



# Gebruik van hoogisolerende schermen in een komkommerteelt

Jan Janse, Peter van Weel en Feije de Zwart

Rapport GTB-1361

## Referaat

In navolging van een theoretische studie van TNO en WUR naar mogelijkheden om de isolatiewaarde van kasschermen te verbeteren heeft een kasproef plaatsgevonden met 4 schermen. Bij een hogedraadteelt van komkommer bleek deze schermconfiguratie de theoretische verwachtingen ruimschoots te halen. Ten opzichte van een standaard kas met een enkel energiescherm was 44% minder energie nodig om de kas van januari tot mei te verwarmen. De productie en productkwaliteit waren vergelijkbaar met een goed praktijkbedrijf. Het klimaat in de kas veranderde wel sterk door het intensieve schermen. Een belangrijk effect was het toenemen van de planttemperatuur door verminderde afkoeling naar een koude hemel. Ook traden de plotselinge dalingen in temperatuur en vochtdeficit die normaal optreden wanneer een scherm in de avond wordt gesloten of in de ochtend wordt geopend niet meer op. Daarmee is een belangrijke stap gezet in het verminderen van problemen met schimmels als gevolg van het tijdelijk nat slaan van het gewas of door het tijdelijk wegvallen van de verdamping terwijl de worteldruk aanwezig blijft. Hoewel de bestudeerde oplossingen commercieel nog niet verkrijgbaar zijn is wel de weg geopend naar een andere wijze van telen met beduidend minder energieverliezen en de mogelijkheid om de verdampingswarmte die normaal door de ramen wordt afgevoerd terug te gaan winnen.

## Abstract

In 2014 a greenhouse experiment was executed with a high-wire cucumber crop to measure the impact of a multiple layer system of energy screens. The screen systems that have been tested were:

- 2 layers of aluminized cloth with a 5 cm cavity operated by a single sliding system closed all night.
- 1 layer of high transparency, non-porous PVDF film on a second sliding system, closed all night and when heating was required, usually below an outside radiation level of 150-200 W/m<sup>2</sup>.
- 1 layer of perforated transparent PE film, mounted alongside the double screen, closing as soon as the double screen opened and opening above an outside radiation level of 100-150 W/m<sup>2</sup> to reduce the PAR light losses.

The result was a 44% reduction in heating energy in the period of January to May compared to a glasshouse with a single energy screen. Production and product quality were comparable.

The intense use of screens influenced the greenhouse climate. Plant temperature remained high because the radiation losses were limited. Since the opening and closing of the screens were very gradual, no shocks in plant temperature or vapour deficit occurred. This greatly reduces the risk of condensation on the leaves leading to botrytis or to a sudden drop in transpiration leading to plant cell damages.

This test shows the positive effects of a highly insulated greenhouse and the chances to regain sensible and latent heat comprised in the ventilation losses of transpiration.

## Rapportgegevens

Rapport GTB-1361

Projectnummer: 3242177400

## Disclaimer

© 2015 Wageningen UR Glastuinbouw (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek), Postbus 20, 2665 MV Bleiswijk, Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk, T 0317 48 56 06, F 010 522 51 93, E [glastuinbouw@wur.nl](mailto:glastuinbouw@wur.nl), [www.wageningenUR.nl/glastuinbouw](http://www.wageningenUR.nl/glastuinbouw). Wageningen UR Glastuinbouw.

Wageningen UR Glastuinbouw aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

## Adresgegevens

### Wageningen UR Glastuinbouw

Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk

Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk

T +31 (0)317 48 56 06

F +31 (0)10 522 51 93

# Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Doelstelling</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Aanpak</b>	<b>9</b>
3.1	Schermen voor de nacht	9
3.1.1	Hoogisolierend nachtscherm	9
3.1.2	Dampdicht scherm	9
3.2	Schermen voor overdag	11
3.2.1	Dampdicht scherm	11
3.2.2	Anti-condens folie	11
3.3	Kasproef	12
<b>4</b>	<b>Resultaten</b>	<b>15</b>
4.1	Schermgebruik	15
4.2	Ontvochtiging	16
4.3	Klimaat	18
4.4	Warmteweerstand	21
4.4.1	K-waarde in de nacht	21
4.4.2	K-waarde overdag	23
4.5	Plantreacties	24
4.6	Technische aspecten	26
<b>5</b>	<b>Conclusies</b>	<b>27</b>
<b>6</b>	<b>Aanbevelingen</b>	<b>29</b>
<b>7</b>	<b>Literatuur</b>	<b>31</b>



# 1 Inleiding

Uit voorgaand onderzoek van TNO en WUR Glastuinbouw is duidelijk geworden aan welke eisen een scherminstallatie zou moeten voldoen die een minimum aan warmte door laat. Dat zijn:

1. Voor de nacht minimaal twee dunne stilstaande luchtlagen omgrenst door reflecterende (gealuminiseerde) straling barrières.
2. De gebruikte materialen en het schermstelsel mogen geen waterdamp of lucht doorlaten omdat zelfs bij een hoge isolatiewaarde via de verdamping nog veel energie verdwijnt. In toekomstige kassystemen lijkt het goed denkbaar dat de verdampingswarmte kan worden teruggewonnen.
3. Ook overdag moet het energieverbruik ten opzichte van de ongeschermd situatie minimaal gehalveerd worden met een hoogtransparant scherm (>90% voor PAR). Voor koude dagen met weinig zonlicht kan het energieverbruik verder worden verminderd door het gebruik van een tweede, goedkoper transparant scherm (>80% voor PAR).
4. Mogelijk kan bij gebruik van dit soort schermen ook een zuiniger klimaatstrategie worden toegepast omdat uit voorgaand onderzoek duidelijk is geworden dat het activeren van de plant door het opstoken van de kas een aantal uren voordat de zon doorkomt fysiologisch gezien geen functie heeft.

Een dergelijke installatie bestond nog niet zodat het onduidelijk is of deze theoretische eisen zodanig te verwezenlijken zijn dat er een praktisch bruikbare en betaalbare oplossing ontstaat.

In gesprekken met leveranciers van schermdoeken en scherminstallaties werd al snel duidelijk dat het niet doorlaten van vocht een grote uitdaging is. Een gebruikelijk scherm laat in gesloten toestand ongeveer 35 gram/m<sup>2</sup>/uur aan vocht door en dat moet nu met een ontvochtigingssysteem in stand worden gehouden. De gedachte bestaat dan al gauw dat die afvoer door het doek gratis is, maar dat is niet waar omdat met het vocht op jaarbasis al gauw 10-12 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> aan aardgasequivalenten de kas uit verdwijnt. Wordt dat vocht binnengehouden, dan kan een deel van die energie worden teruggewonnen. Daarvoor bestaan inmiddels een aantal systemen zoals een warmtewisselaar in de gevel die buitenlucht opwarmt met de afgevoerde warme kaslucht of een systeem waarbij zout water het vocht aan de lucht onttrekt. En in de gesloten kas wordt ontvochtigd met een koude warmtewisselaar. De warmte die vrijkomt bij het ontvochtigen wordt opgeslagen in een aquifer.

Een tweede uitdaging van het dampdicht maken van een scherm is dat het dan ook meteen vocht dicht is en geen water doorlaat dat op het scherm druipt of door condensatie erop terechtkomt. Een grote uitdaging die alleen in een proef kan worden bekeken omdat de hele vocht huishouding in de kas en ook boven het scherm zal gaan veranderen. Er komt immers veel minder vocht boven het scherm omdat de schermen dampdicht zijn, altijd volledig gesloten of open zijn en de luchtramen verder open kunnen staan omdat de energieverliezen voornamelijk worden bepaald door het aantal lagen gesloten scherm.

Overigens betekent dit ook dat er extra aandacht moet zijn voor het goed aansluiten van de installatie aan de tralies en langs de gevels. Omdat er voor de afvoer van vocht niet meer gewerkt zal worden met kieren ontstaan nieuwe technische mogelijkheden om alle doekvakken goed aan te laten sluiten bij de tralie.

Mocht dit systeem goed werken, dan ontstaan er oplossingen voor een aantal problemen die gerelateerd zijn met het trekken van kieren voor vocht afvoer. De belangrijkste daarvan zijn de horizontale en verticale temperatuurverschillen in de kas. Bedrijven die werken volgens de principes van het Nieuwe Telen hebben al ervaren dat die verschillen grotendeels verdwijnen. Daarnaast zal met name door de twee reflecterende aluminium coatings de afkoeling van de plantkop door uitstraling beduidend verminderen waardoor de kop bij dezelfde kastemperatuur warmer zal worden en dus ook geen last meer zal hebben van condensvorming bij een koude hemel.



## 2 Doelstelling

- *Technische Doelstelling:*

Ontwerpen, bouwen en testen van een betaalbare scherminstallatie waarmee de warmteweerstand van een kas met enkel glas in de nacht ( $0,3 \text{ m}^2\text{K/W}$  met een enkel LS10 ultra scherm) naar  $0,8 \text{ m}^2\text{K/W}$  kan gaan. En overdag ( $0,15 \text{ m}^2\text{K/W}$  zonder scherm) naar  $0,31 \text{ m}^2\text{K/W}$  met een enkel hoogtransparant scherm of  $0,44 \text{ m}^2\text{K/W}$  bij twee transparante schermen.

- *Energie doelstelling:*

De beoogde verhoging van de warmteweerstand kan voor een tomatenteelt zonder aanvullende maatregelen leiden tot een reductie van het gasverbruik van  $6 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jaar}$ . Dat ten opzichte van een onbelichte tomatenteelt met 2 standaard schermdoeken en een ontvochtigingssysteem met buitenlucht met een gasverbruik van  $29,5 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jaar}$ . Op het moment dat de verdampingswarmte rendabel kan worden teruggewonnen en opgeslagen komt daar nog maximaal  $10 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jaar}$  bij.

- *Nevendoelstelling:*

Een dampdicht scherm vormt een stap in de richting van een gesloten kas waarin niet alleen de door stoken veroorzaakte verdampingwarmte wordt hergewonnen, maar ook zonne-energie via dat systeem kan worden geogst en opgeslagen.





