



WAGENINGENUR
For quality of life

Het Nieuwe Telen bij Vereijken

Marcel Raaphorst



Productschap  Tuinbouw



Ministerie van Economische Zaken,
Landbouw en Innovatie

Rapport GTB-1097



Referaat

Een nieuwe tomatenkas, ingericht met dubbele schermen en het inblazen van buitenlucht via luchtslangen, is gemonitord. Met het systeem blijkt het warmtegebruik te worden beperkt tot 32,6 m³/m².jaar. De horizontale temperatuurverdeling is bijzonder goed en er is nauwelijks Botrytis opgetreden. Het systeem is rendabel als prijs van warmte hoger is dan 0,22 €/m³ aardgasequivalent.

Abstract

Wageningen UR Greenhouse Horticulture has monitored a next generation greenhouse cultivation for tomatoes. This greenhouse has two energy screens and an installation for injecting of outside air via ducts. The use of heat is minimised to 1010 MJ/m², with a very equal horizontal temperature distribution and hardly any appearance of Botrytis. The system is economically feasible if the price of heat is higher than 7 €/GJ.

© 2011 Wageningen, Wageningen UR Glastuinbouw

Wageningen UR Glastuinbouw

Adres : Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk
: Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk
Tel. : 0317 - 48 56 06
Fax : 010 - 522 51 93
E-mail : glastuinbouw@wur.nl
Internet : www.glastuinbouw.wur.nl

Inhoudsopgave

	Samenvatting	5
1	Inleiding	7
	1.1 Probleemstelling	7
	1.2 Doelstellingen	7
	1.3 Aanpak	8
2	CoVent G-systeem	9
	2.1 Luchtbehandelingskasten (LBK)	9
	2.1.1 Inzet LBK's	10
	2.1.2 Luchtweerstand	11
	2.2 Schermen	12
	2.2.1 Mogelijke oorzaken van hoog warmteverlies	12
	2.2.2 Temperatuur rond de schermen	13
	2.3 Horizontale temperatuurverdeling	14
	2.4 Verticale temperatuurverdeling	16
3	Energiegebruik	19
	3.1 Metingen en berekeningen	19
	3.2 Warmtegebruik	21
	3.3 Elektriciteitsverbruik	21
4	Teelt	23
5	Economische evaluatie	25
6	Conclusies en aanbevelingen	27
	6.1 Conclusies	27
	6.2 Aanbevelingen	27
7	Literatuur	29
Bijlage I.	Schema CoVent- G systeem	31
Bijlage II.	Berekende k-waarde schermen	33
Bijlage III.	IR-metingen	37

Samenvatting

Vereijken kwekerijen BV te Beek en Donk heeft o.a. een kas met 5 hectare cocktailtomaten, waarin de belangrijkste principes van Het Nieuwe Telen zijn opgenomen. De onbelichte kas met twee energieschermen bevat een systeem voor buitenluchtaanvoer, luchtcirculatie en luchtverwarming. Dit door Cogas Zuid ontworpen systeem wordt CoVent-G kas genoemd. Het luchtbehandelingsysteem biedt de mogelijkheid fors te schermen om energie te besparen. In de wintermaanden kan het teveel aan vocht gecontroleerd worden afgevoerd, wat voordelig energiebesparing en klimaatverbetering kan geven. Het doel van het systeem is om het warmtegebruik te verlagen van 45 naar 35 m³/m² aardgasequivalenten (ae) zonder dat dit ten koste gaat van de productie. De besparing op de warmtevraag zal vooral plaatsvinden tijdens perioden met lage buitentemperaturen, wanneer CO₂-dosering geen knelpunt is. Hierdoor zal de mogelijkheid om CO₂ te doseren nauwelijks worden beperkt.

De eerste anderhalf jaar van de teelt met dit systeem is gemonitord en begeleid door Wageningen UR met financiering van het programma Kas als Energiebron.

Aanvankelijk is voorzichtig gestart met de instellingen. Bij gesloten schermen werd volop lucht rondgeblazen: de RV bleef veilig laag en de horizontale temperatuurverdeling was erg gelijk. Helaas bleek hiermee het energieverbruik en met name het elektriciteitsverbruik van de ventilatoren nog erg hoog te blijven. Door steeds gerichter te werken en de ventilator alleen te gebruiken als dit strikt noodzakelijk was, werd uiteindelijk het warmtegebruik beperkt tot 32.6 m³/m².jaar. Hiervan is 3,6 m³/m² via de luchtbehandelingskasten ingebracht.

Het warmtegebruik is geschat door de buistemperatuur te vergelijken met de kastemperatuur. Na vergelijking met een warmtemeter bleek deze schatting redelijk betrouwbaar te zijn. In het najaar gaf het een 7% overschatting en in de winter en het voorjaar een 7% onderschatting van het werkelijke warmtegebruik. Het warmtegebruik van de LBK's is gemeten en ook berekend aan de hand van de ingaande temperatuur, de uitgaande temperatuur en het luchtdebiet. Deze berekening is minder betrouwbaar.

De horizontale temperatuurverdeling was zeer goed. Hoewel de oorzaak hiervan vaak wordt toegeschreven aan de overdruk in de kas, is dat niet aangetoond. Waarschijnlijk heeft de toepassing van een dicht dubbel scherm een belangrijker invloed op de goede horizontale temperatuurverdeling. De energieschermen blijken overigens samen in gesloten toestand het warmtegebruik niet met de berekende 81% te verlagen. De belangrijkste oorzaak daarvan wordt vermoed dat de extra luchtbeweging in de kas meer convectieverliezen en meer gewasverdamping geven. Ook laten de (o.a. door luchtbeweging) droge dubbele schermen meer stralingswarmte door dan natte enkele schermen.

In de kas zijn nauwelijks vochtproblemen, zoals Botrytis gevonden. Hierbij is bij gebrek aan een vergelijkbare referentie niet aangetoond of dit heeft geleid tot een hogere productie.

Het Nieuwe Telen, zoals dat is uitgevoerd bij Vereijken, is economisch pas haalbaar bij een hoge prijs voor warmte. Als indicatie hiervoor wordt hier een warmteprijs gegeven van meer dan 0,22 €/m³ aardgasequivalent. Hierbij is rekening gehouden met een MEI-subsidie van 40% op de investering. Indien het systeem ook leidt tot meerproductie, een betere kwaliteit en/of besparing van arbeid, kan het ook bij een lagere warmteprijs economisch rendabel zijn. Overigens dient hierbij te worden aangetekend dat de warmteprijs lager kan liggen dan de gasprijs, omdat een WKK bij een hoge sparkspread goedkopere warmte kan leveren.

1 Inleiding

Eind 2009 is bij Vereijken kwekerijen BV te Beek en Donk een nieuwbouwproject gerealiseerd van 10 ha waarin tomaten kunnen worden geteeld. Het project bestaat uit twee kassen waarvan elk 5 ha, met een onderling verschillend uitgevoerde belichting en klimaatbeheersing. In de belichte kas (Kas 1) is de vocht- en warmte afvoer op traditionele wijze, dus met schermdoeken en/of luchtramen en extra verwarmen. De onbelichte kas (Kas 2) bevat een systeem voor buitenluchtaanvoer, luchtcirculatie en luchtverwarming. Dit luchtbehandelingsysteem biedt de mogelijkheid fors te schermen om energie te besparen. In de wintermaanden kan het teveel aan vocht gecontroleerd worden afgevoerd, wat voordelig energiebesparing en klimaatverbetering kan geven.

