub>kas</sub>) (bij een opgespoten watertemperatuur van 10 °C en een sproeidebiet van 10 liter/(m<sup>2</sup><sub>kas</sub>) per uur).

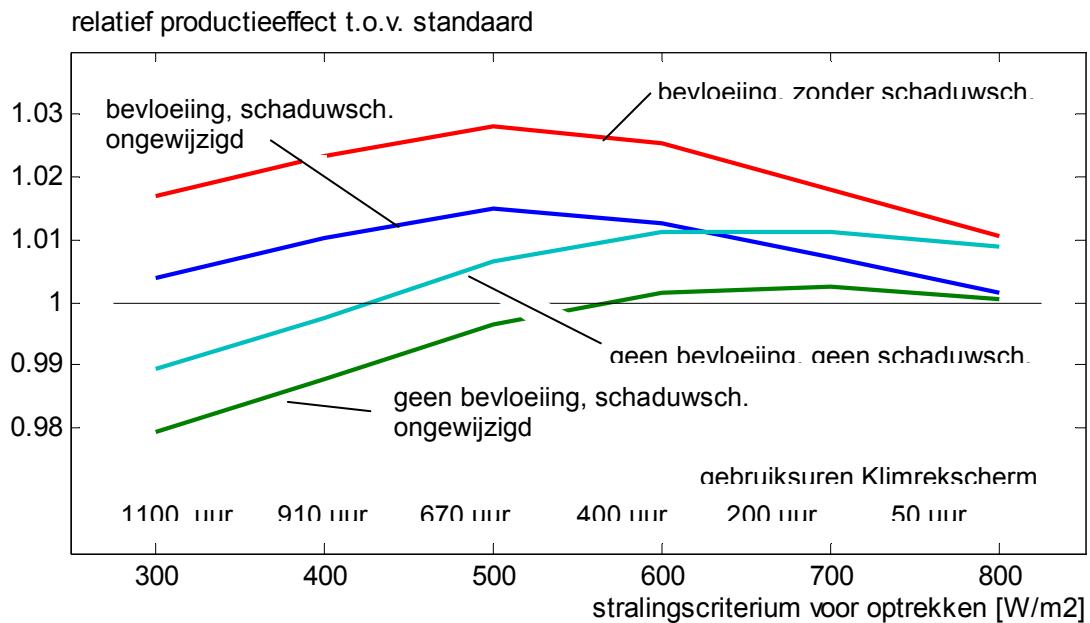
Het effect van de koeling neemt toe naarmate het Klimrekscherm meer wordt gebruikt, dus als het bij lagere lichtintensiteiten opgetrokken wordt. Daartegenover staat dat bij lage lichtintensiteiten het verlies aan totaal licht niet opweegt tegen de verschuiving van direct naar diffuus licht. Deze twee effecten leiden tot een optimum dat in onderstaande grafiek wordt getoond.

Het gebruik van het scherm is afhankelijk gemaakt van het optrek criterium. Overigens wordt het scherm daarbij alleen opgetrokken als de kasluchttemperatuur het ventilatiesetpoint overschrijdt. De grafiek geeft het effect ten opzichte van een standaard komkommerteelt zoals die in bijlage 3 is beschreven. Daar is te zien dat in deze standaardteelt het energiescherm gedurende de eerste 12 weken ook als schaduw scherm wordt gebruikt. Het scherm wordt dan bij een stralingsintensiteit boven de 600 W/m<sup>2</sup> voor 80% dichtgetrokken.

Het is ook goed denkbaar dat bij gebruik van het Klimrekscherm er niet ook nog eens een schaduw scherm gebruikt hoeft te worden. In dat geval staat er tegenover het lichtverlies door het gebruik van Klimrekscherm in die 12 zomerweken een lichtwinst door het verminderd gebruik van het schaduw scherm (dat is in de komkommerteelt het energiescherm dat ook als schaduwgevend scherm wordt gebruikt). Dit levert de hoogste lijnen in het plaatje.

Als er naast het Klimrekscherm ook nog een schaduw scherm gebruikt moet worden komt de productie ongeveer 1% lager te liggen.

Figuur 7 laat zien dat in geval het scherm niet bevoeid wordt, het voordeel van de toename van de diffuse straling niet opweegt tegen de vermindering van de directe straling. Alleen als er wordt verondersteld dat door het gebruik van her Klimrekscherm het energiescherm niet langer als schaduw scherm gebruikt hoeft te worden ontstaat er een productie voordeel als het scherm boven de 500 W/m<sup>2</sup> wordt gebruikt. Dit voordeel loopt dan op tot maximaal 1%.



Figuur 7 *Effect van het gebruik van het Klimrekscherm op de totale jaarproductie van een komkommerteelt als functie van de gebruikswijze van het scherm (verschillende criteria voor openen van het scherm en bij al dan niet bevoeien van het scherm) in vergelijking met een komkommertkas zonder Klimrekscherm. Er zijn lijnen voor het geval dat het Klimrekscherm in de zomer een additioneel scherm is bovenop het schaduw scherm dat bij 600 W/m<sup>2</sup> dicht loopt en er zijn lijnen (de hoogst gelegen lijnen) voor het geval dat door het Klimrekscherm het schaduw scherm niet meer nodig zou zijn.*

Omdat de lijnen voor het productie-effect zonder bevoeiing allemaal lager liggen dan de lijnen met bevoeiing wordt in de rest van het rapport alleen nog maar gesproken over een bevoeid Klimrekscherm. Er kan namelijk geconcludeerd worden dat alleen het effect van het scherm op de lichtcondities geen voordeel oplevert (de verschuiving van direct naar diffuus licht compenseert niet voldoende ten opzichte van het verlies aan totale lichtdoorlatendheid). Het scherm werkt alleen positief als naast de verandering van de lichtcondities ook de CO<sub>2</sub>-concentratie door de koelende werking van het met koud water bevoeide scherm hoger komt te liggen.

De lijnen voor het productie-effect van een bevoeid scherm geven aan dat de maximale productiestijging 1.5% is wanneer de gebruikswijze van het energiescherm ongewijzigd blijft (dus het energiescherm wordt in april, mei en juni tot 80% dichtgetrokken als er meer dan 600 W/m<sup>2</sup> straling is). In geval het Klimrekscherm het gebruik van het energiescherm in die maanden overbodig maakt is de toename van de jaarproductie 3%. Dit wordt behaald wanneer het scherm wordt opgetrokken (en bevoeid) indien er meer dan 500 W/m<sup>2</sup> straling is. Het Klimrekscherm wordt dan 670 uur per jaar gebruikt.

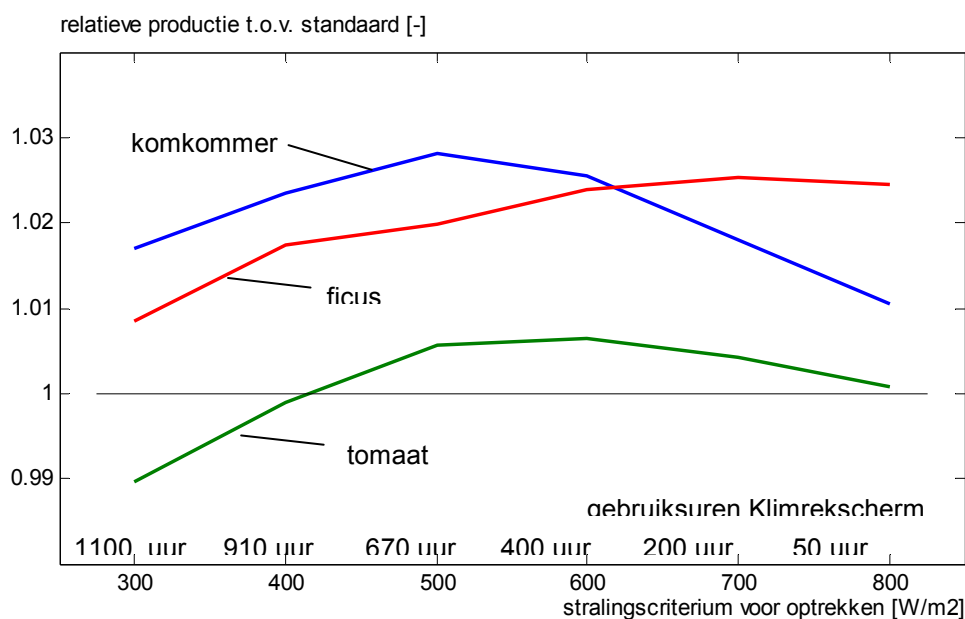
In het gebruiksgedebied tussen de 300 en 500 W/m<sup>2</sup> kan het bevoeide Klimrekscherm gezien worden als een systeem voor de verzameling van duurzame energie dat daarnaast ook nog een (klein) productievoordeel oplevert. Bij sluiting op 300 W/m<sup>2</sup> berekent het