# 3 Aanpak

In overleg met Ludvig Svensson, leverancier van schermdoeken en Leen Huisman BV, installateur van scherminstallaties zijn een aantal materialen gekozen en een bijbehorende scherminstallatie ontworpen geschikt voor een hogedraadteelt komkommer.

Daarbij speelden de volgende overwegingen:

## 3.1 Schermen voor de nacht

### 3.1.1 Hoogisolierend nachtscherm

Er is een scherminstallatie ontworpen bestaande uit twee gealuminiseerde doeken die met een kleine onderlinge afstand van enkele centimeters via één schuifstelsel over twee dradenbedden worden geschoven. Als daar in de nacht een dicht folie onder wordt gesloten, voldoet dit systeem ook aan de eis van dampdichtheid.

### 3.1.2 Dampdicht scherm

Onder het hoogisolerende nachtscherm komt een tweede scherminstallatie met dradenbed met daarop een transparante PVDF folie die dus individueel dicht getrokken kan worden. Een PVDF folie is hoogtransparant voor PAR en heeft een verwachte levensduur van 5 jaar. Met dit scherm kan in de nacht een extra laag stilstaande lucht worden gecreëerd, terwijl overdag tijdens hele koude dagen twee folieschermen gesloten kunnen worden om ook overdag de isolatiewaarde nog verder te verhogen. In de proef is een materiaal gebruikt van 23 micron dikte met de volgende optische eigenschappen:

Tabel 1

*Gemiddelde waarden van een optische meting van de PVDF folie (bron: Vida Mohammadkhani, Wageningen UR).*

Measurement	T normal	T hemispherical	UV	IR transmittance
Method	WUR-TNO	WUR-TNO		
Mean	NEN 2675	NEN 2675	EN 410 280_380	MacPlanck weighted
PVDF folie	93.9 ± 0.5%	84.6 ± 0.5%	93.6 ± 0.5%	36.4 ± 0.5%

Dit scherm laat dus een deel van de langgolvlige warmtestraling door, maar dat wordt gecompenseerd door de twee lagen gealuminiseerd doek erboven. De functie van deze dampdichte folie is naast het creëren van een tweede laag stilstaande lucht vooral ook het voorkomen van onnodig energieverlies door damptransport.

In de volgende simulatie is het effect van 3 schermen in de nacht duidelijk zichtbaar op het energieverbruik en de planttemperatuur. Ter vergelijking is een situatie weergegeven met twee volledig gesloten LS10 schermdoeken van de huidige generatie. Als uitgangspunt is gekozen een dag met geen bewolking waardoor er veel uitstraling is naar de koude hemel.

Buitemtemperatuur	0 °C
Windsnelheid	4 m/s
Bewolingsgraad	0 %

Verwarmingsverm.	68 W/m <sup>2</sup>
(Lek)ventilatie	1 m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> uur) per m/s wind
Aantal schermen	2

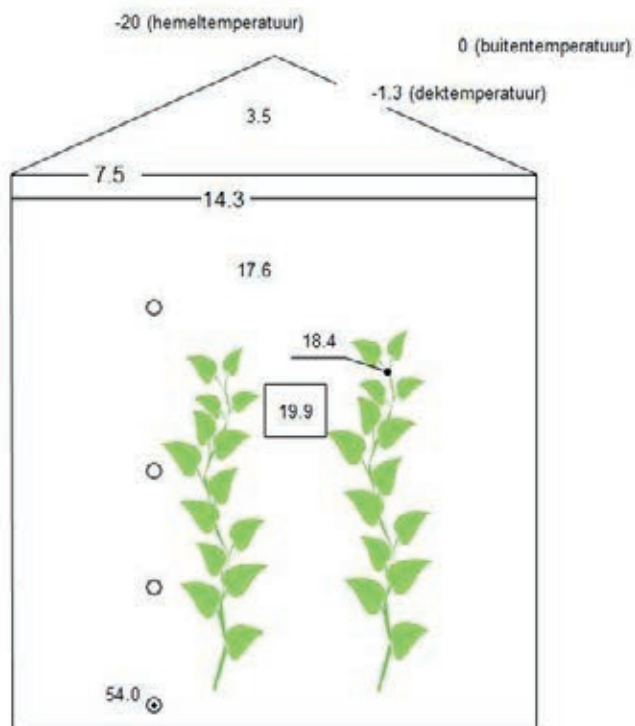
	emissie		reflectie		transm.		lek
	▲	▼	▲	▼			
Sch1	0.6	0.6	0.15	0.15	0.25	5	
Sch2	0.6	0.6	0.15	0.15	0.25	5	

Reken

T meetbox	19.9 °C
Gewastemperatuur	20.9 °C (gemiddeld)
Schijnbare k-waarde	3.4 W/(m <sup>2</sup> K)
Ferfelijke k-waarde	2.8 W/(m <sup>2</sup> K)



**Figuur 1** Twee LS10 doeken volledig gesloten op een koude nacht.

Buitemtemperatuur	0 °C
Windsnelheid	4 m/s
Bewolingsgraad	0 %

Verwarmingsverm.	28 W/m <sup>2</sup>
(Lek)ventilatie	1 m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> uur) per m/s wind
Aantal schermen	3

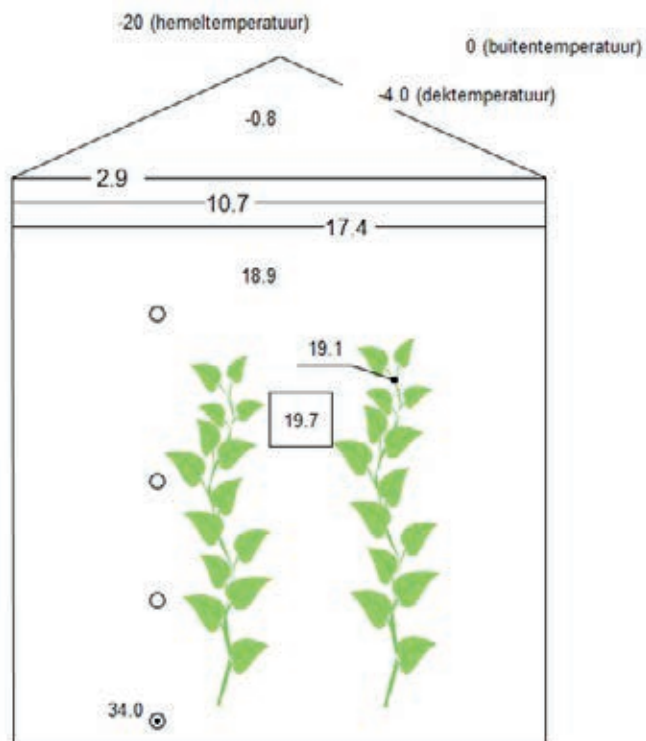
	emissie		reflectie		transm.		lek
	▲	▼	▲	▼			
Sch1	0.05	0.05	0.9	0.9	0.05	0.1	
Sch2	0.05	0.05	0.9	0.9	0.05	0.1	
Sch3	0.6	0.6	0.15	0.15	0.25	2	

Reken

T meetbox	19.7 °C
Gewastemperatuur	20.0 °C (gemiddeld)
Schijnbare k-waarde	1.4 W/(m <sup>2</sup> K)
Ferfelijke k-waarde	0.8 W/(m <sup>2</sup> K)



**Figuur 2** Twee gealuminiseerde doeken met daaronder een dampdicht PVDF folie.

De feitelijke k-waarde staat voor het energieverlies exclusief de verdampingsverliezen. Theoretisch moet de beoogde doelstelling voor de warmteweerstand voor de nacht van  $0,8 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$  dus haalbaar zijn omdat een k-waarde van  $0,8 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$  overeenkomt met  $1/0,8 = 1,25 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ .

## 3.2 Schermen voor overdag

### 3.2.1 Dampdicht scherm

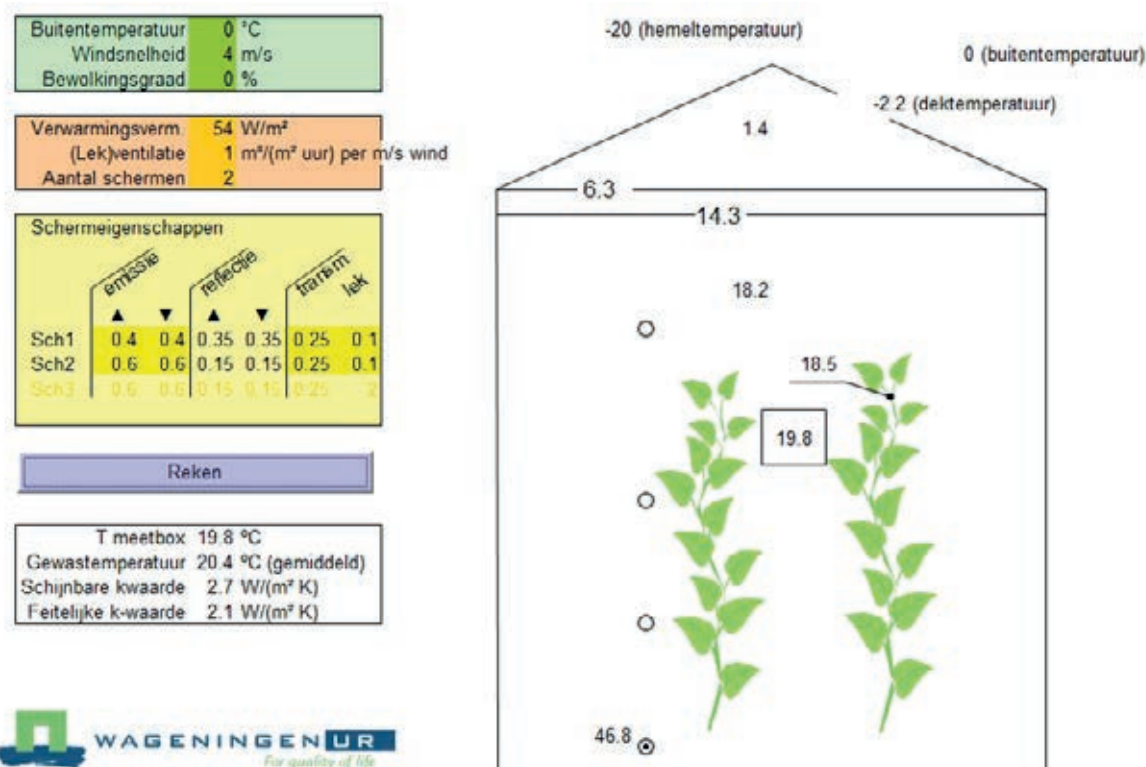
Het PVDF folie kan dankzij zijn hoge lichtdoorlatendheid van 93% (loodrecht gemeten) ook overdag gesloten blijven zolang er warmtevraag is. Globaal komt dit neer op opening boven  $200 \text{ W}/\text{m}^2$  buitenstraling. Omdat bij instraling de verdamping hoger kan worden dan de ontvochtigingsinstallatie kan afvoeren, zal dit scherm soms toch op een kier gezet moeten worden. Bij koud weer zal er condensatie op dit folie optreden zodat langs die weg ontvochtigd zal worden.