Bij aanvang van de eerste teelt heeft Vereijken Beek en Donk BV de verwachting dat met deze extra investeringen in kas 2 jaarlijks 10 m³/m² aan aardgasequivalenten op de warmtevraag te besparen ten opzichte van een referentie van 45 m³/m².jaar. Dit referentiegebruik is gebaseerd op de ervaringen bij andere kassen van Vereijken waar onbelichte cocktail-tomaten (Campari) worden geteeld. De besparing op de warmtevraag zal vooral plaatsvinden tijdens perioden met lage buitentemperaturen, wanneer CO₂-dosering geen knelpunt is. Hierdoor zal de mogelijkheid om CO₂ te doseren nauwelijks worden beperkt. Het luchtcirculatiesysteem kan, wanneer nodig, extra luchtbeweging realiseren. Omdat het kasklimaat beter kan worden beheerst is ook een meeropbrengst mogelijk.

1.1 Probleemstelling

Het behalen van deze doelen is sterk afhankelijk van de wijze waarop met het systeem wordt omgegaan en of het systeem werkt zoals het behoort te werken. De telers van Vereijken kwekerijen BV hebben nog geen ervaring met luchtbehandeling. Aangezien uit de praktijk is gebleken dat luchtbehandeling met buitenlucht onverwachte effecten kan geven zijn de volgende acties ingezet.

- a. het begeleiden van de teler bij de introductie van het systeem;
- b. het monitoren van de technische en teelttechnische prestaties van het systeem;
- c. verbeteringen van het systeem signaleren en implementeren;
- d. leveren van data voor vergelijking van het systeem met andere systemen.

1.2 Doelstellingen

Energiedoelstellingen

- Bijdrage aan energiedoelstelling – De verwachting is dat het systeem 10 m³/m² aan besparing op de warmtevraag kan leveren.
- Relevantie – Energieschermen om warmte binnen de kas te houden leveren vaak problemen met de vochthuishouding op. Als hoge RV leidt tot natslaan van het gewas liggen ziekten en fysiogene afwijkingen op de loer. Gecontroleerde buitenluchtaanvoer kan hier een oplossing voor bieden.
- Motieven en belemmeringen voor toepassing – Het gecontroleerd inblazen van buitenlucht geniet veel belangstelling omdat het op een relatief goedkope manier energiezuinig telen binnen bereik van een grotere groep telers brengt. Onbekendheid met het systeem, enkele negatieve praktijkervaringen en een (tijdelijk) verlaagde liquiditeit belemmeren de meeste telers om tot investering over te gaan.

Nevendoelstellingen

- Hogere productie door een beter beheersbare luchtvochtigheid.

1.3 Aanpak

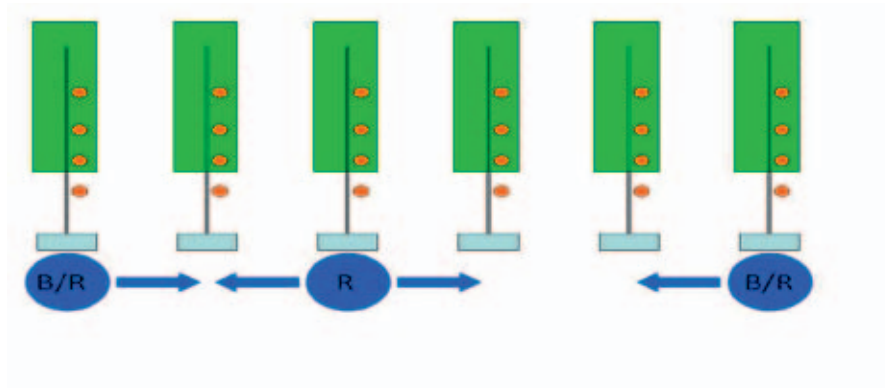
Gedurende een jaar zijn de klimaatgegevens verzameld en geanalyseerd. Tussentijds zijn de resultaten hiervan acht maal besproken tijdens bijeenkomsten op het bedrijf. Hierbij zijn aanwezig:

- Telers van Vereijken kwekerijen B.V.
- Onderzoekers van Wageningen UR Glastuinbouw B.V.
- Deskundigen van Cogas Zuid B.V., Climeco Engineering B.V. en Hoogendoorn automatisering B.V.

De verschillende onderwerpen die tijdens deze bijeenkomst zijn besproken, worden in dit rapport per thema behandeld.

2 CoVent G-systeem

CoVent-G is het luchtbehandelingssysteem dat bij Vereijken kwekerijen te Beek en Donk is geïnstalleerd. Bij deze installatie is bij iedere vijf teeltgoten een luchtslang geplaatst die $7,5 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{uur}$ verwarmde buitenlucht kan inblazen en/of kaslucht kan recirculeren vanaf de gevel. Daarnaast is er een extra luchtslang geplaatst die hier bovenop $7,5 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{uur}$ kaslucht kan recirculeren vanaf het middenpad. De plaatsing van de luchtslangen wordt weergegeven in Figuur 1. Onder iedere 5 teeltgoten hangt 1 luchtslang waarin buitenlucht en/of kaslucht vanaf de kopgevel wordt gebazen (LBK's) en 1 luchtslang waarvan alleen kaslucht vanaf het middenpad wordt geblazen (axiale ventilatoren). De lucht wordt horizontaal uitgeblazen. In Bijlage I zijn meer technische details van de luchtbehandelingskasten weergegeven.

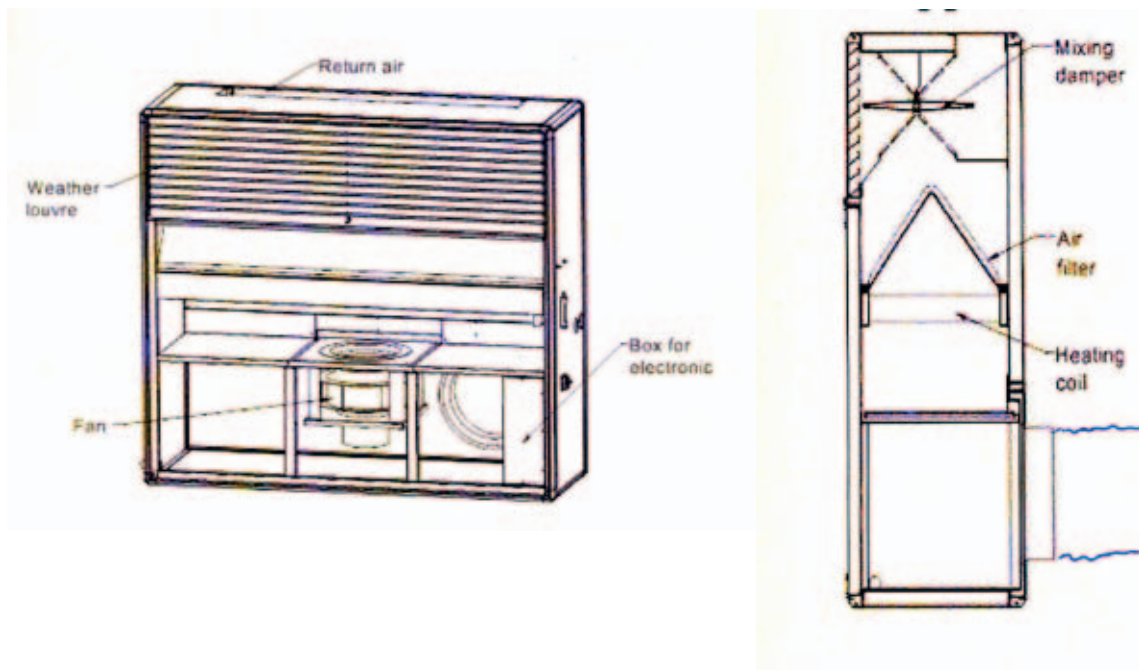


Figuur 1. Schematische verdeling van de luchtslangen onder de teeltgoten (R=recirculatie vanaf middenpad; B/R=buitenluchtinblaas+recirculatie vanaf gevel).