simulatiemodel een warmteverzameling van 290 MJ/m<sup>2</sup> per jaar (in de vorm van water dat van 10 °C naar gemiddeld 19 °C is opgewarmd). Als het scherm bij 500 W/m<sup>2</sup> wordt gesloten wordt het ruim 400 uur minder gebruikt, waardoor de warmteverzameling terugloopt naar 220 MJ/m<sup>2</sup> per jaar. Bij nog verdere verhoging van het sluitcriterium neemt de hoeveelheid warmte die verzameld wordt uiteraard ook af. Het scherm wordt dan immers steeds minder gebruikt.

Een soortgelijke analyse als voor de komkommerteelt is ook uitgevoerd voor de tomatenteelt en een potplantenteelt (ficus). Het grootste verschil van de tomatenteelt ten opzichte van de komkommer is dat er in de tomatenteelt geen schaduw scherming in de zomer wordt gebruikt. Het additionele voordeel van het weglaten van deze schaduw scherming, wat in de komkommerteelt 1% voordeel opleverde, is in de tomatenteelt dus niet aanwezig.

Voor de Ficusteelt is aangenomen dat de kas is uitgerust met een dubbelwandig kasdek en intensief gebruik maakt van schaduw schermen. Als er meer dan 500 W/m<sup>2</sup> straling is wordt een XLS15F scherm dichtgetrokken. In analogie met de redenering bij de komkommerteelt, waar is gesteld dat bij gebruik van het Klimrekscherm de extra beschaduwing met het enerigescherm in de start van de tweede teelt niet langer nodig is, is voor de Ficusteelt gesteld dat bij gebruik van het Klimrekscherm het schaduw scherm een klasse lichter gekozen kan worden (XLS14F in plaats van XLS15F).

Onderstaande figuur laat de berekende effecten op de productie zien. De onderlinge vergelijking toont dat het Klimrekscherm het meest effect heeft in de warme komkommerteelt en het minste in de tomatenteelt. Het onderlinge verschil komt vooral door het effect van het Klimrekscherm op de overige schaduw systemen.

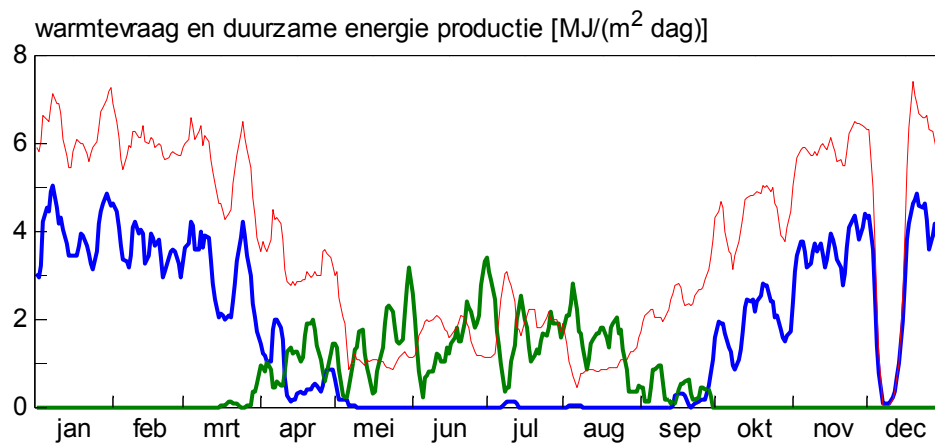


Figuur 8 Effect van het gebruik van het Klimrekscherm op de totale jaarproductie bij drie gewassen in vergelijking met de bijbehorende standaarden. In alle gevallen wordt het scherm allen gebruikt als de kastemperatuur boven de ventilatielijn komt en in dat geval wordt het scherm ook bevoeid.

### 3.4 Gebruik van de laagwaardige warmte van het Klimrekscherm

Bij besproeiing van het scherm met koud water warmt dit water op en bij het gekozen waterdebiet (10 liter/(m<sup>2</sup><sub>kas</sub> uur) ) stroomt het op een temperatuur van gemiddeld 19 °C van het dek af.

Onderstaande grafiek laat zien hoeveel warmte er op deze manier per dag over het jaar verzameld wordt. Er is gebruik gemaakt van de simulatieresultaten uit de komkommerteelt en het Klimrekscherm wordt opgetrokken bij een stralingsintensiteit boven de 500 W/m<sup>2</sup> (optimaal voor de verhoging van de gewasproductie). In dezelfde grafiek wordt de dagelijkse warmtevraag van de kas getoond, en ook het deel van die warmtevraag die door de ketel wordt geproduceerd (maar niet voor CO<sub>2</sub>-dosering).



Figuur 9 De dagelijkse warmtebehoefte van de kas (de dunne bovenste lijn), de invulling van die warmte door de ketel, exclusief de CO<sub>2</sub>-dosering en het dagelijkse aanbod van duurzame energie die vanaf het Klimrekscherm afstroomt. Het verschil tussen de bovenste (rode) lijn en de daaronder liggende (blauwe) lijn is de hoeveelheid wordt gedekt door afvalwarmte uit de WKK en de CO<sub>2</sub>-dosering. De data zijn afgevlakt middels een 5-daags voortschrijdend gemiddelde om de leesbaarheid van de grafiek te vergroten.

De belangrijkste conclusie is dat een komkommerkas met een WKK van 300 kWe/ha over de periode van april t/m september praktisch geen warmte nodig heeft buiten de afvalwarmte die reeds beschikbaar is uit WKK. Deze periode waarin praktisch geen additionele warmte nodig is valt vrijwel compleet samen met de periode waarin het Klimrekscherm nou juist zijn warmte levert.

Er is dus seizoensbuffering nodig en het daarvoor benodigde volume bedraagt 5.8 m<sup>3</sup> per m<sup>2</sup> kas (uitgaande van een warmteverzameling van 220 MJ/m<sup>2</sup> bij een opwarming van 9 °C, welke gerealiseerd wordt indien het scherm bij 500 W/m<sup>2</sup> globale straling wordt opgetrokken bij het gekozen sproeidebiet van 10 liter/(m<sup>2</sup><sub>kas</sub> uur)). Voor een dergelijk volume kan alleen gebruik gemaakt worden van aquifers en die moet in dit geval een capaciteit hebben van 30 m<sup>3</sup> per ha per uur (uitgaande van een bovengrondse etmaalbuffer van 300 m<sup>3</sup>/ha).

Teneinde de warmte/koude opslag in balans te kunnen houden moet een warmtepomp de 220 MJ weer terugkoelen in 6 maanden tijd, en dan met name tijdens de momenten met een lage elektriciteitsprijs. De warmtepomp zal dus zo'n 2500 uur draaien en heeft daarom een koelcapaciteit nodig van 25 W/m<sup>2</sup>.

Bij een COP<sub>koude</sub> van 3 betekent dit een warmtepomp met een elektrisch vermogen nodig heeft van 8.5 W/m<sup>2</sup> (85 kW/ha). Gemiddeld genomen is de warmteproductie van deze machine 1.6 MJ/m<sup>2</sup> per dag en het is in figuur 8 goed te zien dat deze warmte inderdaad in die 6 wintermaanden gemakkelijk ingezet kan worden.