### 3.2.2 Anti-condens folie

Een deel van de dag kan de installatie van het dubbele gealuminiseerde scherm gebruikt worden om een AC folie dicht te trekken. Als dat gebeurt door tijdens het open trekken van de gealuminiseerde doeken het transparante PE folie naar de andere kant op te schuiven, ontstaat in de ochtend nooit een opening in het scherm. Dankzij de hoge warmteweerstand van de nachtschermen zal het zeer koud worden boven die schermen, waardoor in de ochtend een gevaarlijke situatie kan ontstaan met extreme kouval. Het PE folie zal op dat moment gelijktijdig gesloten zijn met het PVDF folie, dus van kouval zal geen sprake zijn. Het PE folie laat minder licht door (87% loodrecht gemeten) en zal daarom geopend worden zodra het productieverlies door lichtverlies groter is dan de behaalde energiebesparing. Globaal komt dit neer op opening boven  $100 \text{ W}/\text{m}^2$  buitenstraling.

Ook voor deze dagcombinatie is een simulatie gemaakt.

Dezelfde weersomstandigheden overdag leiden tot het volgende plaatje. Daarbij is de instraling van de zon buiten beschouwing gelaten.



**Figuur 3** PVDF folie en een AC folie overdag.

Een k-waarde van  $2,1 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  komt overeen met een warmteweerstand van  $0,47 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$  en kan dus voldoen aan de doelstelling voor overdag. Op een kleine testinstallatie bij Leen Huisman zijn deze configuraties getest op plooibaarheid, dikte van het pakket en schuifbaarheid. Daaruit bleek dat de PVDF folie kwetsbaar is voor scheuren tijdens het inbrengen. Om die reden is tijdens de aanleg van de proef de zijkant dubbelgevouwen en geseald om meer scheurweerstand te verkrijgen. Verder bleek dat de breedte van het ingevouwen pakket met twee gealuminiseerde doeken meer dan 15cm werd. Eigenlijk niet acceptabel. Toen is gezocht naar meer soepele gealuminiseerde folies, maar die waren niet verkrijgbaar op de gewenste breedte en de juiste weerstand tegen veroudering. Omdat de proef toch vooral de potentie van de energiebesparing moest aantonen is het bredere pakket geaccepteerd.

### 3.3 Kasproef

De geteste schermdoeksystemen zijn ingebouwd in de Next Generationkas, een kleine moderne kasafdeling van  $500 \text{ m}^2$  bij Wageningen UR Glastuinbouw. In die afdeling is een systeem voor buitenluchttoevoer aanwezig op basis van twee warmtewisselaars, waarvan er één koud is en zorgt voor condensatie, waarna een tweede warmtewisselaar de lucht weer opwarmt tot kastemperatuur. Via een luchtklep kan gekozen worden voor ontvochtiging van buitenlucht, kaslucht of een mengsel ervan. Voor de proef is tijdens warmtevraag alleen kaslucht ontvochtigd, zodat het energieverbruik dat daarmee gepaard gaat kon worden gemeten. Op die manier was ook in te schatten hoeveel warmte er via ontvochtiging onder de gesloten schermen teruggewonnen kon worden. De verwarming in die afdeling bestaat uit twee netten, een buisrailnet en een gevelnet. Van beide netten werd het energieverbruik gemeten. Om de invloed van de grote hoeveelheid gevel te elimineren is de gevelverwarming extra groot van capaciteit. De gevelwand bestaat uit een dubbelwandige kanaalplaat en is dus redelijk geïsoleerd. De gevelverwarming is zo ingesteld dat de warmteverliezen via de gevel precies gecompenseerd werden. Daarbij is uitgegaan van een k-waarde van  $0,8 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ . Door op die manier te werken kan het energieverbruik van een grote praktijkafdeling worden herleid uit de warmte die in de buisrail en de ontvochtiging is gestopt. Het water dat tegen de gevel condenseert wordt apart opgevangen en gemeten. Op die wijze kan ook de energieomzetting die daar heeft plaatsgevonden worden bepaald.

In de afdeling van  $19,2 \times 26 \text{ m}$  zijn twee ventilatoren opgehangen van het type Nivolator waarmee permanent een verticale luchtmenging heeft plaatsgevonden omdat verwacht wordt dat onder een zeer goed isolerend scherm als gevolg van een lage buistemperatuur van nature erg weinig luchtstroming zal plaatsvinden.



**Figuur 4** Schermsystemen met daaronder een Nivolator,

In deze afdeling heeft van 13 januari tot 13 mei 2014 een teelt plaatsgevonden van komkommer met het ras 'Proloog' (Rijk Zwaan) met 2,4 planten/m<sup>2</sup> in een hogedraad systeem. Daarvan zijn dagelijks de energieverbruiken, het gerealiseerde klimaat en de productie bijgehouden.

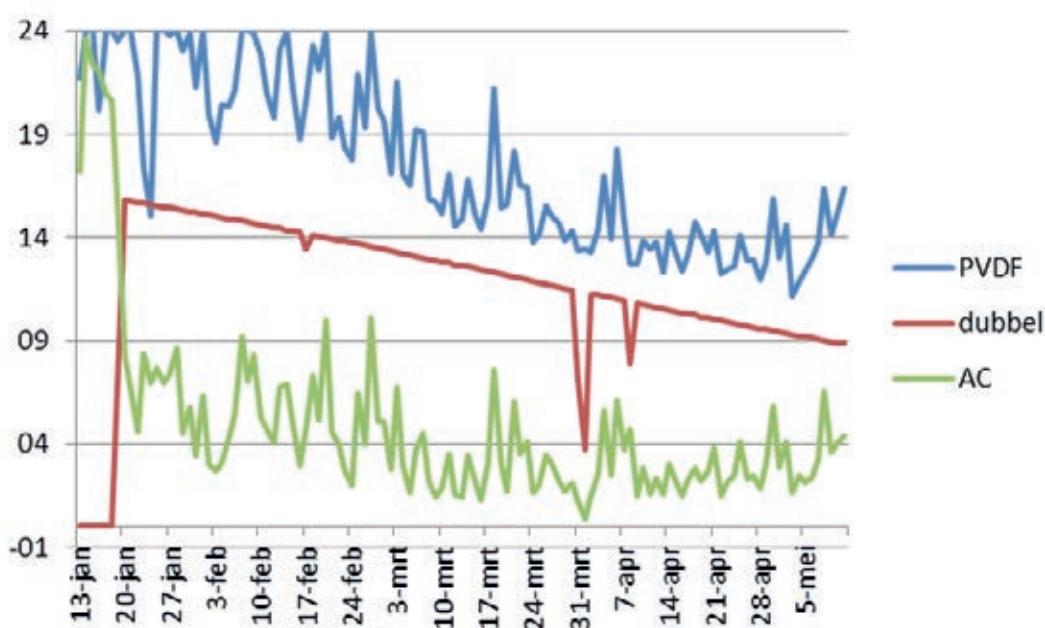


## 4 Resultaten

### 4.1 Schermgebruik

Er zijn veel schermuren gemaakt. Per scherm is dat af te leiden uit de grafiek. Het dubbele scherm was altijd volledig gesloten tussen zon onder en zon op. Behalve tussen 13 en 20 januari omdat het toen nog niet was aangesloten. Ook het PVDF scherm was altijd gesloten tussen zon onder en zon op. Daarnaast is het overdag ook vaak gesloten gebleven omdat het pas open ging zodra er geen warmtevraag meer was. Het AC folie heeft de minste uren gemaakt, maar is in de wintermaanden ook vaak bijna de hele dag dicht gebleven omdat er buiten minder dan 150 W/m<sup>2</sup> straling was. Verder valt uit de grafiek op te maken dat het PVDF scherm altijd minimaal 2 uur langer gesloten was dan het dubbele scherm. Dat was om de kouval te voorkomen.