Doordat in de kas de luchtvochtigheid kan worden beheerst met het inblazen van buitenlucht kan intensiever worden geschermd.

2.1 Luchtbehandelingskasten (LBK)

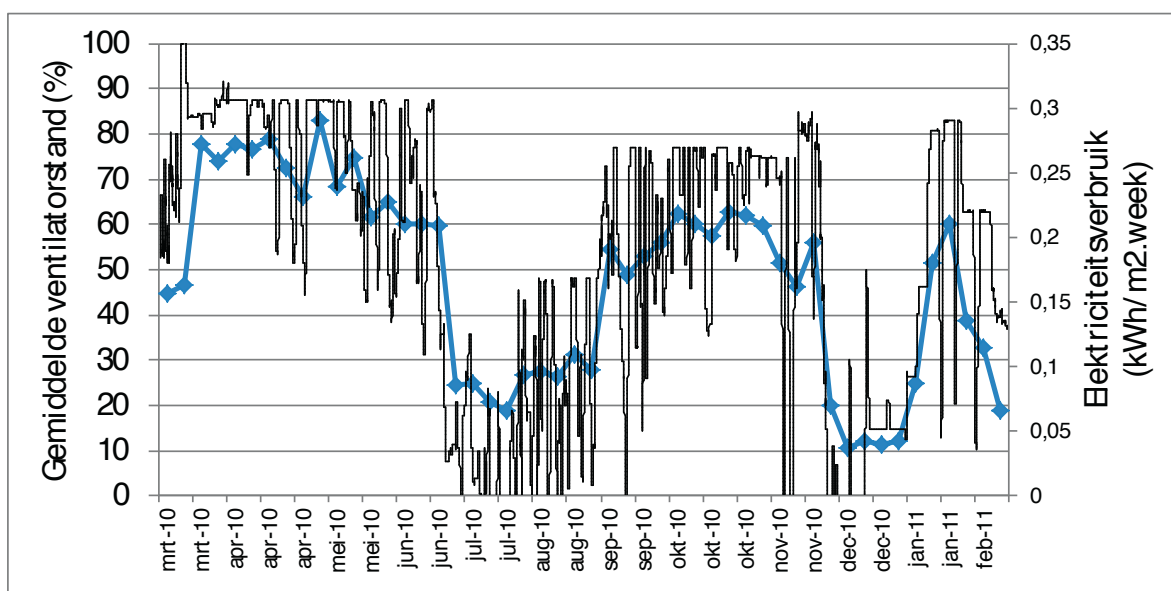
Figuur 1. geeft een schema weer van de LBK's. De LBK's zuigen maximaal $6000 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{uur}$ lucht aan voor een oppervlakte van 800 m^2 . Een mengklep bepaalt hoeveel kaslucht en hoeveel buitenlucht in de LBK wordt aangezogen. Deze lucht wordt gefilterd en kan worden verwarmd voordat het via de ventilator in de luchtslang wordt geblazen.



Figuur 2. Voor- en zijaanzicht van de luchtbehandelingskast (Bron: Cogas Zuid).

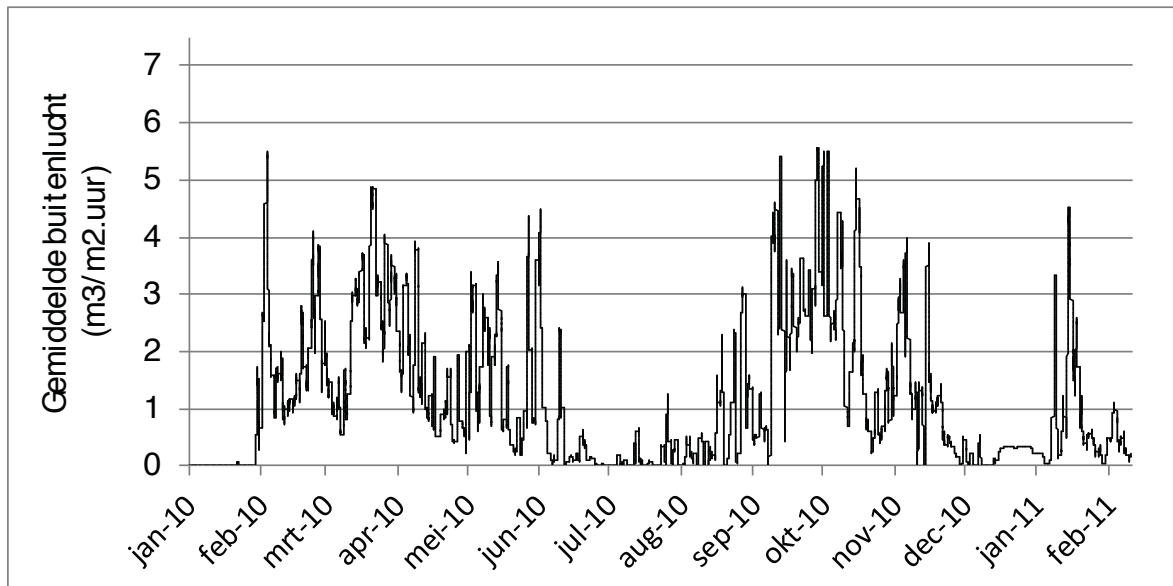
2.1.1 Inzet LBK's

De ventilatoren van de LBK's hebben niet altijd voluit gedraaid. Figuur 3. laat het verloop zien van de ventilatorstand en het elektriciteitsverbruik van de LBK's. Opvallend is, dat de LBK's in de zomerperiode nauwelijks hebben gedraaid. In deze periode werd vooral buitenlucht via de luchtramen aangevoerd en eventueel met de energiezuiniger axiaal-ventilatoren vanaf het middenpad onder het gewas geblazen. Ook valt op dat de ventilatorstand in het najaar lager is dan in het voorjaar. Dit is mede veroorzaakt doordat in juni de aansluiting op de luchtslangen is aangepast en er minder drukverlies optrad (zie paragraaf 2.1.2).



Figuur 3. Verloop van de gemiddelde ventilatorstand (%; zwarte lijn) per etmaal van de LBK's en het elektriciteitsverbruik (kWh/m².week; blauwe lijn) van de ventilatoren.