Bij de productie van 220 MJ koude bij genoemde COP<sub>koude</sub> van 3 komt  $220 \cdot (\text{COP}_{\text{koude}} + 1) / \text{COP}_{\text{koude}} = 290$  MJ warmte vrij. Hierdoor wordt het gasverbruik van de ketel verlaagd met  $290 / 31.65 = 9$  m<sup>3</sup> aardgas per m<sup>2</sup> per jaar.

Overigens is het reëel te veronderstellen dat het folie wanneer het 's nachts wordt opgetrokken een extra isolerende werking geeft. In navolging van het eerdere rapport over het Klimrekscherm<sup>1</sup>, wordt dit effect op 1.5 m<sup>3</sup> aardgas equivalenten gesteld. De totale gasbesparing komt dan op 11.5 m<sup>3</sup> aardgas per m<sup>2</sup> per jaar.

De aandrijving van de warmtepomp kost echter elektriciteit. Bij een COP<sub>koude</sub> van 3 kost de productie van 220 MJ koude 20 kWh stroom. Daarbij komt het stroomverbruik van het heen en weer pompen van water over de aquifer en het versproeien van water over het Klimrekscherm. Dit vraagt 2 kWh/m<sup>2</sup> per jaar, zodat de toename van het stroomverbruik 22 kWh/m<sup>2</sup> per jaar bedraagt.

Gezien het relatief kleine elektrisch vermogen van de warmtepomp (85 kW/ha) zal het niet voorkomen dat de WKK wordt gestart om de warmtepomp van stroom te voorzien. De deellast-factor van de WKK ( $85/300 = 0.28$ ) zou dan veel te klein zijn.

Als de WKK al draait op het moment dat de warmtepomp wordt ingeschakeld gaat dit dus ten koste van de teruglevering en als de WKK niet draait zal de warmtepomp worden aangedreven uit nachtstroom. In beide gevallen is de energetische implicatie van het elektriciteitsverbruik gelijk aan het elektriciteitsverbruik gedeeld door het gemiddeld rendement van het nationale elektriciteitspark en dat staat op dit moment op 43%. Een stroomverbruik van 22 kWh komt daarmee overeen met een gasverbruik van 5.8 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup> jaar), waardoor de netto energiebesparing 4.7 m<sup>3</sup> aardgas per m<sup>2</sup> per jaar bedraagt.

Hetzelfde sommetje kan ook gemaakt worden voor het geval dat het Klimrekscherm voor maximale energiebesparing wordt gebruikt, dus al bij 300 W/m<sup>2</sup> wordt opgetrokken. Het simulatiemodel berekent dat er in dat geven 290 MJ wordt verzameld. Het gebruik van die 290 MJ door een warmtepomp levert 385 MJ aan warmte en dit bespaart 12 m<sup>3</sup> aardgas per m<sup>2</sup> per jaar. Het elektriciteitsverbruik van de warmtepomp komt dan op 29 kWh per m<sup>2</sup> per jaar, wat overeenkomt met 7.7 m<sup>3</sup> aardgas. Wanneer er opnieuw rekening wordt gehouden met de extra 1.5 m<sup>3</sup> energiebesparing is het overall energiebesparingseffect van het klimrekscherm in de komkommerteelt in geval het Klimrekscherm maximaal wordt gebruikt 5.8 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup> jaar).

---

<sup>1</sup> Zwart, H.F. de, 2009, Koel- en scherperspectieven van het Klimrekscherm, Wageningen UR Glastuinbouw, rapport 239

### 3.5 Economische perspectieven

Het Klimrekscherm levert laagwaardige warmte en daarmee de mogelijkheid voor energiebesparing en een zekere mate van productieverhoging. De energiebesparing is een resultante van een verlaging van het gasverbruik en een verhoging van het elektriciteitsverbruik.

Bij het gebruik van het Klimrekscherm kan er worden gekeken naar een maximalisatie van de energieverzameling of naar een maximalisatie van het productie-effect.

In het eerste geval moet het scherm worden opgetrokken bij een stralingsintensiteit van 300 W/m<sup>2</sup> en in het tweede geval bij een stralingsintensiteit van 500 tot 600 W/m<sup>2</sup> (variërend per teelt), wat het aantal gebruiksuren van het scherm ongeveer halveert.

In het onderstaande staatje is aangegeven wat de effecten van de twee gebruiksstrategieën voor de drie gewassen betekenen in termen van productietoename, gasbesparing en elektriciteitsgebruik.

Tabel 1 Het effect van het gebruik van het Klimrekscherm op het energieverbruik en de productie

| gewas     | sluitingscrit. [W/m <sup>2</sup> ] | gasbesparing [m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> jaar)] | extra elektriciteit [kWh/(m <sup>2</sup> jaar)] | prod. toename [%] |
|-----------|------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------|
| komkommer | 300                                | 13.7                                                 | 29                                              | 1.7               |
|           | 500                                | 10.7                                                 | 22                                              | 2.8               |
| tomaat    | 300                                | 13.7                                                 | 29                                              | -1.0              |
|           | 600                                | 6.1                                                  | 11                                              | 0.6               |
| ficus     | 300                                | 14.1                                                 | 31                                              | 0.8               |
|           | 700                                | 3.5                                                  | 6                                               | 2.5               |

Aan de hand van gangbare prijzen voor energie en product kunnen de bovengetoonde resultaten worden vertaald naar een overall inkomenseffect op variabele kosten. Een lastig punt hierbij is dat de prijs voor elektriciteit aan grote fluctuaties onderhevig is. Als we echter kijken naar de trendmatige ontwikkeling van de elektriciteitsprijs in verhouding tot de gasprijs dan is de gemiddelde stroomprijs voor nachtstroom (in kWh) 5 keer zo laag als de gemiddelde gasprijs (in m<sup>3</sup>). Bij een gasprijs van 20 cent per m<sup>3</sup> hoort dan een nachtstroomprijs van 4 cent per kWh.

Bij gebruik van een WKK moet als kostprijs van elektriciteit de sparkspread plus de onderhoudskosten van de WKK worden gerekend. In de huidige omstandigheden komt dit eveneens neer op een stroomprijs van 4 cent per kWh. Om bij andere gasprijzen een andere de bijbehorende elektriciteitsprijs te bepalen wordt overal de genoemde factor 5 gebruikt.

De productie-effecten worden in waarde omgezet door voor tomaat en komkommer uit te gaan van € 45 per m<sup>2</sup> per jaar en voor de potplantenteelt uit te gaan van € 50 per m<sup>2</sup> per jaar. Dit resulteert in de onderstaande tabel voor de waarde van het gebruik van het Klimrekscherm bij 3 verschillende gasprijzen.

Tabel 2. Verhoging van de variabele inkomsten bij gebruik van het Klimrekscherm bij de drie verschillende gewassen, bij verschillende gebruikswijzen van het scherm en bij verschillende gasprijzen.

| gewas     | sluitingscrit. [W/m <sup>2</sup> ] | gasprijs             |                      |                      |
|-----------|------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|           |                                    | 30 ct/m <sup>3</sup> | 45 ct/m <sup>3</sup> | 60 ct/m <sup>3</sup> |
| komkommer | 300 (veel duurz. energie)          | 3.13                 | 4.32                 | 5.50                 |
|           | 500 (max productie)                | 3.15                 | 4.09                 | 5.04                 |
| tomaat    | 300 (veel duurz. energie)          | 1.92                 | 3.10                 | 4.29                 |
|           | 600 (max productie)                | 1.44                 | 2.02                 | 2.61                 |
| ficus     | 300 (veel duurz. energie)          | 2.77                 | 3.95                 | 5.14                 |
|           | 700 (max productie)                | 1.94                 | 2.28                 | 2.63                 |

Tabel 2 laat zien dat, op één uitzondering na (bij de teelt van komkommer bij de laagste gasprijs), het besparen op energie meer gewicht in de schaal legt dan het uitnutten van het Klimrekscherm als systeem om de productie te verbeteren. De verhoging van de variabele inkomsten is immers bijna overal het hoogste wanneer er wordt gekozen voor het optrekken van het Klimrekscherm bij 300 W/m<sup>2</sup>.