	Totaal uren gesloten	Gemiddeld uren per dag
Dubbel scherm	1376	11,7
PVDF	2091	17,7
AC	587	5,0

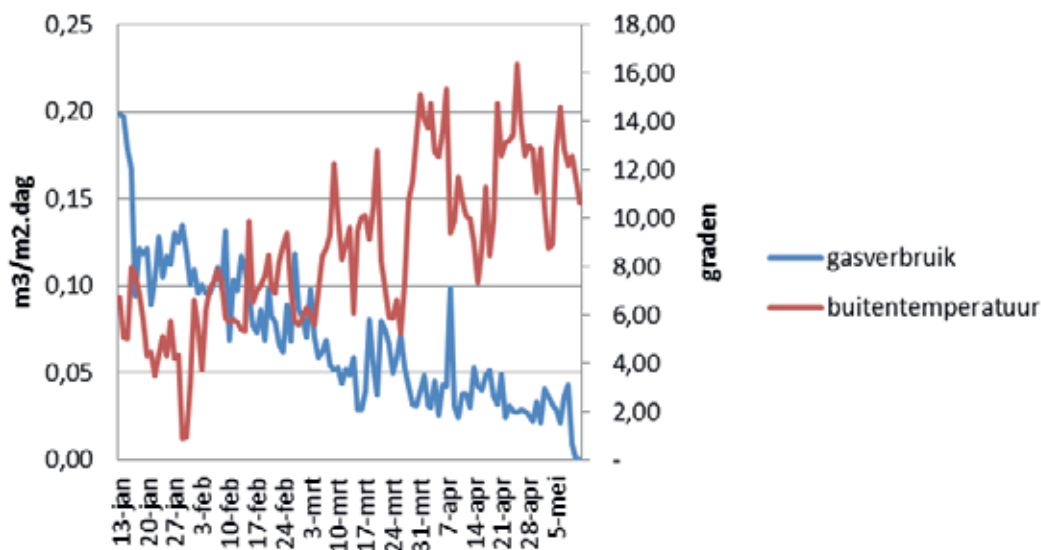


**Figuur 5** Aantal uren per dag dat de schermen gesloten zijn geweest.

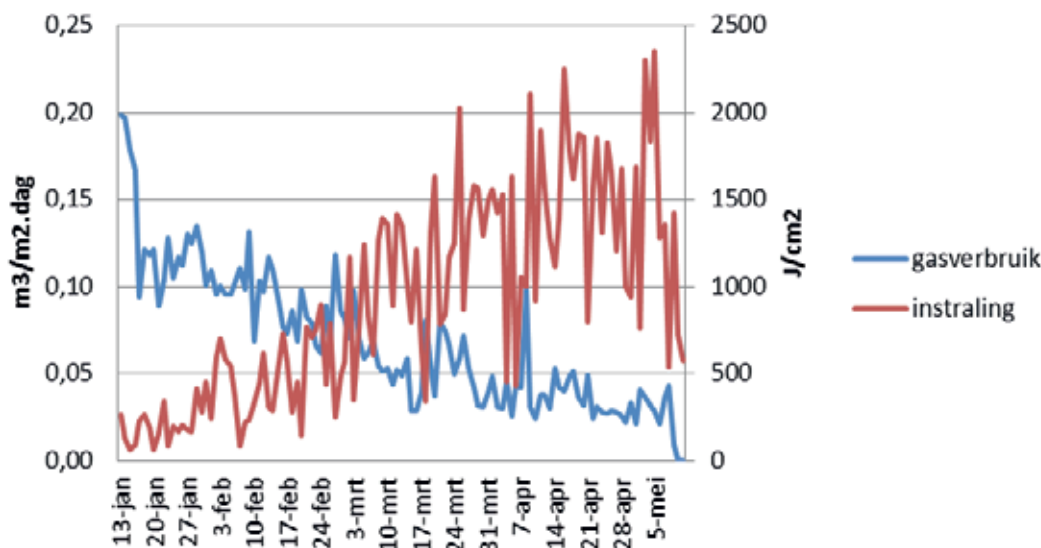
Het gasverbruik over de hele periode was 8,2 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. Dat was vergelijkbaar met het gasverbruik van een tomatenkas met dubbel glas dek, voorzien van een enkel scherm en een ontvochtiging met buitenlucht met terugwin systeem voor warmte uit de ventilatielucht die op hetzelfde terrein stond. In de periode van 13-20 januari was het dubbele scherm nog niet actief. In die periode was het gasverbruik dubbel zo hoog.

In relatie tot de buitentemperatuur valt op dat in de periode 17-31 maart bij buitentemperaturen tussen 6 en 14 °C het gasverbruik maar heel weinig verschilt. Wel is er een duidelijk verband tussen instraling en gasverbruik. Het gebruik van een transparant scherm overdag versterkt het effect dat instraling al snel leidt tot een lager gasverbruik.

## gasverbruik en buitemtemperatuur



## gasverbruik en instraling



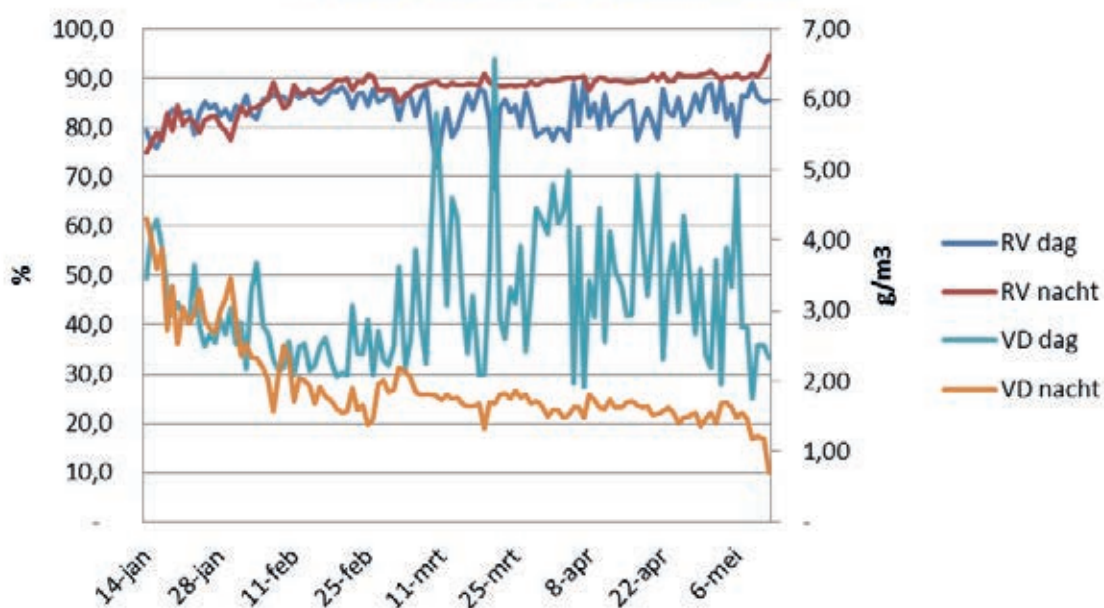
**Figuur 6** Gasverbruik per dag in relatie tot de buitemtemperatuur en de instraling.

## 4.2 Ontvochtiging

Er is bewust getracht om te telen bij een hogere RV. Door de kleinere temperatuurverschillen in de kas is de kans op condensatie minimaal. Omdat het een kleine kas is met veel geveleppervlak waartegen erg veel condensatie plaats vond, is het nooit heel erg vochtig geworden. Dat heeft ook zijn weerslag op het aantal draaiuren van de ontvochtiging. Dat is erg laag. Alleen toen de zon begon te schijnen nam dat wat toe omdat de verdamping dan snel toeneemt en tot 200 W/m<sup>2</sup> het foliescherm gesloten was. Daarboven werd gewoon via de ramen gelucht. Het vochtdeficit is nooit laag geweest. Dat is voornamelijk te danken aan de besturing van de schermen. Immers, als het dubbele doek open ging, liep het AC folie tegelijk dicht terwijl daaronder nog steeds het PVDF folie gesloten was. Daardoor zijn grote temperaturdalingen voorkomen, zoals in de voorbeeldgrafiek van 2-4 februari waar te nemen is.