Door de ventilatorstand en de klepstand met elkaar te vermenigvuldigen wordt in Figuur 4. een schatting weergegeven van het verloop van de hoeveelheid buitenlucht die wordt ingezogen. Hierbij moet worden aangetekend dat de werkelijke hoeveelheid aangezogen buitenlucht in werkelijkheid niet volledig lineair loopt met de klepstand en de ventilatorstand. Uit Figuur 4. blijkt dat met name in april en oktober veel buitenlucht is ingeblazen. Bij lagere buitentemperaturen in de winter is niet zo veel buitenlucht nodig voor de ontvochtiging en bij hogere buitentemperaturen in de zomer is zo veel buitenlucht nodig, dat dit ook goed met de luchtramen kan worden geregeld.



Figuur 4. Verloop van de etmaalgemiddelden van de hoeveelheid aangezogen buitenlucht ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{uur}$) via de LBK's.

2.1.2 Luchtweerstand

De prestatie van de ventilator is sterk afhankelijk van het drukverlies dat optreedt in de LBK en de luchtslang. In eerste instantie bleek er tijdens vollast een groot drukverval ($\pm 100 \text{ Pa}$) te bestaan bij de verbinding tussen LBK en luchtslang vanwege de combinatie van een vernauwing en een bocht in de verbinding. Deze verbinding is door de installateur in juni vervangen, zodat de rest van het jaar met een lager elektriciteitsverbruik kan worden ontvochtigd.

Ook het luchtfilter blijkt weerstand te geven. Dat is te zien aan de drukmeter die op iedere LBK is geplaatst. Na 2800 draaiuren blijkt het drukverval bij de filters te zijn opgelopen naar gemiddeld 50 Pa . Aangezien het vervangen van alle filters ongeveer € 800,- kost, is berekend dat de filters iedere 4600 draaiuren moeten worden vervangen om de kosten van vervanging gelijk te maken aan de extra kosten van het extra elektriciteitsverbruik. Bij Vereijken kwekerijen is echter gekozen voor een frequentere vervanging.

2.2 Schermen

De isolatie gebeurt met twee onafhankelijke scherminstallaties waarin de doeken XLS10 en XLS17 (zie Tabel 1.) zijn bevestigd.

Tabel 1. Specificaties schermen.

	plaatsing	directe lichttransmissie	diffuse lichttransmissie	energiebesparing
SLS 10	onder	88%	81%	43%
XLS 10	onder	85%	78%	47%
XLS 17	boven	25%	24%	67%

Het dubbele energiescherm blijkt minder goed te isoleren dan de specificaties van Tabel 1. De k-waarde¹ bij twee gesloten schermen varieert van 1,5 tot 3,2 W/m².K (zie Bijlage II), terwijl die bij een kas zonder scherm 7 tot 8 W/m².K zou zijn. De energiebesparing van de schermen is dus niet altijd gelijk aan de 81% die ze volgens de specificaties samen zouden moeten besparen.

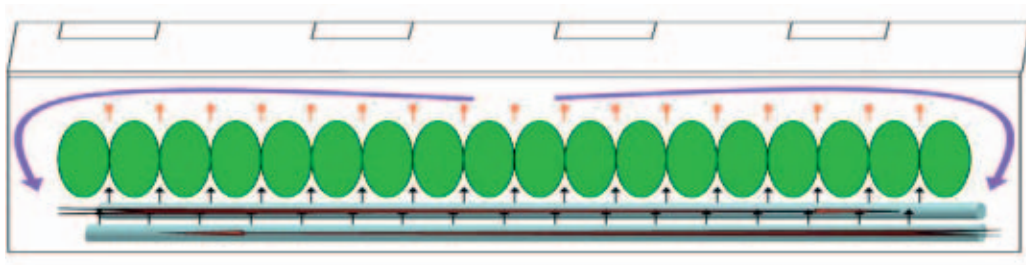
2.2.1 Mogelijke oorzaken van hoog warmteverlies

Voor het, ondanks intensief schermen, toch nog hoge warmteverlies zijn verschillende oorzaken te benoemen:

1. Een belangrijk deel van het energieverlies ligt in de gewasverdamping. Bij een gewasverdamping van 20 g/m².uur is de verdampingsenergie 13 W/m². Een scherm kan de verdamping verlagen doordat er minder hoeft te worden gestookt. Door de sterke ontvochtigingscapaciteit van de luchtbehandelingskasten is het mogelijk dat de verdamping alsnog onder het scherm wordt versterkt door de luchtbeweging langs het gewas en een relatief lage RV in de kas.
2. XLS10 doek is gemaakt van polyester bandjes. Dit laat weliswaar minder warmtestraling door dan PE (39% tov 80% [Bloem *et al.*, 2000]), maar laat toch wel enige warmtestraling door. In Bijlage III staat een meting bij Vereijken kwekerijen beschreven met een IR-meter. Hieruit blijkt dat het XLS10-schermdoek inderdaad een aanzienlijke hoeveelheid warmtestraling doorlaat. Bij een kasdek van 0 °C en een gewas temperatuur van 18 °C zal de warmtestraling door het scherm 36 W/m² zijn. Een nat scherm houdt warmtestraling beter tegen en kan daardoor meer energie besparen.
3. De hoeveelheid warmte die via koudebruggen langs de tralies en kaspoten verdwijnt is relatief laag. De tralies en kaspoten zijn namelijk niet veel kouder dan het onderste scherm (zie Bijlage III).
4. De luchtbeweging onder het scherm kan de warmteconvectie naar het scherm vergroten. Zowel met de LBK als de axiaalventilator kan 6000 m³/uur worden ingeblazen in een tralie van 8 meter (zie Figuur 5.). Als de terugkomende luchtstroom over een hoogte van 1 meter wordt aangezogen dan is de lichtsnelheid in de buurt van de gevel en het middenpad $6000/8/1/3600=0,20$ m/s. Bij een temperatuurverschil tussen kaslucht en scherm van 8 °C kan hiermee de convectie worden verhoogd met ongeveer 4 W/m².
5. Warmteverlies door de transportleidingen. Deze transportleidingen worden namelijk op een hoge temperatuur gehouden (± 90 °C). Het verlies wordt geschat op 0,5 W/m² kas.

De belangrijkste oorzaken van een lagere energiebesparing van de schermen lijken hier dus vooral te liggen in de hoge ontvochtiging: de verdamping wordt erdoor gestimuleerd en de geringe hoeveelheid condens op de schermen laten te veel warmtestraling door.

1 De k-Waarde is hier gedefinieerd als het warmtegebruik (W/m²) gedeeld door het temperatuurverschil tussen kaslucht en buitenlucht. De k-Waarde kan variëren bij wijziging in windsnelheid, uitstraling, gewasverdamping, raamstand of schermstand.



Figuur 5. Luchtbeweging in de kas als zowel de LBK als de axiaalventilator draait.

2.2.2 Temperatuur rond de schermen

Van 22 december 2010 tot begin februari 2011 zijn draadloze sensoren opgehangen tussen en boven de twee schermen. Hieruit blijkt bij een hoge uitstraling de temperatuur boven het scherm vrijwel gelijk komt te liggen aan de buitentemperatuur. Blijkbaar ligt de temperatuur van het kasdek dan vanwege de uitstraling lager dan de buitentemperatuur. Bij een bewolkte hemel blijkt de temperatuur boven het scherm enkele graden boven de buitentemperatuur te liggen. Twee voorbeelden worden weergegeven in Tabel 2.

Tabel 2. Twee voorbeelden van temperatuur rond de schermen.