Nu de revenuen in beeld zijn kan worden gekeken of die voldoende zijn om de investeringen in een Klimrekscherm te rechtvaardigen. De investeringen worden gevormd door de investering in het scherm (€ 7 per m<sup>2</sup> (volgens opgave van de ontwikkelaar)) en de kosten voor de warmtepomp en de aquifer. Deze laatste twee zijn in principe afhankelijk van de benodigde capaciteit en die is voor de drie gewassen nauwelijks verschillend, uitgaande van het feit dat is gebleken dat het grootste rendement wordt behaald bij een maximaal gebruik van het scherm.

In alle simulaties is het sproeidebiet zodanig gekozen dat het water gemiddeld afstroomde met een temperatuur van 19 °C. Dit betekent dat de installatie een sproeidebiet van maximaal 8 tot 10 liter per m<sup>2</sup><sub>kas</sub> per uur moet hebben. Gegeven het feit dat de sproei-installatie niet de hele dag op maximale capaciteit draait kan er middels het gebruik van een etmaalbuffer kan er voor de aquifer capaciteit worden volstaan met een pompdebiet van 3 liter per m<sup>2</sup><sub>kas</sub> per uur. Gaan we uit van een schaalgrootte van 4 ha, dan betekent dit een aquifer met een capaciteit van 120 m<sup>3</sup> per uur en een etmaalbuffer van 1000 m<sup>3</sup>. De aanleg van zo'n aquifersysteem, inclusief het bodemonderzoek, engineering, scheidingswisselaar en etmaalbuffer belooft € 320000 zodat de investering per voor het aquifersysteem op € 8 per m<sup>2</sup> komt.

Het derde punt op de begroting is de warmtepomp. Een elektrisch aangedreven machine kost € 500 per kW elektrisch vermogen. de genoemde 8.5 W/m<sup>2</sup> aandrijfvermogen betekent dus een investering van € 4.25 per m<sup>2</sup>. De totale investering belooft hiermee € 19.25.

De kosten die met de investering gemoeid zijn betreffen de rentelasten en de onderhoudskosten. De rentelasten zijn gesteld op 1.5% van de investering. Deze 1.5% is de helft van het gestelde rentepercentage van 3% (dit lage rentepercentage zou mogelijk moeten zijn indien van groenfinanciering kan worden uitgegaan).



De onderhoudskosten zijn gesteld op 7% van de investering voor het scherm, 2.5% van de investering voor de warmtepomp en 1% van de investering voor de aquifer. Hiermee komen de kapitaalkosten op € 0.97 per m<sup>2</sup> per jaar.

Nadat de kapitaallasten in mindering zijn gebracht op het saldo uit tabel 1 volgt een 'simpele terugverdientijd'. Dit is eenvoudigweg de deling van de investering (19.25 per m<sup>2</sup>) door het saldo. De resultaten staan vermeld in tabel 3.

Tabel 3. Terugverdientijd van de investering in het Klimrekscherm bij verschillende gewassen en bij verschillende gasprijzen.

| gewas     | gasprijs             |                      |                      |
|-----------|----------------------|----------------------|----------------------|
|           | 30 ct/m <sup>3</sup> | 45 ct/m <sup>3</sup> | 60 ct/m <sup>3</sup> |
| komkommer | 8.8                  | 5.7                  | 4.2                  |
| tomaat    | 20.3                 | 9.0                  | 5.8                  |
| ficus     | 10.7                 | 6.5                  | 4.6                  |

Tabel 3 laat zien dat de toepassing van het Klimrekscherm voor de komkommerteelt en voor de potplantenteelt een te overwegen optie wordt wanneer gasprijzen boven de 35 cent per m<sup>3</sup> uitkomen. De belangrijkste reden voor de relatief gunstige perspectieven van het Klimrekscherm in juist deze twee teelten is het feit dat met het gebruik van het Klimrekscherm, het andere schaduw scherm niet meer gebruikt wordt (komkommer) of van een kleinere schaduwfactor wordt voorzien (ficus).

### 3.6 Conclusies

Dit onderzoek laat zien dat het gebruik van het diffuserende Klimrekscherm ertoe leidt dat er een duidelijk effect van het scherm op de lichtkwaliteit zal optreden. Er komt meer diffuus licht in de kas en minder direct licht. Naast deze verschuiving in lichtkwaliteit is er ten gevolge van het Klimrekscherm echter ook een vermindering van de totale hoeveelheid licht, ongeveer 5%. In teelten waar het gebruikelijk is om in de zomer schaduw schermen te gebruiken is de verlaging van de totale lichthoeveelheid geen probleem; er is in de zomer immers toch al teveel licht. In teelten waarin geen gebruik wordt gemaakt van schaduw schermen (de tomatenteelt bijvoorbeeld) is het positieve effect van de verbetering van de lichtkwaliteit (een gewas gaat effectiever om met diffuus licht dan met direct licht) onvoldoende om het verlies in de totale transmissie te compenseren.

Het Klimrekscherm heeft echter nog additionele effecten en daarom komt in alle teelten die in deze studie zijn bekeken (tomaat, komkommer en Ficus) het gebruik van het Klimrekscherm de productie uiteindelijk wel ten goede. Dit komt door het feit dat het scherm ook als koelsysteem gebruikt kan worden wat, bij CO<sub>2</sub>-dosering, leidt tot een hogere CO<sub>2</sub>-concentratie. Bij de Ficus en de komkommer is dit effect het grootst omdat het Klimrekscherm in die teelten kan worden gezien als een scherm dat (voor een deel) 'in plaats van' het normaliter gebruikte scherm wordt gebruikt en qua lichtbeschikbaarheid dus geen extra scherm vormt.

Voor het behalen van deze voordelen moet het scherm echter wel bevoeid worden. Zonder bevoeiing geeft het scherm geen positief effect op de CO<sub>2</sub>-concentratie en is er geen energiebesparingsvoordeel te behalen. Het is de energiebesparing die met de verzameling van duurzame energie mogelijk is wat de grootste toegevoegde waarde van het Klimrekscherm vormt. Als het grootste voordeel van het scherm in de verbetering van de lichtkwaliteit zou zitten dan zou het schermfolie beter in een horizontaal geplaatste scherminstallatie gemonteerd kunnen worden. Om de koelende en energiebesparende werking van het scherm mogelijk te maken moet de kas worden voorzien van een kleine warmtepomp en een aquifersysteem.

Het elektrisch vermogen van de warmtepomp (85 kW/ha) is klein in vergelijking met de gangbare WKK-vermogens, zodat directe aandrijving van de warmtepomp door de WK-installatie niet aan de orde is. In dat geval zou de deellastfactor van de WK veel te klein worden. De warmtepomp zal dus moeten worden bedreven op nachtstroom.

Aangezien er alleen in de winter een warmtevraag is die door de warmtepomp kan worden ingevuld ('s zomers wordt de warmtevraag ingevuld uit afvalwarmte uit WKK en/of CO<sub>2</sub> dosering) maakt de warmtepomp slechts 2500 draaiuren per jaar en is het dus een relatief grote machine voor de hoeveelheid warmte die ermee gegeven wordt.

In hoofdstuk 3.5 wordt ingegaan op de kosten en baten van het Klimrekscherm concept. In een nieuwbouwsituatie op grote schaal (meer dan 4 ha) zijn de meerinvesteringen voor scherm, warmtepomp, aquifer en etmaalbuffer begroot op € 19.25 per m<sup>2</sup>. Dit bedrag is opgebouwd uit € 7 voor het scherm (dat daarbij volledig is geïntegreerd in de gootconstructie), € 8 voor de aquifer (inclusief de etmaalbuffer) en € 4.25 voor de warmtepomp. Overigens is bij de kosten voor de aquifer (het duurste onderdeel) uitgegaan van een gunstige locatie, waardoor de boorkosten beperkt kunnen worden gehouden tot € 200.000 voor een doublet met een capaciteit van 120 m<sup>3</sup>/uur.