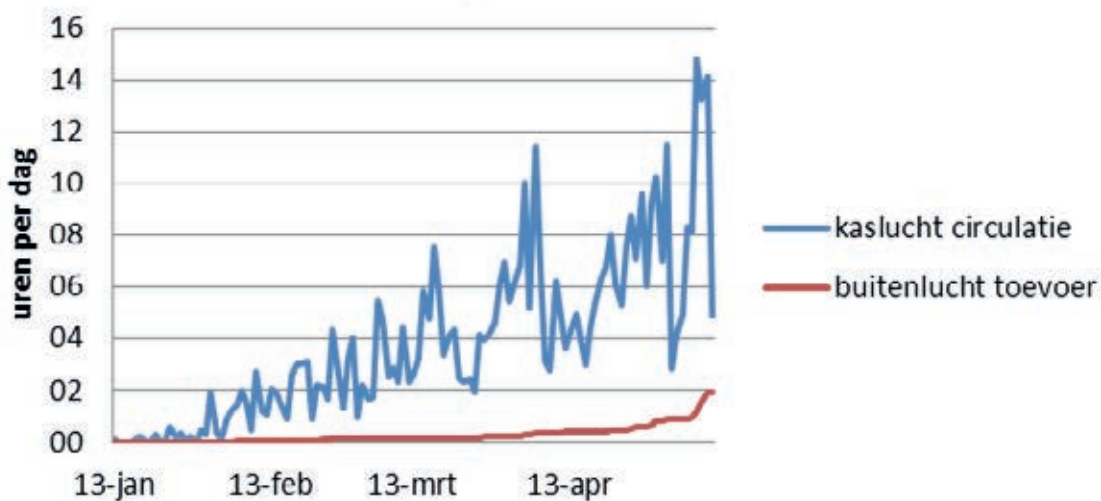


## gemiddelde vochtsituatie



**Figuur 7** Gemiddelden per dagdeel van RV en VD.

## uren ontvochtiging per dag per systeem

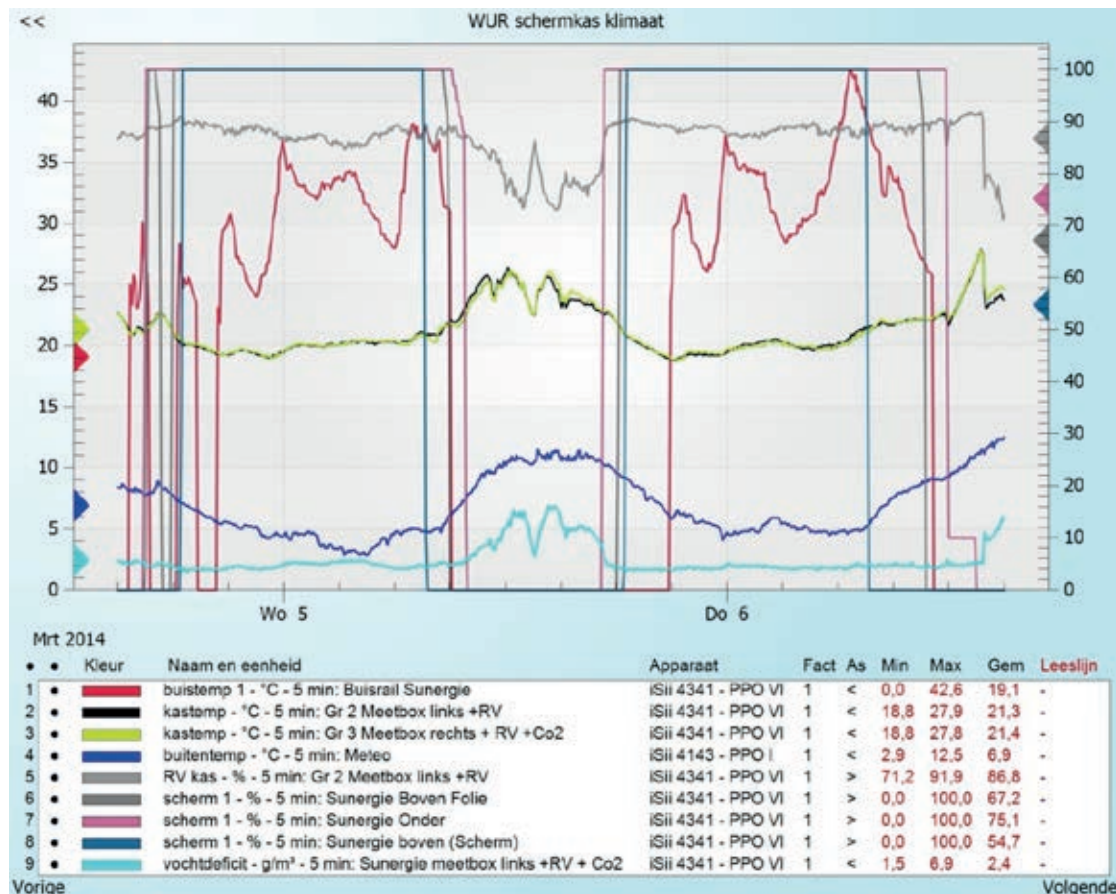


**Figuur 8** Aantal uren per dag dat er ontvochtigd is met de luchtbehandelingskast opgesplitst in uren interne circulatie en ventilatie met buitenlucht.

## 4.3 Klimaat

Dankzij de goede isolatie in combinatie met verticale ventilatoren die permanent en met een vast toerental gedraaid hebben, was het horizontale temperatuurprofiel uitstekend, zoals te zien is in de volgende grafiek die twee koude dagen weergeeft. De twee meetboxen aan de linker- en de rechterkant van de kas geven nagenoeg dezelfde waarden aan.

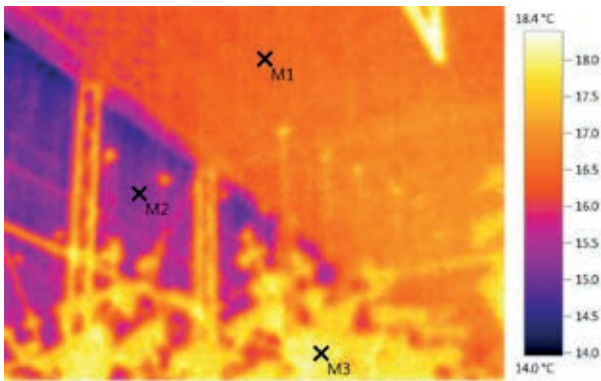
De RV was relatief hoog omdat deze zo was ingesteld, maar het VD is nooit spannend geweest, ook niet gedurende het openen of sluiten van de schermen.



**Figuur 9** Overzicht van een aantal klimaatkenmerken gedurende 2 dagen in maart.

Behalve voor een hoge RV is er ook gekozen voor een vlakke teelttemperatuur over de hele dag en nacht. Dat is dankzij de hoge isolatiewaarde van de schermen goed gelukt. Alleen tegen de ochtend is de aanvoertemperatuur van de buisrail (het enige verwarmingsnet) wat opgevoerd om kouval te voorkomen. Omdat dit net uit extra veel buizen bestond (2,5 m/m<sup>2</sup>, dus 4 per bed), had dit als nadeel dat de kastemperatuur sterk opliep zodra de zon opkomt. Omdat alle buizen dan gevuld zijn met veel te warm water duurt het erg lang voor de kastemperatuur weer daalt.

Ook verticaal waren de verschillen klein zolang de schermen gesloten waren. Het best is dat te demonstreren aan de hand van de koptemperatuur. Die is gemeten met een warmtebeeldcamera in de situatie dat twee gealuminiseerde doeken plus het PVDF folie gesloten waren. Hieruit bleek dat de plant overal dezelfde temperatuur had, ongeveer 1 graad onder de luchttemperatuur en dat het scherm slechts twee graden onder de ruimtetemperatuur lag.

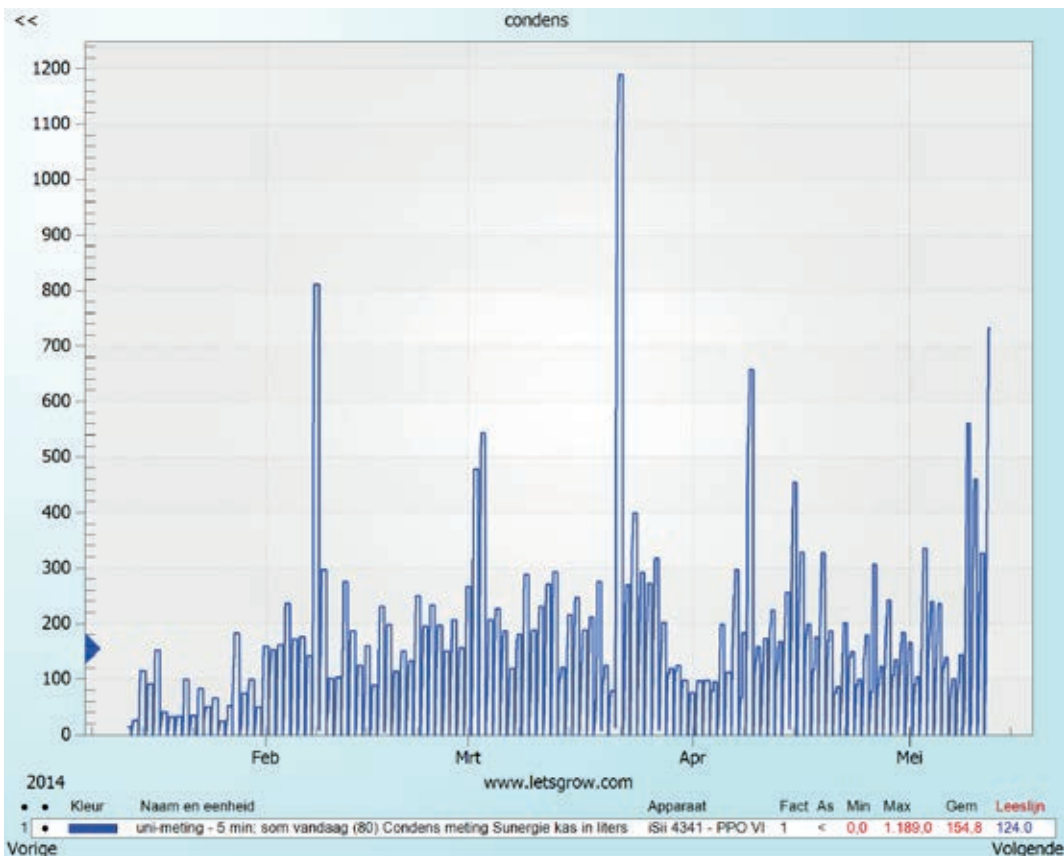


**Beeldmarkeringen:**

Meetobject	Temp.	Object
Meetpunt 1	16.6	dubbel doek + folie
Meetpunt 2	15.1	gevel
Meetpunt 3	17.9	plantkop

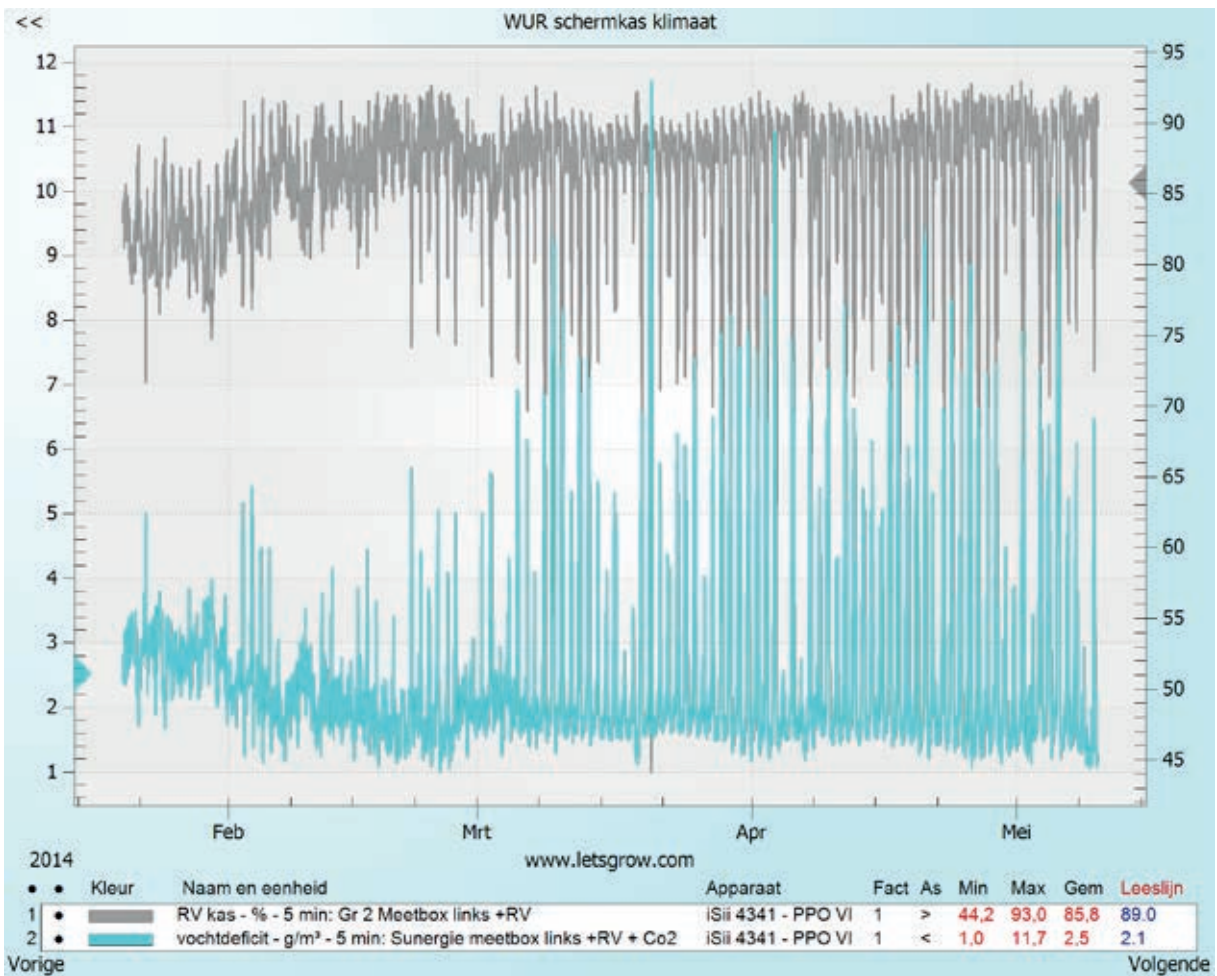
**Figuur 10** Infraroodbeeld en zichtbaar beeld in de situatie dat de twee gealuminiseerde doeken en het PVDF folie gesloten waren, de kastemperatuur was 19°C.