Datum		27 december 4:00 uur	11 januari 4:00 uur
Hemel		Bewolkte hemel	Heldere hemel
Uitstraling pyrgometer	W/m ²	6	75
Windsnelheid	m/s	2,8	2,9
Ventilatorstand LBK	%	15%	90%
Buitentemperatuur	°C	-0,5	-0,9
Temperatuur boven scherm	°C	3,7	-0,8
Temperatuur tussen schermen	°C	9,5	6,0
Kastemperatuur	°C	13,0	10,5
Verschil buiten/boven	°C	4,2	0,1
Verschil boven/tussen	°C	5,8	6,8
Verschil tussen/kas	°C	3,5	4,5

Het temperatuurverschil boven en tussen de schermen is altijd hoger dan het temperatuurverschil van de lucht tussen de schermen en de kaslucht. Dit is waarschijnlijk veroorzaakt doordat het bovenste schermdeuk (XLS17) beter isoleert dan het onderste schermdeuk (XLS10). De luchtbeweging in de kas kan het energiebesparende effect van onderste scherm iets verder hebben verlaagd, maar op 27 december geeft het onderste scherm met 15% ventilatorstand geen zichtbaar betere isolatie dan op 11 januari met 90% ventilatorstand.

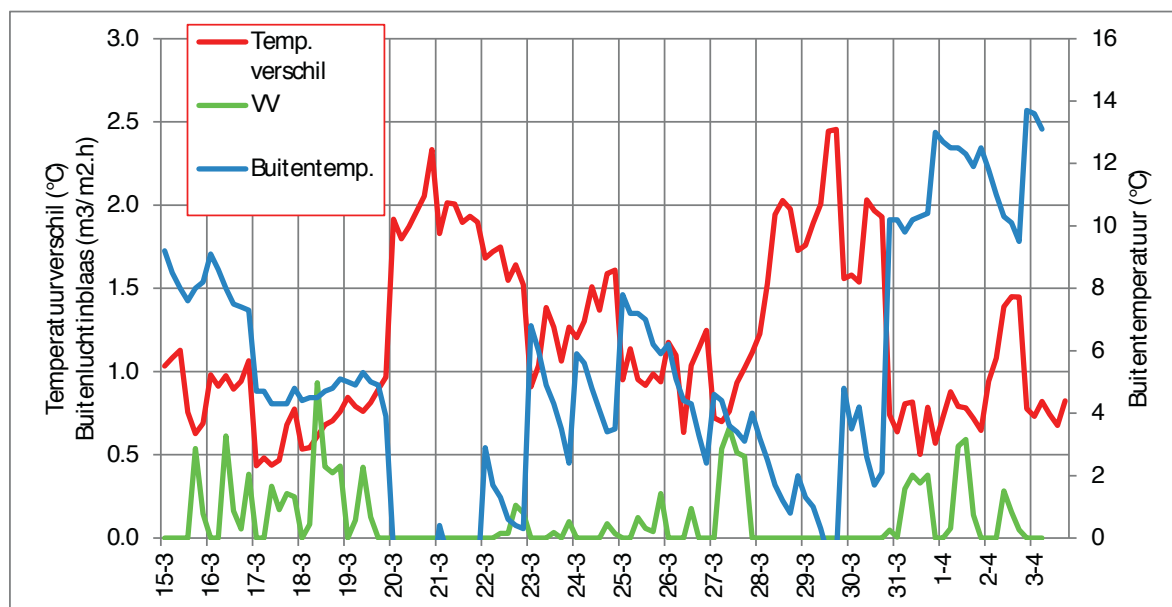
2.3 Horizontale temperatuurverdeling

Ten behoeve van de toekenning van Groenlabelkas-certificatie is in februari/maart 2010 een meting uitgevoerd van de temperatuurverdeling. Hieruit bleek dat de temperatuurverdeling zeer goed was. Alleen langs de kopgevel en het middenpad, waar kaslucht wordt aangezogen (zie Figuur 5.), bleek de temperatuur vaak iets lager te zijn.

Deze goede temperatuurverdeling wordt over het algemeen toegekend aan een goede gevelisolatie in combinatie met gevelverwarming, een goede sluiting van de schermen en de luchtramen, maar ook aan de overdruk in de kas. Daarom zijn in december 2010 opnieuw draadloze temperatuursensoren (SOWNet) opgehangen. Ook bij deze meting bleek de temperatuurverdeling zeer goed te zijn: gedurende 1 maand was het gemiddelde temperatuurverschil tussen de hoogste en de laagste temperatuurmeter minder dan 1 °C. Dit wil niet zeggen dat de temperatuurverschillen op alle momenten gelijk waren, maar wel dat de temperatuurverdeling niet structureel ongelijk is. Enige temperatuurverschillen bleken vooral op te treden door invloed van de laag staande zon die een gevel verwarmde, en op de momenten dat het scherm werd opengetrokken. Een enkele keer is een kleine schermkier aangehouden (bijv. 3 februari), wat ook heeft geleid tot een lagere temperatuur aan de kopgevels.

In maart 2011 heeft Vereijken kwekerijen zelf een set van 25 draadloze sensoren (Wisensys) aangeschaft om de horizontale temperatuurverdeling te blijven volgen. Een analyse van deze gegevens bij verschillende instellingen van de LBK's geeft aan dat de horizontale temperatuurverdeling egaler wordt op de momenten dat buitenlucht wordt ingeblazen.

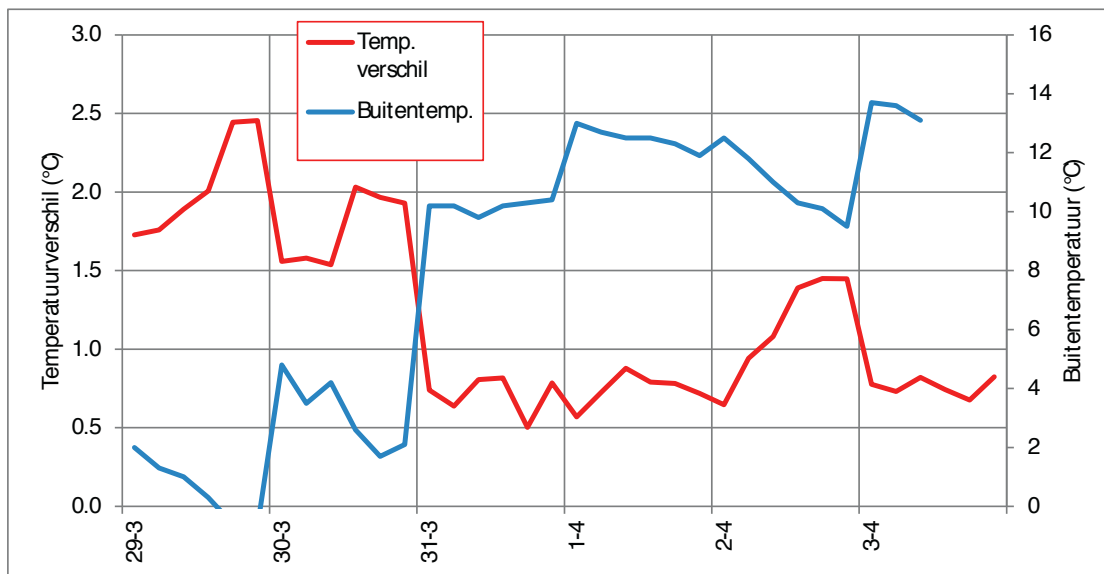
In Figuur 6. is het verloop weergegeven van de hoeveelheid buitenluchtaanruiging, de buitentemperatuur en het verschil tussen de op 2 na warmste en de op 2 na koudste sensor in de kas. De 2 koudste en de 2 warmste Wisensys sensoren worden hiermee genegeerd, zodat de sterkst afwijkende sensoren geen invloed hebben op de meting. Uit Figuur 6. blijkt dat de temperatuurverschillen zowel gecorreleerd zijn met de buitentemperatuur als met de hoeveelheid ingeblazen buitenlucht.