Bij de bovengenoemde investeringen blijkt dat het Klimrekscherm vanuit economisch oogpunt voor de komkommerteelt en Ficusteelt in beeld komt bij een energieprijs boven de 35 cent per m<sup>3</sup> (en een daarbij behorende elektriciteitsprijs van 7 cent per kWh voor nachtstroom). De installatie kent dan een terugverdientijd rond de 7 jaar.

In de tomatenteelt, waar het gebruik van het Klimrekscherm de lichtbeschikbaarheid duidelijk beperkt wordt het scherm pas bij een gasprijs van 55 cent per m<sup>3</sup> een optie (dat wil zeggen een investering met een terugverdientijd van ongeveer 7 jaar).

## 4 Toekomstperspectieven Klimrek scherm

### 4.1 Inleiding

Naast de berekende scenario's in het voorgaande hoofdstuk zijn er nog tal van andere toepassingen te bedenken voor het klimrekscherm. Dit hoofdstuk zal verder ingaan op de toekomstperspectieven van het klimrekscherm

### 4.2 Asymmetrisch dek

Een standaard dek is 21 graden tweezijdig met een ruitlengte van 2.08m. De berekeningen in het voorgaande hoofdstuk zijn op basis hiervan gemaakt. Een andere optie is om te werken met een asymmetrisch dek op bijvoorbeeld een 4m kap met de zuidkant op 21 graden en de noordkant op 48 graden. Dit maakt dat de zuidkant van 2.08m naar 3.12m gaat ( 50% meer).

Een asymmetrisch heeft een aantal voordelen:

- De waterfilm gaat over 3,12 meter in plaats van 2,08 meter. Hierdoor kan er meer warmte geoost worden.
- Een groter deel van de zon dan in de traditionele kas wordt afgeschermd. Hierdoor zal het grootste deel van het licht ook diffuus gemaakt kunnen worden.
- Het scherm heeft een grotere isolerende werking, worden er vooral in de winterperiode energie bespaard kan worden.

### 4.3 Het nieuwe telen

Her klimrekscherm principe kan inspringen op een aantal punten van het nieuwe telen:

- *Buitenluchtaanzuiging*: Als we kijken naar stap 1 in het nieuwe telen ontvochtigen dan kan de geogste warmte die van het klimrekscherm afkomt gebruikt worden om de buitenlucht weer op te warmen. Verder kan de geogste warmte ook nog gebruikt worden om met LBK's de lucht op te warmen.
- *Schermen*: door gebruik te maken van het klimrekscherm als energie scherm kan er in de winter energie bespaard worden. Eventueel condenswater zal niet op de planten komen.
- *Warmte en koudeogst*: Buiten de warmteogst kan het klimrekscherm ook fungeren als 'koeltoren'. Door in de winter water over het scherm heen te laten lopen kan er koude geoogst worden voor de zomer. Door het oogsten van de koude zal de lucht boven het horizontale scherm opgewarmd worden, er gaat immers relatief warm water over het klimrekscherm heen.

### 4.4 Diffusiteit en vloeistof toevoeging

Uit de voorgaande hoofdstukken is al gebleken dat het diffuus maken van licht een positief effect heeft op de groei. Per teelt zal het verschillen of de positieve effecten opwegen tegen de negatieve effect van het lichtverlies.

In de berekening die in het voorgaande hoofdstuk gemaakt is, is er uitgegaan van een diffuus scherm. Een andere optie is op een helder folie te nemen maar in de waterfilm een bepaald toevoeging te doen waardoor:

- Het lichtdiffuus gemaakt kan worden.
- Het totale lichtspectrum beïnvloed kan worden, door er bijvoorbeeld een bepaalde golflengte uit te filteren.
- Extra warmteogst creëren door infrarood absorberende pigmenten toe te voegen.

## 4.5 Teelten

Teelten waar in de praktijk al snel geschermd wordt, zullen naar verwachting sneller een hoger rendement hebben dan teelten waar weinig geschermd wordt. Uit het voorgaande hoofdstuk bleek ook dat tomaat er minder goed uitkomt dan bijvoorbeeld komkommer. In de komkommer is in de referentie situatie geschermd boven de 600 watt/m<sup>2</sup> met een horizontaal scherm.

Als we kijken naar bijvoorbeeld de paprikateelt dan zien we dat daar al snel geschermd wordt. Dit is een van de teelten waarin het klimrekscherm veel perspectieven biedt.

## 5 Conclusies en aanbevelingen

### Lichtmetingen

- Een foliescherm geeft lichtverlies in gesloten toestand.
- Indien het folie helder is, is dat verlies kleiner dan wanneer er wordt gekozen voor een diffuus folie. Een diffuus folie heeft echter als voordeel dat het door de hogere haze factor meer verspreiding van het licht veroorzaakt.
- Nadeel van folie is dat als er condens op zit de hoeveelheid groeilicht wat er door komt aanzienlijk lager wordt. In de praktijk wordt dit condensvorming voorkomen door AC folie toe te passen. Echter deze AC werking zal na verloop van tijd verdwijnen. Daarom is onderzocht of het lichtverlies a.g.v. condensvorming onder een scherm kan worden voorkomen door een laagje water met uitvloeier.
- Het blijkt dat door een waterfilm met uitvloeier aan de onderzijde van het scherm te laten stromen, dat daardoor de condens weg is en de lichtdoorlaat weer terug komt op ongeveer het niveau van een droog folie. Uiteindelijk is er 1% minder lichtdoorlaat t.o.v. droog folie.
- Indien er echter wel condensvorming op treedt is het lichtverlies bij het gemeten diffuse folie met 21% vele malen hoger t.o.v. droog diffuus folie. Ofwel door het water met uitvloeier voorkom je 20% lichtverlies bij een diffuus folie.
- Bij het gemeten helder folie is het lichtverlies door condensvorming met 28,5% t.o.v. droog helder folie een stuk hoger. Daar is de winst van het water met uitvloeier met 27,5% dan ook nog hoger dan bij een diffuus folie.

### Effect van klimrekscherm op warmteverzameling, groei en economie

Dit onderzoek laat zien dat het gebruik van het diffuserende Klimrekscherm ertoe leidt dat er een duidelijk effect van het scherm op de lichtkwaliteit zal optreden. Er komt meer diffuus licht in de kas en minder direct licht. Naast deze verschuiving in lichtkwaliteit is er ten gevolge van het Klimrekscherm echter ook een vermindering van de totale hoeveelheid licht, ongeveer 5%. In teelten waar het gebruikelijk is om in de zomer schaduwschermen te gebruiken is de verlaging van de totale lichtevoelheid geen probleem; er is in de zomer immers toch al teveel licht. In teelten waarin geen gebruik wordt gemaakt van schaduwschermen (de tomatenteelt bijvoorbeeld) is het positieve effect van de verbetering van de lichtkwaliteit (een gewas gaat effectiever om met diffuus licht dan met direct licht) onvoldoende om het verlies in de totale transmissie te compenseren.

Het Klimrekscherm heeft echter nog additionele effecten en daarom komt in alle teelten die in deze studie zijn bekeken (tomaat, komkommer en Ficus) het gebruik van het Klimrekscherm de productie uiteindelijk wel ten goede. Dit komt door het feit dat het scherm ook als koelsysteem gebruikt kan worden wat, bij CO<sub>2</sub>-dosering, leidt tot een hogere CO<sub>2</sub>-concentratie. Bij de Ficus en de komkommer is dit effect het grootst omdat het Klimrekscherm in die teelten kan worden gezien als een scherm dat (voor een deel) 'in plaats van' het normaliter gebruikte scherm wordt gebruikt en qua lichtbeschikbaarheid dus geen extra scherm vormt.