In deze proef werd er van uit gegaan dat het mogelijk moet zijn om bij hogere RV's te kunnen telen zonder gevaar op condensatie en schimmels. De kop van de plant blijft veel warmer omdat het onderste scherm bijna kastemperatuur heeft. De plant "ziet" dus een warme hemel en koelt niet meer af door uitstraling, alleen nog door verdamping. De gevel was volgens deze meting het koudste oppervlak in de kas, hetgeen leidde tot veel condensatie op dat oppervlak. Daarnaast was er ook veel condensatie op het kasdek. De totale hoeveelheid condens is weergegeven in de volgende grafiek.



**Figuur 11** Gemeten condensatie tegen de gevel en het kasdek.

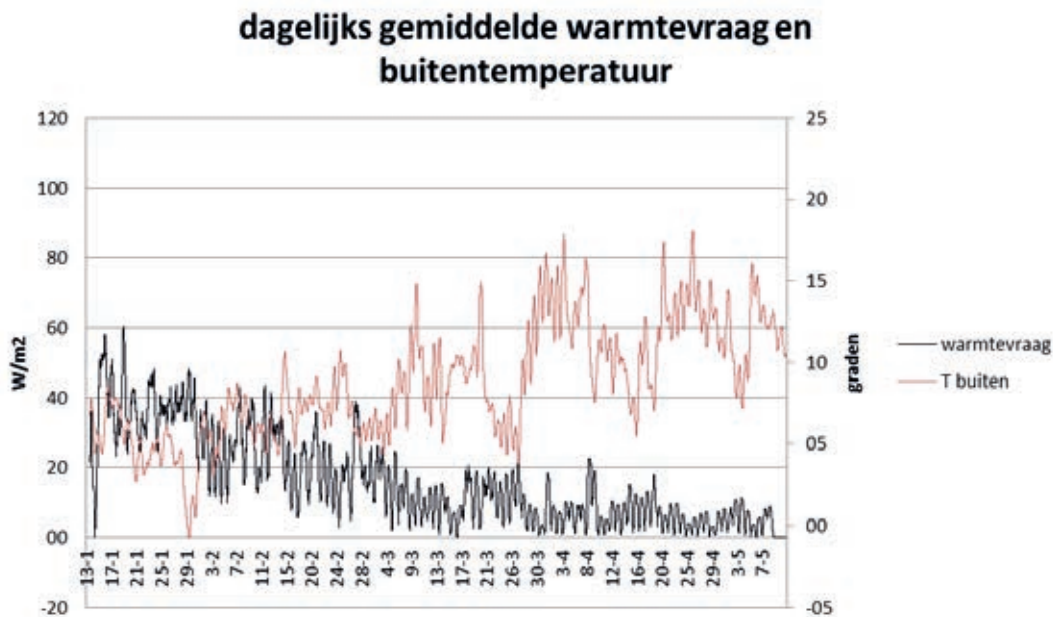
Gemiddeld condenseert er in de nacht in 12 uur tijd 155 liter in de kas van 500 m<sup>2</sup>. Als wordt aangenomen dat het condens van het kasdek ook afkomstig is van de verdamping, zou dat neerkomen op 26 gram/m<sup>2</sup>.uur van verdamping afkomstig vocht. Dat komt blijkbaar dicht in de buurt van de gewasverdamping, want er is in de nacht maar weinig uren mechanisch ontvochtigd en de RV en het VD zijn nooit problematisch geweest.



**Figuur 12** Verloop RV en VD gedurende de teelt.

## 4.4 Warmteweerstand

De warmtevraag van de kas vertoont over het verloop van de proef het volgende beeld:



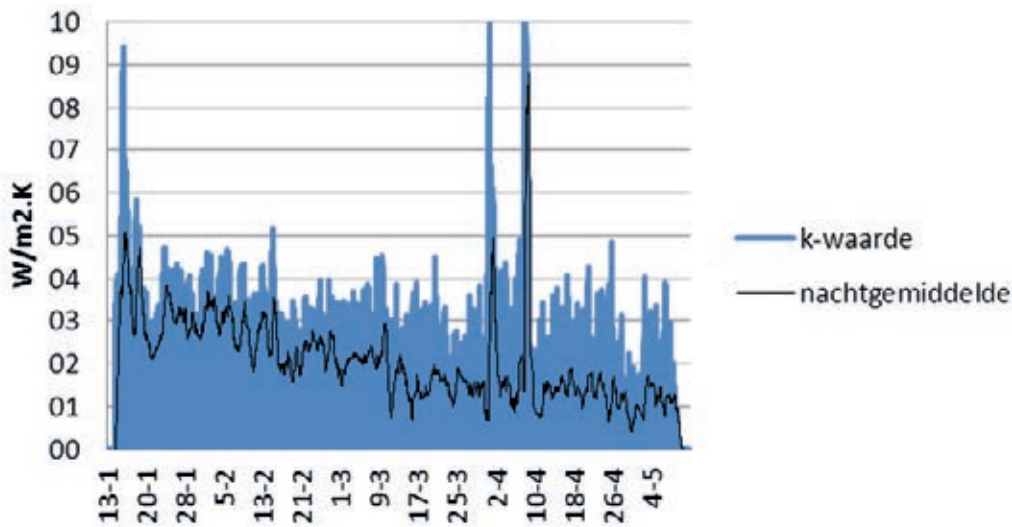
**Figuur 13** Verloop van de gemiddelde warmtevraag per dag en de buitentemperatuur tijdens de teelt.

Het is duidelijk dat de warmtevraag afneemt bij hogere buitentemperaturen.

### 4.4.1 K-waarde in de nacht

De k-waarde is iedere dag berekend aan de hand van de temperaturen van de verwarmingsbuizen, de kaslucht en de buitenlucht. Voor de periode 23.00-5.00 uur wanneer altijd zowel het dubbele doek als het PVDF folie gesloten was bedroeg de gemiddelde k-waarde over de hele periode  $1,3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ . Dat betekent over de gehele teelt gemiddeld een warmteweerstand voor de nacht van  $0,77 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$ . Dat komt bijna overeen met de doelstelling.

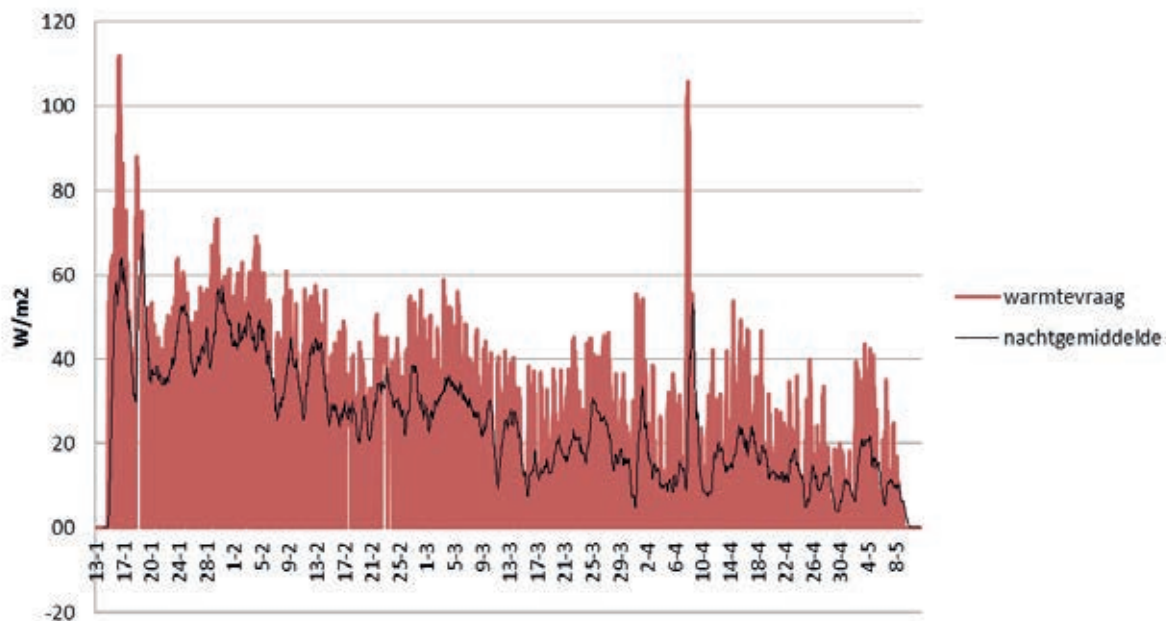
## k-waarde 23.00 - 5.00 uur



**Figuur 14** Verloop van de k-waarden gedurende de nacht.

Voor de periode van 20 januari tot 1 maart was de k-waarde ongunstiger: 2,1 W/m<sup>2</sup>.K. Dat betekent voor die periode een warmteweerstand voor de nacht van 0,48 m<sup>2</sup>.K/W. Daarmee is het in die periode slechter dan de doelstelling. De oorzaak ligt in het feit dat de PVDF folie zodanig veel plassen bevatte dat de folie steeds losscheurde uit het schuifprofiel. Daardoor vond extra vochtafvoer plaats en was ook de spouw tussen folie en dubbel doek feitelijk doorbroken. De 3 pieken in de grafiek zijn de momenten waarop het dubbele doek bij wijze van test niet gesloten was. Daaruit is duidelijk te zien dat dit scherm een grote bijdrage leverde aan de isolatie. De warmtevraag bedroeg voor de hele periode voor de nacht tussen 10-40 W/m<sup>2</sup>.