Figuur 6. Buitentemperatuur, buitenluchtaanruiging (VV) en temperatuurverschil tussen de Wisensys-sensoren gedurende 20 nachten.

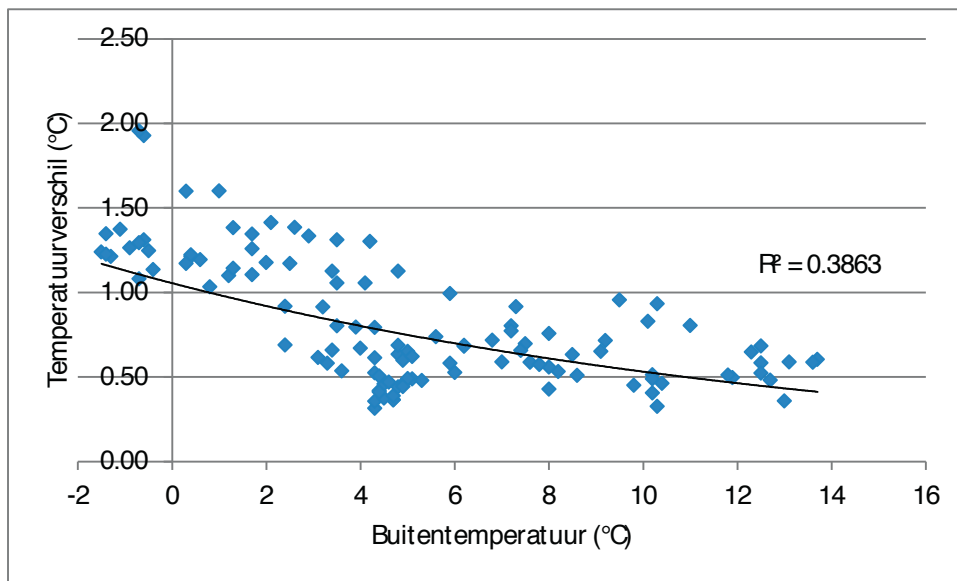
In de week van 28 maart tot 2 april zijn handmatig enkele wijzigingen aangebracht in de manier van lucht inblazen en recirculeren met de axiale ventilatoren. De nacht/ochtend van 29 maart en 30 maart stonden de LBK's uit. Hierbij zijn temperatuurverschillen ontstaan van 1,5 tot 2,5 °C (zie Figuur 7.). Dit is iets meer dan in een vergelijkbare koude periode rond 22 maart (zie Figuur 6.). Rond 22 maart is overigens ook nauwelijks buitenlucht ingeblazen, dus het is moeilijk te zeggen of de matige temperatuurverdeling is veroorzaakt door een lage hoeveelheid ingeblazen buitenlucht (en dus lage overdruk) of door de lage buitentemperatuur.

In de nacht/ochtend van 31 maart zijn de LBK's aangezet en de axiale ventilatoren uit. Tegelijkertijd steeg de buitentemperatuur van 3 naar 10 °C. Het gevolg was dat de horizontale temperatuurverdeling veel beter werd. De twee dagen daarna werden de axiale ventilatoren weer aangezet en werd de helft van het aantal LBK's stilgezet. Tevens bleef het bovenste scherm wegens de hoge buitentemperatuur open. Dit gaf nauwelijks verslechtering van de horizontale temperatuurverdeling.



Figuur 7. Buitentemperatuur en temperatuurverschil tussen de Wisensys-sensoren gedurende 5 nachten met verschillende handmatige instellingswijzigingen.

In Figuur 8. is het horizontale temperatuurverschil gedurende 20 nachten uitgezet tegen de buitentemperatuur. Hieruit blijkt een sterk negatief verband tussen beide eenheden te bestaan.



Figuur 8. Temperatuurverschil Wisensys-sensoren in de nacht afhankelijk van buitentemperatuur.

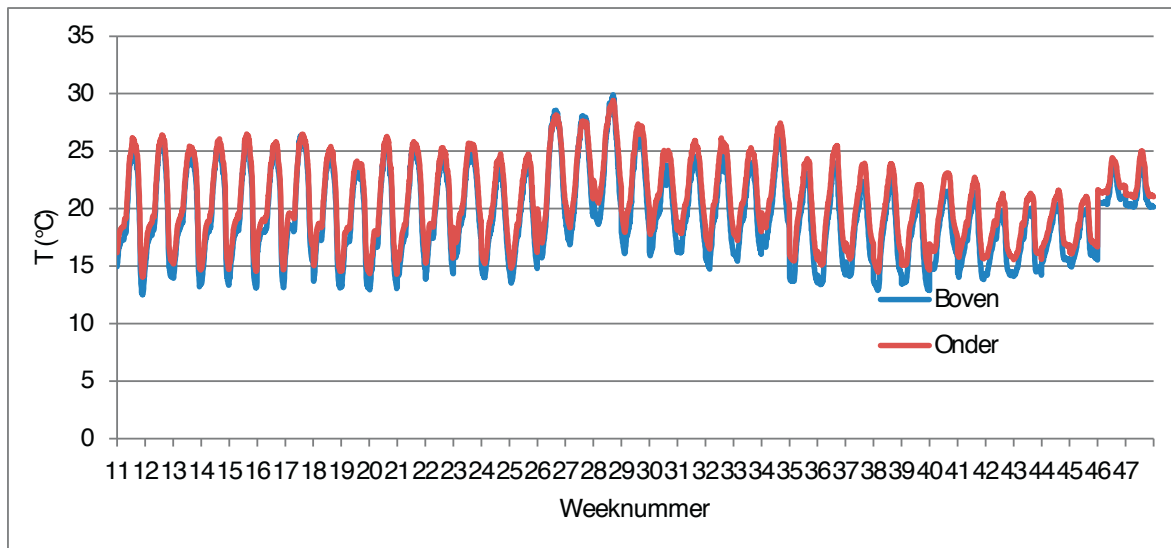
2.4 Verticale temperatuurverdeling

Bij de kop van het gewas en bij de afrijpende vruchten zijn twee meetpalen geplaatst om te onderzoeken in hoeverre de verticale temperatuurverdeling is beïnvloed. Er is gemeten van 5 maart tot en met 22 november. De gemiddelde waarden over deze periode zijn weergegeven in Tabel 3. Uit de tabel blijkt nogmaals dat het verschil tussen de twee meetpalen zeer klein is. De bladtemperatuur is overdag 0,25 °C lager en 's nachts 0,65 °C lager dan de kasttemperatuur bovenin. Onderin is de kasttemperatuur gemiddeld 1,3 °C hoger dan bovenin. Dit kan positief zijn voor de uitgroei duur, en kan ook leiden tot een lage plantbelasting.