Voor het behalen van deze voordelen moet het scherm echter wel bevoeid worden. Zonder bevoeiing geeft het scherm geen positief effect op de CO<sub>2</sub>-concentratie en is er

geen energiebesparingsvoordeel te behalen. Het is de energiebesparing die met de verzameling van duurzame energie mogelijk is wat de grootste toegevoegde waarde van het Klimrekscherm vormt. Als het grootste voordeel van het scherm in de verbetering van de lichtkwaliteit zou zitten dan zou het schermfolie beter in een horizontaal geplaatste scherminstallatie gemonteerd kunnen worden. Om de koelende en energiebesparende werking van het scherm mogelijk te maken moet de kas worden voorzien van een kleine warmtepomp en een aquifersysteem.

Het elektrisch vermogen van de warmtepomp (85 kW/ha) is klein in vergelijking met de gangbare WKK-vermogens, zodat directe aandrijving van de warmtepomp door de WK-installatie niet aan de orde is. In dat geval zou de deellastfactor van de WK veel te klein worden. De warmtepomp zal dus moeten worden bedreven op nachtstroom.

Aangezien er alleen in de winter een warmtevraag is die door de warmtepomp kan worden ingevuld ('s zomers wordt de warmtevraag ingevuld uit afvalwarmte uit WKK en/of CO<sub>2</sub> dosering) maakt de warmtepomp slechts 2500 draaiuren per jaar en is het dus een relatief grote machine voor de hoeveelheid warmte die ermee gegeven wordt.

In hoofdstuk 3.5 wordt ingegaan op de kosten en baten van het Klimrekscherm concept. In een nieuwbouwsituatie op grote schaal (meer dan 4 ha) zijn de meerinvesteringen voor scherm, warmtepomp, aquifer en etmaalbuffer begroot op € 19.25 per m<sup>2</sup>. Dit bedrag is opgebouwd uit € 7 voor het scherm (dat daarbij volledig is geïntegreerd in de gootconstructie), € 8 voor de aquifer (inclusief de etmaalbuffer) en € 4.25 voor de warmtepomp. Overigens is bij de kosten voor de aquifer (het duurste onderdeel) uitgegaan van een gunstige locatie, waardoor de boorkosten beperkt kunnen worden gehouden tot € 200.000 voor een doublet met een capaciteit van 120 m<sup>3</sup>/uur.

Bij de bovengenoemde investeringen blijkt dat het Klimrekscherm vanuit economisch oogpunt voor de komkommerteelt en Ficusteelt in beeld komt bij een energieprijzen boven de 35 cent per m<sup>3</sup> (en een daarbij behorende elektriciteitsprijs van 7 cent per kWh voor nachtstroom). De installatie kent dan een terugverdientijd rond de 7 jaar.

In de tomatenteelt, waar het gebruik van het Klimrekscherm de lichtbeschikbaarheid duidelijk beperkt wordt het scherm pas bij een gasprijs van 55 cent per m<sup>3</sup> een optie (dat wil zeggen een investering met een terugverdientijd van ongeveer 7 jaar).

### **Toekomstperspectieven**

- Het klimrekscherm biedt volop perspectieven binnen 'het nieuwe telen'. Vooral op de buiten buitenluchtaanzuiging, schermen, warmte en koudeoogst.
- De diffusiteit van het klimrekscherm kan bepaald worden door de o.a. diffusiteit van het folie. Andere opties zijn om toevoegingen aan de vloeistof te doen waardoor het licht diffuus gemaakt kan worden maar ook het lichtspectrum beïnvloed kan worden.
- Het verschilt per teelt in hoeverre de positieve eigenschappen opwegen tegen de negatieve. Teelten zoals paprika waar in de zomer geschermd wordt bieden perspectief.

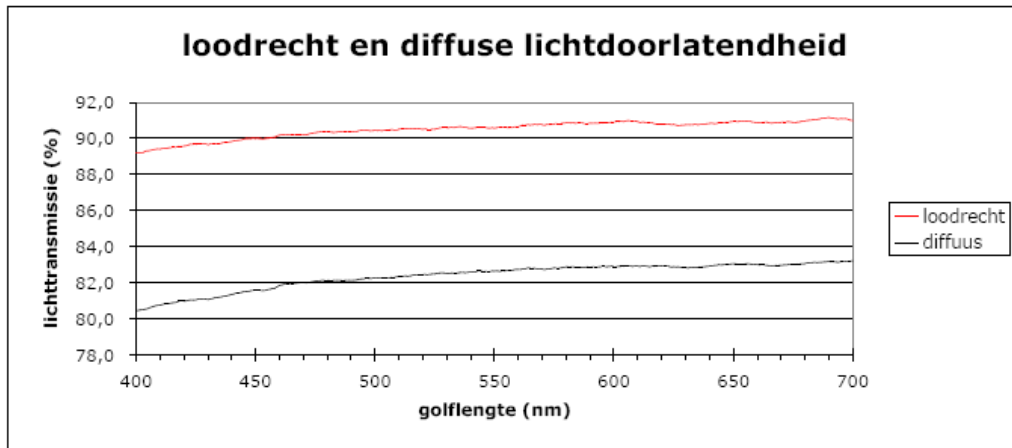
## Bijlage 1. Meting lichtbol referentienummer 4691



### resultatenblad

#### loodrecht en diffuse lichtdoorlatendheid

|                      |           |         |
|----------------------|-----------|---------|
| klant                | Klimrek   |         |
| klant nr             | AC folie  |         |
| monster nr           | 4691      |         |
| meetdatum            | 20-okt-10 |         |
| dikte (mm)           | 6         |         |
| grafieknaam          | loodrecht | diffuus |
| lichttransmissie (%) | 90,6      | 82,4    |



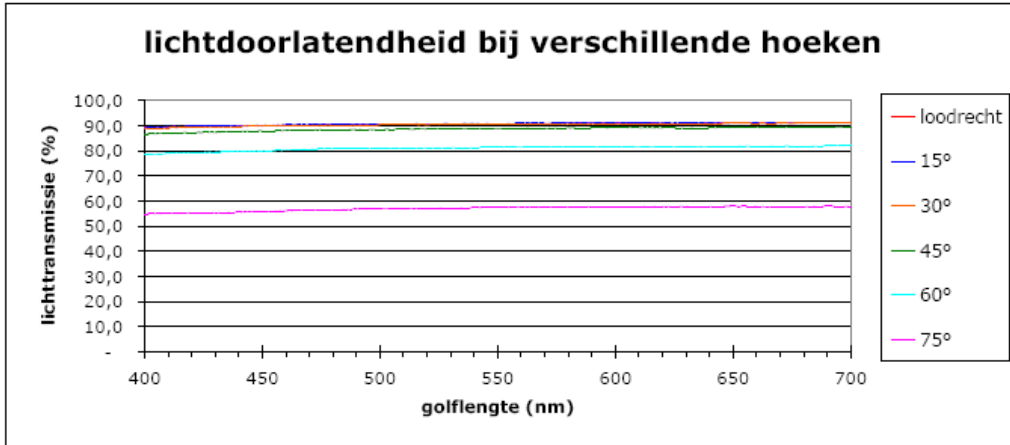
De meetnauwkeurigheid is + en - 0,5 %



resultatenblad

lichtdoorlatendheid bij verschillende hoeken

|                      |           |      |      |      |      |      |
|----------------------|-----------|------|------|------|------|------|
| klant                | Klimrek   |      |      |      |      |      |
| klant nr             | AC folie  |      |      |      |      |      |
| monster nr           | 4691      |      |      |      |      |      |
| meetdatum            | 20-okt-10 |      |      |      |      |      |
| dikte (mm)           | 0         |      |      |      |      |      |
| grafieknaam          | loodrecht | 15°  | 30°  | 45°  | 60°  | 75°  |
| lichttransmissie (%) | 90,6      | 90,7 | 90,4 | 88,6 | 81,0 | 57,0 |