## warmtevraag 23.00 -5.00 uur

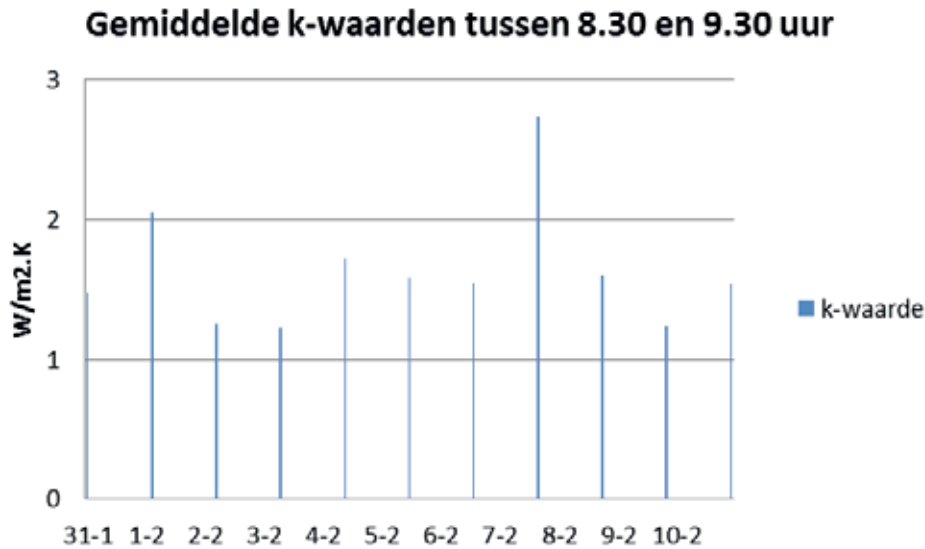


**Figuur 15** Verloop van de warmtevraag in de nacht.

#### 4.4.2 K-waarde overdag

Voor de dagschermen is de warmteweerstand bepaald op het moment dat het dubbele alu scherm net geopend was en beide folies volledig gesloten. In de periode van 31 januari - 11 februari was dat tussen 8.30 en 9.30 uur altijd het geval.

Uit de volgende grafiek valt af te lezen dat de gemiddelde k-waarde toen ongeveer  $1,8 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  bedroeg. Dat komt overeen met een warmteweerstand van  $0,55 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$ . Dat is een betere prestatie dan de vooraf gevraagde  $0,44 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$ . Waarschijnlijk komt dat omdat het PVDF folie na het openen van het dubbele alu scherm vrijwel altijd beslagen was. Het is bekend dat een uniforme condensatie (geen druppels) de doorlating van langgolvlige warmtestraling net als bij glas blokkeert.



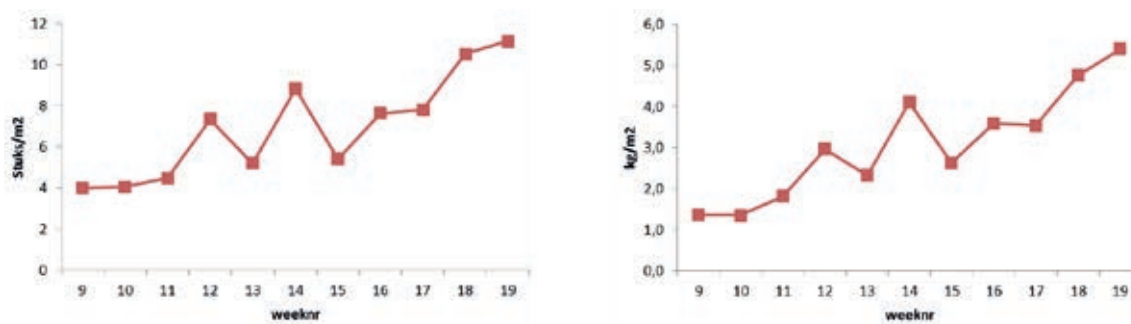
**Figuur 16** Gemiddelde k-waarden tussen 8.30 en 9.30 uur van 31 januari tot 11 februari wanneer twee folieschermen volledig gesloten zijn.

De hogere k-waarde op 7 februari werd veroorzaakt doordat die dag de PVDF folie door het hoge gewicht aan plassen uit het schuifprofiel is gescheurd.

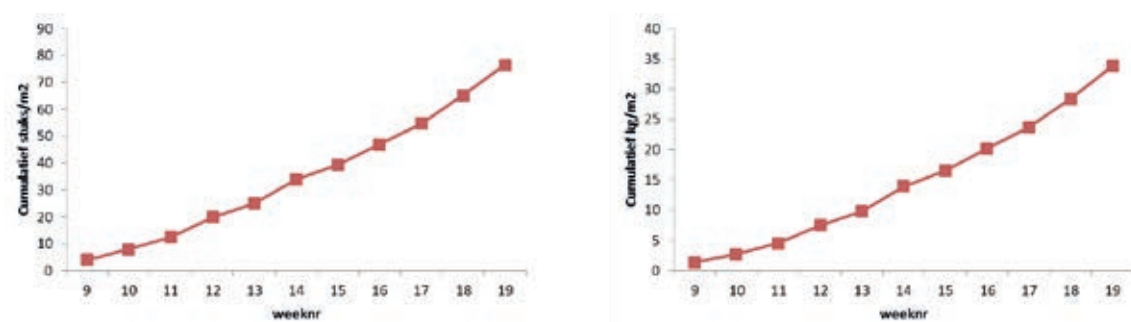
## 4.5 Plantreacties

Productie en kwaliteit hebben een normaal verloop gehad. De resultaten zijn vergelijkbaar met een praktijkbedrijf.

wk	gemiddeld per week			cum gemiddeld		
	stuks/m2	kg/m2	gvg (g)	#/m2	kg/m2	gvg (g)
9	3,99	1,36	340	3,99	1,37	343
10	4,05	1,35	333	8,05	2,72	338
11	4,48	1,81	405	12,52	4,53	362
12	7,34	2,96	403	19,86	7,49	377
13	5,18	2,33	449	25,04	9,82	392
14	8,81	4,10	465	33,85	13,91	411
15	5,41	2,62	484	39,26	16,53	421
16	7,62	3,58	470	46,88	20,11	429
17	7,79	3,53	453	54,67	23,64	432
18	10,51	4,75	452	65,18	28,39	435
19	11,13	5,39	484	76,32	33,77	443
Totaal	76,32	33,76	442			



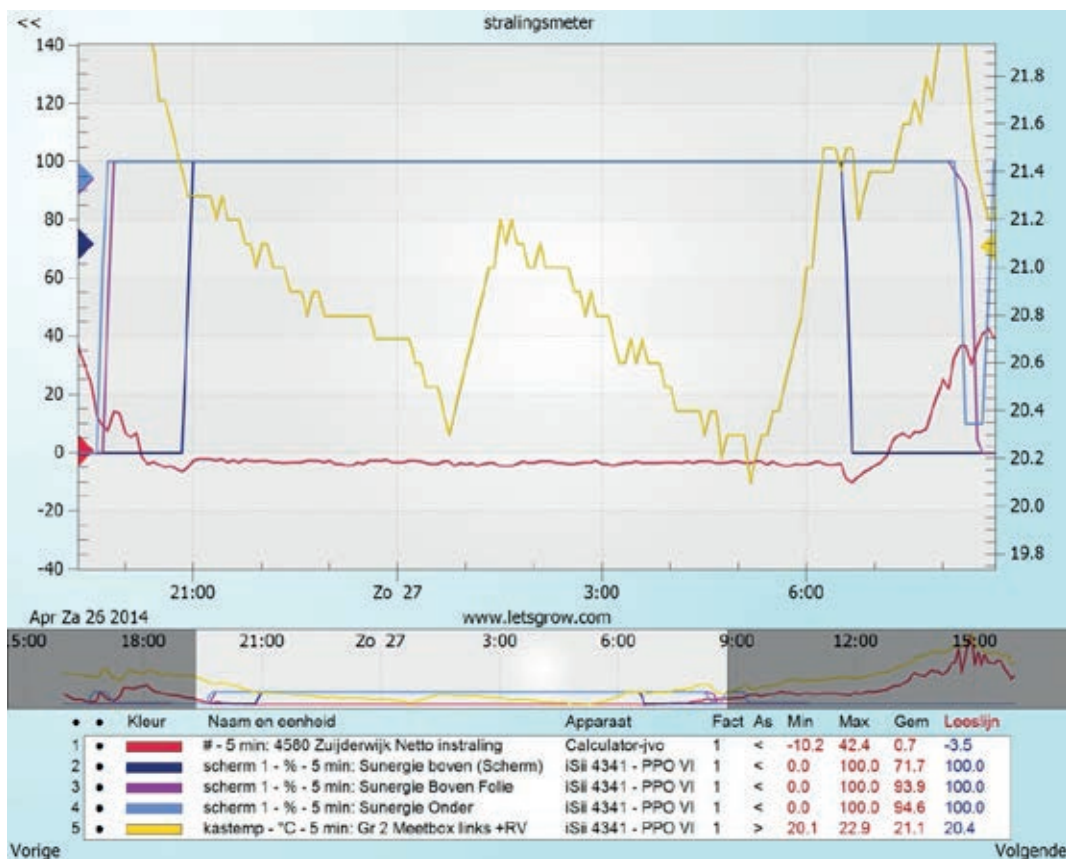
**Figuur 17** Verloop van het geogste aantal stuks en het gewicht per week.