Tabel 3. Gemiddelde temperatuur bij de meetpalen van maart tot november.

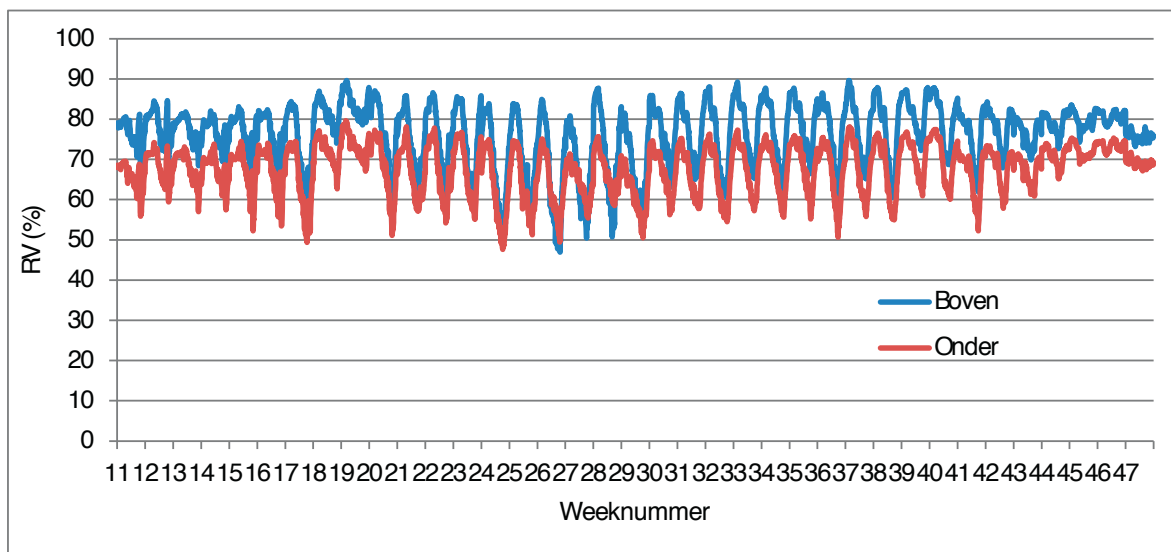
	etmaal		nacht		overdag	
	voor	achter	voor	achter	voor	achter
blad	17,4	17,3	15,7	15,6	19,8	19,6
boven	17,9	17,8	16,3	16,3	20,0	19,9
onder	19,2	19,1	17,7	17,6	21,3	21,2
substraat	18,9	18,6	17,8	17,5	20,3	20,1

In Figuur 9. is het verloop weergegeven van de kasttemperaturen boven en onder als cyclische etmaalgemiddelde van week 11 tot en met week 48. Ook hier is te zien dat de blauwe lijn (boven) lager ligt dan de rode lijn (onder).



Figuur 9. Verloop van de kasttemperatuur onder en boven.

Figuur 10. laat zien dat de RV onder veel lager blijft dan de RV bovenin. Op de RV bovenin wordt de ontvochtiging geregeld, maar doordat van onderen uit droge lucht wordt aangevoerd en het onderin ook nog warmer is (zie Figuur 9.), zakt de RV onderin ver weg. Mogelijk is hier meer ontvochtigd dan noodzakelijk.



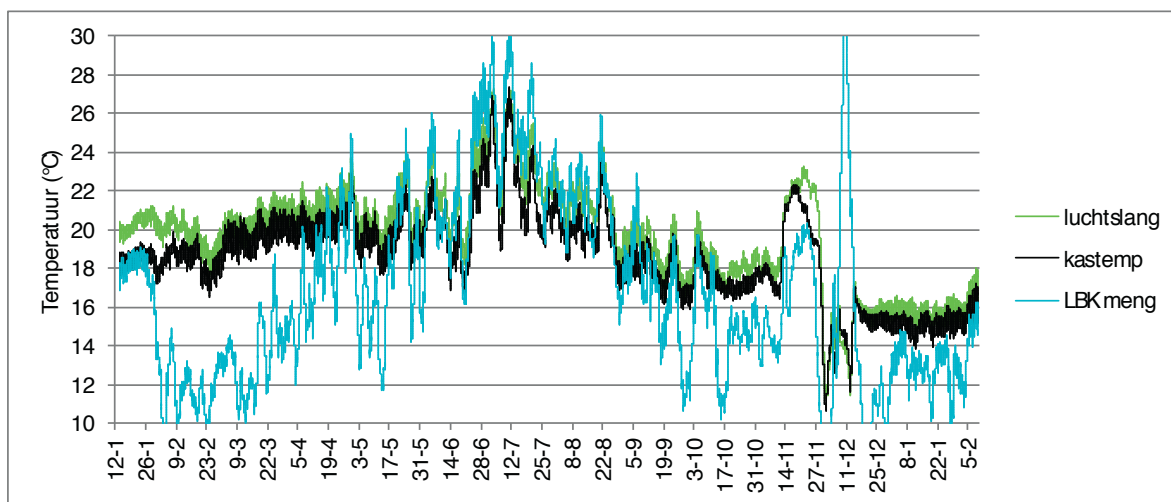
Figuur 10. Verloop van de RV onder en boven.

3 Energiegebruik

3.1 Metingen en berekeningen

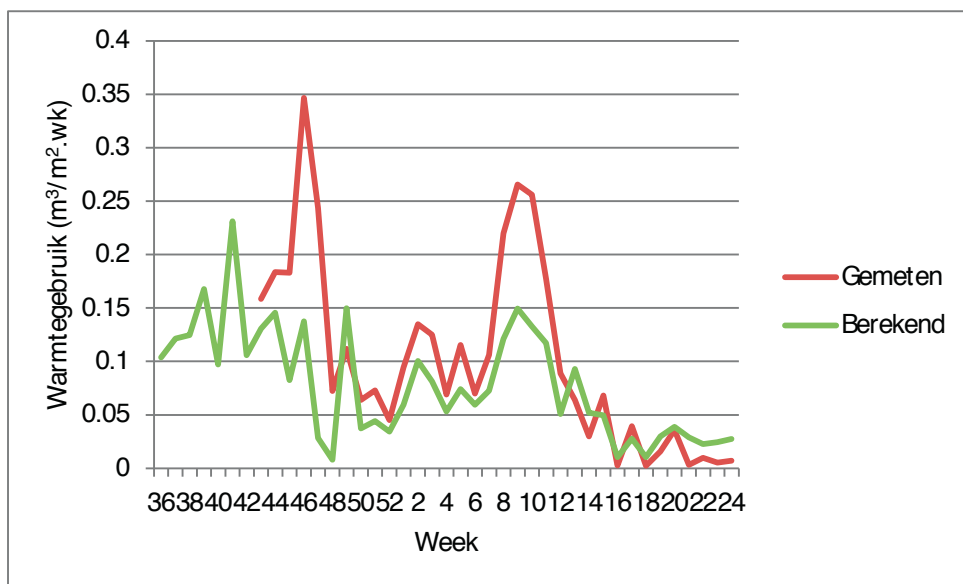
In Figuur 11. wordt het verloop weergegeven van de temperatuur in de kas, de mengkamer van de LBK en de luchtslang. Het verschil tussen de mengtemperatuur en de uitgeblazen temperatuur in de luchtslang is een indicatie voor de mate van ontvochtiging en ook voor de hoeveelheid warmte die nodig is voor de LBK. Hierbij dient rekening te worden gehouden met de ventilatorstand. Zo blijkt begin december 2010 een zeer hoge mengtemperatuur in de kas te zijn gerealiseerd terwijl de ventilatoren niet draaiden. De warmte-afgifte was op dat moment gering.