De meetnauwkeurigheid is + en - 0,5 %

(C) DLV glas en energie bv

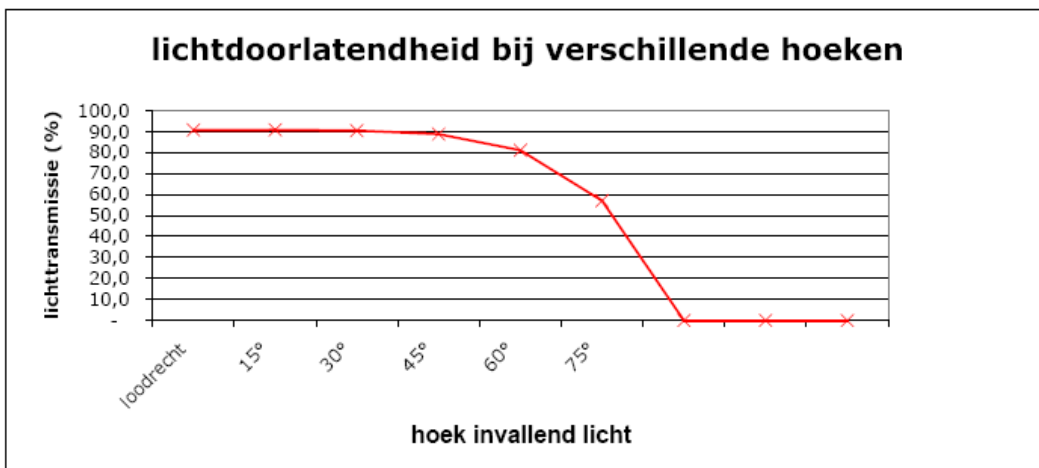
22-10-2010 18:06



resultatenblad

lichtdoorlatendheid bij verschillende hoeken

|                      |           |      |      |      |      |      |
|----------------------|-----------|------|------|------|------|------|
| klant                | Klimrek   |      |      |      |      |      |
| klant nr             | AC folie  |      |      |      |      |      |
| monster nr           | 4691      |      |      |      |      |      |
| meetdatum            | 20-okt-10 |      |      |      |      |      |
| dikte (mm)           | 0         |      |      |      |      |      |
| grafieknaam          | loodrecht | 15°  | 30°  | 45°  | 60°  | 75°  |
| lichttransmissie (%) | 90,6      | 90,7 | 90,4 | 88,6 | 81,0 | 57,0 |



De meetnauwkeurigheid is + en - 0,5 %

(C) DLV glas en energie bv

22-10-2010 18:06

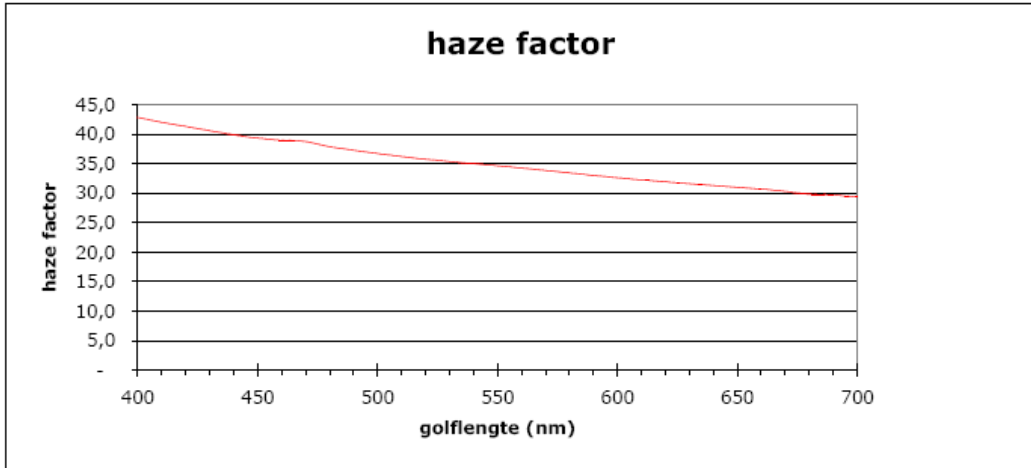




resultatenblad

haze factor

|              |                |
|--------------|----------------|
| <b>klant</b> | <b>Klimrek</b> |
| klant nr     | AC folie       |
| monster nr   | 4691           |
| meetdatum    | 20-okt-10      |
| slits (mm)   | 0              |
| grafieknaam  | haze           |
| haze factor  | 34,8           |



## Bijlage 2. Kas en teeltbeschrijving Tomaat

### Inleiding

De tomatenteelt is al jaren de grootste subsector in de Nederlandse glasgroententeelt. Er is een tendens om ook in de tomatenteelt belichting te gaan gebruiken, maar door de bank genomen is de tomatenteelt in hoofdzaak een onbelichte teelt.

### Kas

Moderne groentekassen worden opgetrokken uit units van ongeveer 4 ha bij een goothoogte van 6 meter of zelfs hoger. De gangbare traliemaat is 8 meter (2 kappen van 4 meter) en de pootafstand is 4.5 meter. Het verwarmingssysteem is opgebouwd uit 51 mm buizen in het ondernet, die tevens dienst doen als transportnet. Op een tralie van 8 meter liggen 10 van deze buizen. Daarnaast hangen er nog half zoveel 28 mm buizen in een bovennet. Het bovennet fungeert als condensornet, maar ook als secundair net wanneer een groot verwarmingsvermogen noodzakelijk is. De buistemperaturen zijn begrensd op 75 en 60 °C voor respectievelijk het onder- en boven-net.

Omdat dit in de huidige tuinbouw de meest voorkomende situatie is wordt voor de referentiesituatie uitgegaan van een kas met een WKK-installatie. Deze is gesteld op 400 kW/ha. Er zijn bedrijven die een beduidend grotere WKK hebben, maar met de huidige gas- en elektriciteitsprijzen draaien deze installaties vaak in deellast.

### Gewas- en teeltgegevens

Tomaat wordt in de regel halverwege december geplant. Daarom is als plantdatum week 50 gebruikt en als ruimdatum week 47. De kas staat dus 3 weken leeg.

### Kasklimaat

Tomaat wordt bij planten overdag vrij warm geteeld (20 °C), maar mag in de voornacht verwegzakken (naar 16 °C). In de nachten (vanaf 23:00) wordt weer een wat hogere temperatuur aangehouden, 18 °C. Vanaf maart worden de drie hierboven temperaturen een graad verlaagd. De etmaal gemiddelde temperatuur in de kas zal evenwel eerder hoger dan lager worden omdat de koudere nachtperiode steeds korter wordt en ook omdat overdag de temperatuur steeds vaker en verder boven de stooklijn komt te liggen.

Als de stralingsintensiteit van de zon boven de 100 W/m<sup>2</sup> komt wordt de stooklijn met 2 °C verhoogd over het traject van 100 tot 300 W/m<sup>2</sup>. In het begin van de teelt staat de ventilatielijn ver boven de stooklijn (3 °C hoger) om ervoor te zorgen dat de etmaaltemperatuur automatisch oploopt met het lichtaanbod. Later in het jaar, vanaf 15 februari wordt dit terug gebracht tot 1 °C en vanaf 15 maart wordt de stooklijn zelfs maar 0.5 °C boven de de stooklijn gelegd. Dit is om te voorkomen dat de de etmaaltemperaturen te ver oplopen en de plantbalans uit het lood raakt. Doordat de ventilatielijn is gekoppeld aan de stooklijn loopt deze met dezelfde stralingsverhoging als de stooklijn op bij toenemende lichtintensiteit.

Er wordt spaarzaam gebruik gemaakt van de minimumbuis. Alleen rond zonop wordt een minimumbuis van 45 °C aangehouden.

Er wordt ingegrepen op de luchtvochtigheid wanneer de kaslucht boven de 85% RV komt. De regelactie is beperkt, met name als het buiten koud is, namelijk 2% raamopening per % overschrijding van de RV wanneer het buiten kouder dan 5 °C is. Als het buiten warmer dan 12 °C is wordt het raam met 4% per % overschrijding op de RV geopend.

De CO<sub>2</sub>-dosering vindt plaats door middel van ketelrookgassen van zonopkomst tot een uur voor zonsondergang. Er wordt uitgegaan van CO<sub>2</sub> uit een WKK-intallatie van 400 kWe/ha. Deze geeft op werkdagen 200 kg CO<sub>2</sub>/(ha uur). In het weekend is de waarde van de stroom lager zodat de WKK wat minder intensief wordt gebruikt. De machine draait dan op 75% deellast.