**Figuur 18** Cumulatieve ontwikkeling van het aantal stuks en het gewicht.



Er is regelmatig bolblad in het gewas geconstateerd. Gesuggereerd is dat dit veroorzaakt wordt door het snel afkoelen van de kop net voordat het dubbele gealuminiseerde doek 's avonds wordt gesloten of nadat het 's morgens wordt geopend. De dubbele folies laten toch nog teveel stralingswarmte door en omdat het boven het scherm erg koud wordt kijken de koppen naar een relatief koud kasdek. Omdat er geen verwarming bij de plantkop aanwezig is kon die temperatuurschok inderdaad niet worden voorkomen. Dat is te zien in de meting van de netto straling in de kas. Zolang het bovenscherm gesloten is bestaat er een netto afkoeling van  $4 \text{ W/m}^2$ . Net voor het sluiten en na het openen van dat doek stijgt de netto uitstraling naar  $10 \text{ W/m}^2$ . In de kastemperatuur is die extra afkoeling nauwelijks terug te vinden, maar de plantkop merkt die extra afkoeling wel.



**Figuur 19** Verloop van de netto uitstraling van het gewas onder invloed van het openen en sluiten van de schermen.

## 4.6 Technische aspecten



**Figuur 10** Plassen op de PVDF folie.

Zoals te zien is op de foto waren er twee problemen met de installatie. Ten eerste was de breedte van het ingeschoven dubbele doek bijna 20cm. Dat werd veroorzaakt doordat de vouwen van de twee stugge gealuminiseerde doeken in elkaar gingen liggen. Dit pakket zal zeker gehalveerd moeten worden in breedte, maar dat kon in de proef niet meer worden aangepast.

Het tweede probleem waren plassen op de PVDF folie. Om het verlies aan warmte door vochttransport te minimaliseren was deze niet voorzien van een perforatie. De bovenste AC folie die op deze foto ook dicht ligt was wel geperforeerd en kende dit probleem niet. Vooraf was de verwachting dat er nauwelijks vocht boven de schermen terecht zou komen en druipt niet echt een probleem zou zijn. Maar dat bleek niet te kloppen. Er lagen iedere ochtend grote plassen op de folie die bij het open lopen van het scherm voor grote neerslag zorgden. Dit heeft echter niet geleid tot schimmelproblemen in het gewas. Door het gewicht van de plassen werd de folie ook uit de trekprofielen getrokken. Het is onduidelijk waar het water precies vandaan kwam, maar opvallend was wel dat in het vak langs de gevel verreweg de grootste hoeveelheid water omlaag kwam. Dat is het laagste punt van de kas waar het ook het koudst was. Op basis daarvan is aannemelijk dat het om condens ging. Maar of dat vocht van buiten kwam of via lekkage langs de gevels van onder de schermen kwam kon niet worden vastgesteld.

Omdat het probleem onbeheersbaar bleek is uiteindelijk besloten om in een verband van 0,6\*0,6m gaatjes van 2mm te prikken. Dat bleek een afdoende oplossing. Op de isolatiewaarde hebben deze gaatjes geen meetbare invloed gehad.

## 5 Conclusies

De toepassing in de nacht van een schermpakket van twee gealuminiseerde doeken met daaronder een dampdicht PVDF folie heeft een warmteweerstand van het kasdek opgeleverd van  $0,77 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ . Dat is 2,5 keer zo hoog als de warmteweerstand van een enkel glas kasdek met daaronder een enkel LS10 ultra scherm. De toepassing overdag van een schermpakket bestaande uit een geperforeerd AC folie met daaronder een hoogtransparant PVDF folie heeft tijdens het gesloten zijn van beide folies (dat is de periode dat er gestookt moet worden) een warmteweerstand opgeleverd van  $0,55 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ . Dat is 3,5 maal zo hoog als de warmteweerstand van een enkel glas kasdek zonder scherm.

Het gasverbruik in de periode 13 januari-12 mei 2014 was voor een hogedraad komkommerteelt  $8,2 \text{ m}^3/\text{m}^2$ . Dat is de helft van een vergelijkbaar praktijkbedrijf met een enkel LS 10 ultra scherm.

De teelt van het ras Proloog is zonder problemen verlopen. Er was alleen wat last van bolblad, maar dit had weinig gevolgen voor de productie of de kwaliteit. Er zijn  $76,3 \text{ stuks}/\text{m}^2$  geproduceerd met een gemiddeld vruchtgewicht van 442 gram. Dat is vergelijkbaar met een praktijkbedrijf.

In technische zin zijn er twee problemen geweest. De dampdichte PVDF folie verzamelde teveel water dat vanaf het kasdek kwam waardoor het uit het klemprofiel scheurde. Dat is opgelost door te perforeren in een verband van  $0,6 \times 0,6 \text{ m}$ . Het dubbele gealuminiseerde doek vormde opgevouwen een te breed pakket omdat de vouwen in elkaar vielen. Dat heeft extra lichtverlies opgeleverd en kon niet worden aangepast tijdens de proef.



## 6 Aanbevelingen

Het gebruikte PVDF folie was experimenteel en bestond uit aan elkaar gelaste banen. In een economische simulatie moeten de kosten van een praktijktoepassing worden geëvalueerd waarna de leverancier een ontwikkelingstraject kan overwegen. Alternatief is een materiaal dat minder licht doorlaat en/of vaker vervangen moet worden. Uiteraard moet daarin de vervuiling van het PVDF folie worden meegewogen.

De breedte van het geopende scherm pakket van het dubbele doek moet worden teruggebracht naar maximaal 10cm. Gesuggereerd is om de afstand tussen de doeken te vergroten zodat de vouwen niet meer in elkaar vallen of over te schakelen op gealuminiseerde folie dat beter plooibaar is. Dat laatste materiaal was niet verkrijgbaar in de juiste specificaties zoals brandwerendheid en afmetingen.

De combinatie van een goede isolatie met verticale ventilatoren hebben gezorgd voor een uitermate homogeen verticaal en horizontaal temperatuurprofiel waardoor de klimaatregeling eenvoudiger wordt. De temperaturen van de plant zijn sterk verhoogd door de isolatie. Tijdelijke verhoging of verlaging van de temperatuur om schokken te voorkomen lijken daardoor overbodig te worden. De kans op condensatie op het gewas is ondanks de hoge RV nooit groot geweest. Het teeltrecept moet waarschijnlijk worden aangepast aan deze nieuwe situatie waardoor mogelijk nog extra besparingen gehaald kunnen worden.

De behaalde resultaten zijn zo goed dat het verantwoord lijkt om snel tot een praktijktest over te gaan. In potentie bestaan er materialen en schermssystemen die de warmteweerstand in de nacht nog eens kunnen verdubbelen. Toepassing ervan lijkt nu alleen nog een economische vraag.

De warmteweerstand overdag kan nog verder verbeterd worden als er een infrarood barrière op de folie kan worden aangebracht die de doorlating van PAR nauwelijks beïnvloed. Een condensfilm kan dit beoogde effect hebben, dus bestrijden ervan door te ontvochtigen kan wel eens averechts werken. Zowel het ontvochtigen als de toenemende doorlaat van langgolvlige warmtestraling maken het warmteverlies bij een droge folie groter. Waterdruppels (in plaats van een egale waterfilm) daarentegen reduceren de doorlating van PAR door een grotere reflectie.

De lichtdoorlatendheid voor PAR van een dagscherm lijkt van groter belang dan de warmteweerstand omdat productieverlies financieel niet snel gecompenseerd kan worden door energiebesparing. De zoektocht naar betaalbare materialen met een hoge lichtdoorlatendheid moet dan ook zeker doorgaan.

Toch zijn er fysiologische voorbeelden bekend waarin lichtverlies netto toch tot meer productie kan leiden. Daarbij speelt een sub-optimale RV soms een rol. Zo werd aangetoond dat blad gevormd bij een hoge RV meer huidmondjes heeft en later meer vermogen tot fotosynthese heeft zolang die hogere RV gehandhaafd blijft gedurende de teelt. Een hogere RV in de kas leidt tot minder energieverbruik en een hogere concentratie aan CO<sub>2</sub>, terwijl de huidmondjes langer geopend blijven. Inmiddels is ook duidelijk dat de extra assimilaten die op die manier worden aangemaakt alleen worden omgezet in bouwstenen wanneer in de nacht een hogere temperatuur wordt aangehouden. Dat beeld past perfect bij een zeer goed geïsoleerde kas. Daartegen wordt vaak opgeworpen dat een hoge RV leidt tot slechte houdbaarheid door een afgenomen vermogen van de huidmondjes om te sluiten. Vooral voor siergewassen betekent dat een grote weerstand tegen het zwaarder schermen. Huidmondjes trainen door een tijdelijke hoge verdamping op te wekken kost onnodig energie en is moeilijk uitvoerbaar. In dat licht bezien is onderzoek gewenst waarin wordt uitgezocht of er een teeltstrategie denkbaar is waarbij de training van huidmondjes uitgevoerd kan worden door een tijdelijke beperking van de watergift.



# 7 Literatuur

De Zwart, H.F., Stanghellini, C., van der Knaap, L.P.M.,

Hoog isolerende en lichtdoorlatende schermconfiguraties. Wageningen UR Glastuinbouw, Wageningen, 2010.

Baart de la Faille, L., Sewalt, K., van Weel, P. A., de Zwart, H.F.,

Materialen voor het nieuwe schermen. TNO 2013 R10966, Delft, 2013.











To explore  
the potential  
of nature to  
improve the  
quality of life



Wageningen UR Glastuinbouw  
Postbus 20  
2665 ZG Bleiswijk  
Violierenweg 1  
2665 MV Bleiswijk  
T +31 (0)317 48 56 06  
F +31 (0) 10 522 51 93  
[www.wageningenur.nl/glastuinbouw](http://www.wageningenur.nl/glastuinbouw)

Glastuinbouw Rapport GTB-1361

Wageningen UR Glastuinbouw initieert en stimuleert de ontwikkeling van innovaties gericht op een duurzame glastuinbouw en de kwaliteit van leven. Dat doen wij door toepassingsgericht onderzoek, samen met partners uit de glastuinbouw, toeleverende industrie, veredeling, wetenschap en de overheid.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.