Het setpoint voor de CO<sub>2</sub>-concentratie in de kas is 900 ppm. Overigens zal deze concentraties niet gehaald worden wanneer er serieus op temperatuur gelucht moet worden.

Er wordt 's nachts een transparant beweegbaar scherm type SLS 10 ultra plus gebruikt als de buiten kouder is dan 12 °C. Het scherm wordt in het koude deel van het jaar geopend als er meer dan 50 W/m<sup>2</sup> straling is.

In de warmere perioden (vanaf 1 maart) gaat het scherm bij het eerste ochtendlicht al open. Wanneer de RV minder dan 0.5% onder het setpoint komt wordt het scherm op een vochtier van 4% getrokken en bij blijvend te hoge RV wordt het scherm na een half uur geheel geopend. Het transparante scherm wordt niet als schaduw scherm ingezet.

## Bijlage 3. Kas en teeltbeschrijving Komkommer

### Inleiding

De komkommerteelt is een van de grote subsectoren in de Nederlandse glasgroententeelt. Er wordt geen gebruik gemaakt van belichting.

### Kas

Moderne groentekassen worden opgetrokken uit units van ongeveer 4 ha bij een goothoogte van minimaal 5 meter. De gangbare traliemaat is 8 meter (2 kappen van 4 meter) en de pootafstand is 4.5 meter. Het verwarmingssysteem is opgebouwd uit 51 mm buizen in het ondernet, die tevens dienst doen als transportnet. Op een tralie van 8 meter liggen 10 van deze buizen. Sommige bedrijven hebben daarnaast nog een groeinet (met half zoveel buizen van 28 mm). De buistemperaturen zijn meestal begrensd op 65 °C. Net als voor de tomatenteelt wordt er voor de referentiesituatie in de komkommerteelt gerekend met het gebruik van een WKK-installatie van 400 kWe/ha.

### Gewas- en teeltgegevens

De komkommerteelt heeft meestal 3 plantingen. De eerste teelt start op 15 december. Deze loopt tot begin april. Na de ruiming van die eerste teelt wordt direct doorgedaan met de tweede teelt. Deze loopt tot begin augustus en ook daarna wordt direct doorgedaan met de 3<sup>e</sup> teelt. Het eind van de derde teelt is begin december. Na het ruimen van de laatste teelt staat de kas een paar weken leeg om hem grondig te reinigen en alle installaties te onderhouden.

### Kasklimaat

Bij de eerste planting groeit de komkommer op in een vlak stookpatroon van 19 °C. Vervolgens wordt in januari de nachttemperatuur wat verlaagd (naar 18 °C). In april wordt de dagtemperatuur naar 20 °C gebracht, wordt er een voornacht van 17 °C ingesteld en een nanacht van 19 °C. Gemiddeld genomen wordt de komkommer dus wat warmer geteeld dan de tomaat. Dit zit ook in de dode band tussen de stook- en ventilatielijn. Die staat bij de komkommer het hele jaar op 3 °C.

Als de stralingsintensiteit van de zon boven de 100 W/m<sup>2</sup> komt wordt de stooklijn met 2 °C verhoogd over het traject van 100 tot 300 W/m<sup>2</sup>. Er wordt spaarzaam gebruik gemaakt van de minimumbuis. Alleen rond zonop wordt een minimumbuis van 40 tot 45 °C aangehouden.

Er wordt ingegrepen op de luchtvochtigheid wanneer de kaslucht boven de 87% RV komt. De regelactie is beperkt, met name als het buiten koud is, namelijk 2% raamopening per % overschrijding van de RV wanneer het buiten kouder dan 5 °C is. Als het buiten warmer dan 12 °C is wordt het raam met 4% per % overschrijding op de RV geopend.

De CO<sub>2</sub>-dosering vindt plaats door middel van ketelrookgassen van zonopkomst tot een uur voor zonsondergang. Er wordt uitgegaan van CO<sub>2</sub> uit een WKK-intallatie van 400 kWe/ha. Deze geeft op werkdagen 200 kg CO<sub>2</sub>/(ha uur). In het weekend is de waarde van de stroom lager zodat de WKK wat minder intensief wordt gebruikt. De machine draait dan op 75% deellast

Het setpoint voor de CO<sub>2</sub>-concentratie in de kas is 900 ppm. Overigens zal deze concentraties niet gehaald worden wanneer er serieus op temperatuur gelucht moet worden.

Er wordt 's nachts een transparant beweegbaar scherm type SLS 10 ultra plus gebruikt als de buiten kouder is dan 12 °C. Het scherm wordt in het koude deel van het jaar geopend als er meer dan 50 W/m<sup>2</sup> straling is. In de warmere perioden (vanaf 1 maart) gaat het scherm bij het eerste ochtendlicht al open. Wanneer de RV minder dan 0.5% onder het setpoint komt wordt het scherm op een vochtier van 4% getrokken en bij blijvend te hoge RV wordt het scherm na een half uur geheel geopend.

In de eerste 12 weken na de tweede planting (dus van april t/m juni) wordt het energiescherm ook als schaduw scherm gebruikt. Het wordt dan gesloten als de stralingsintensiteit buiten meer is dan 600 W/m<sup>2</sup>. Het scherm wordt dan tot 80% gesloten om nog een kier open te laten voor ventilatie.

## Bijlage 4. Kas en teeltbeschrijving Ficus

### Inleiding

De ficus is een warm geteelde tropische plant. Omdat in de potplantenteelt weinig nadruk wordt gelegd op een hoge lichtdoorlatendheid van de kas zijn potplantenkassen vaak met een dubbelwandig kasdek materiaal bedekt.

### Kas

Potplantenkassen worden meestal in de vorm van breedkappers gebouwd. Vooral bij gebruik van dubbelwandige kunststof kanaalplaten kunnen brede kappen uit één stuk worden gebouwd wat de breedkapper interessant maakt. Het klimrek scherm zou met enige modificaties ook in een breedkapper kunnen worden gemonteerd, maar het is ook heel goed denkbaar dat Ficussen in een Venlo-type warehouse worden geteeld. Het verwarmingssysteem is opgebouwd uit 51 mm buizen in een bovennet en een klein verwarmingsnet onder de tafels of in de betonvloer (afhankelijk van de gekozen kasinrichting).

Er wordt in de potplantenteelt weinig CO<sub>2</sub> gedoseerd zodat er in de berekeningen wordt uitgegaan van een doseercapaciteit van maximaal 100 kg CO<sub>2</sub> per ha per uur. De CO<sub>2</sub> is afkomstig van de ketel, die hiervoor wordt ingezet van zonopkomst tot een uur voor zonsondergang. De branderstand wordt evenwel getemperd als de buffertemperatuur te snel oploopt. Er wordt gestreefd naar een CO<sub>2</sub>-concentratie van 600 ppm, maar omdat de warmtevraag beperkt is zal die vaak niet worden gerealiseerd. Ten behoeve van de CO<sub>2</sub>-dosering is een buffer geïnstalleerd met een inhoud van 80 m<sup>3</sup>/ha.

### Gewas- en teeltgegevens

De Ficus-teelt is een jaarrond teelt.

### Kasklimaat

Ficus wordt geteeld bij een stooklijn van 20 °C overdag en 19 °C 's nachts. De ventilatielijn staat vrij ruim boven de stooklijn; op 23 °C. Er wordt geen gebruik gemaakt van een lichtafhankelijke setpointverhoging.

Er wordt geen gebruik gemaakt van een minimumbuis en er worden hoge luchtvochtigheden getolereerd. De ramen worden pas geopend wanneer de luchtvochtigheid boven de 90% komt.

In de kas is een schaduw scherm gemonteerd type XLS15F. Dit wordt gesloten als er meer dan 500 W/m<sup>2</sup> buitenlicht is, maar ook 's nachts als het buiten kouder is dan 12 °C.