Het warmtegebruik van de LBK's (warme spiraal) is berekend aan de hand van de ventilatorstand en het verschil tussen de mengtemperatuur en de uitgeblazen temperatuur.



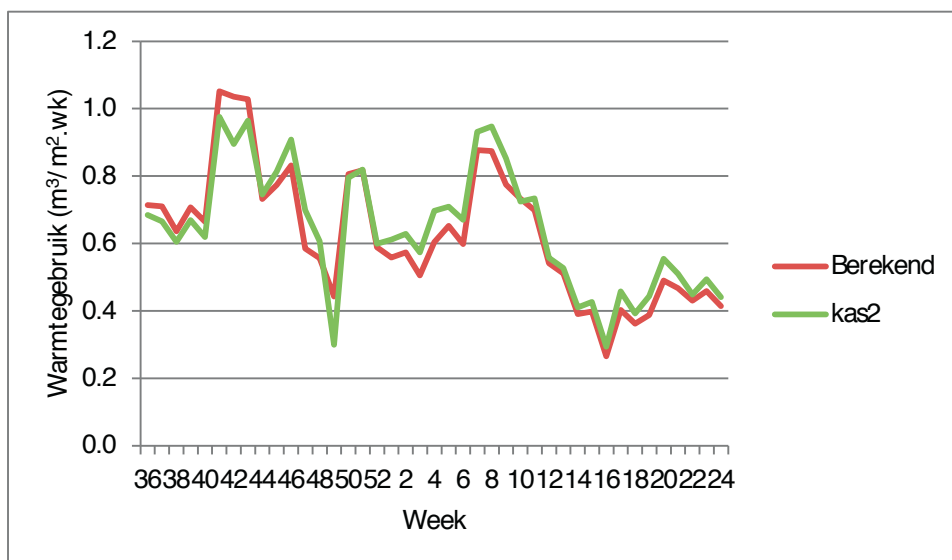
Figuur 11. Verloop van de temperatuur (°C) in LBK (gemengd kaslucht en buitenlucht), de luchtslang en van de kaslucht.

Het berekende warmtegebruik van de LBK's is vergeleken met de warmtemeters die aan de LBK's zijn bevestigd. Uit Figuur 12. blijkt dat op sommige momenten (bijv. week 46 en weken 8-10) veel hoger is dan de berekende warmtevraag. Dit geeft aan dat de berekening van de warmtevraag van de LBK's op deze wijze niet betrouwbaar is. Misschien vindt bij sommige ventilator- of klepstanden onvoldoende menging plaats in de mengkamer om een representatieve temperatuurmeting te doen.



Figuur 12. Gemeten en berekend warmtegebruik ($\text{m}^3/\text{m}^2.\text{wk}$) van de LBK's in 2010-2011.

Door de buistemperaturen en de kastemperaturen met elkaar te vergelijken kan ieder moment worden berekend hoeveel warmte door de buizen wordt afgegeven. Omdat deze berekeningen niet helemaal werden vertrouwd en in de CoVent-G-kas bovendien warmte nodig is voor de LBK's, zijn twee warmtemeters geplaatst die respectievelijk de helft van de belichte kas (kas 1) en de helft van de CoVent-G-kas (kas 2) kunnen meten. Tezamen geven zij dus de helft van de warmteproductie op het gehele bedrijf. De resultaten van de metingen voor kas 2 zijn weergegeven in Figuur 13. De warmtemeter van kas 2 is daarin vergeleken met het berekende warmtegebruik. Het berekende warmtegebruik is de som van de berekende afgifte van de buizen (groeibuis en buisrail) in de kas en de berekende opwarming van de lucht in de LBK's. De beschouwde periode van Figuur 13. bevat een teeltwisseling begin december, waarin weinig gestookt is. Alleen na 5 december moest veel sneeuw van het dek worden gestookt, zodat met een lege kas nog steeds veel warmte nodig was.



Figuur 13. Gemeten en berekend warmtegebruik in kas 2

Het berekende warmtegebruik blijkt in Figuur 13. tot week 44 gemiddeld 7% hoger te zijn dan het gemeten warmtegebruik, terwijl het berekende warmtegebruik daarna gemiddeld 7% lager was.

De kleine verschillen tussen de berekening en de meting kunnen zijn veroorzaakt door:

1. het warmteverlies in de transportleidingen
2. gevelverwarming
3. een verhoogde warmteafgifte door geforceerde luchtbeweging langs de buizen

De transportverliezen en de gevelverwarming zijn verdisconteerd in de berekende warmte-afgifte van de buizen, en kunnen daarmee een afwijking naar boven of beneden geven. Door geforceerde luchtbeweging zou de berekende warmte-afgifte lager kunnen uitkomen dan de gemeten warmte-afgifte. Per saldo blijkt dat de berekende en de gemeten waarden toch vrij goed overeenkomen.

3.2 Warmtegebruik

De warmtemeters zijn in gebruik sinds week 36 van 2010. Per week 24 van 2011 zijn ze dus nog geen heel jaar in gebruik. Door extrapolatie van de meetwaarden over de resterende 11 weken zijn de warmtegebruiken van weergegeven in Tabel 4.

Tabel 4. Warmtegebruik zoals gemeten met de warmtemeters.

	Warmtegebruik (m ³ /m ² .jaar ae)
Kas 2 totaal	32,6
Kas 2 LBK	3,6
Kas 2 totaal - LBK	29,0

Het warmtegebruik is hiermee zeer laag gebleven. Zeker gezien de referentie die van tevoren gesteld is op 45 m³/m².jaar. Niet alle besparing kan echter worden toegewezen aan Het Nieuwe Telen. Door de relatief donkere januarimaand bleek het lichtgevoelige ras Annamay in kas 2 moeilijk te gaan zetten en moest een zeer lage (15-16 °C) etmaaltemperatuur worden aangehouden om de assimilatenbalans intact te houden.

3.3 Elektriciteitsverbruik

De elektriciteit die gebruikt is voor de ventilatoren van de LBK's en die van de axiale ventilatoren wordt in 2010 geschat op 7 kWh/m². Dit is hoog te noemen, aangezien de gemiddelde ventilatorstand van de LBK's slechts 50% is geweest. Het eerste deel van het jaar is echter met een hoge weerstand gewerkt, wat veel elektriciteit heeft gekost. Voor 2011 wordt met een nog lagere ventilatorstand gewerkt en wordt ook een lager elektriciteitsverbruik verwacht.

4 Teelt

De teelt is in dit eerste jaar slechts in geringe mate gemonitord. In de teelt zijn dan ook weinig bijzonderheden gevonden. De productie is weliswaar minder hoog dan verwacht, maar dat heeft meer te maken met onbekendheid met het ras dan met het teeltsysteem. Ook zijn er geen aanwijzingen dat de gele stengels in het najaar zijn te wijten aan Het Nieuwe Telen. Wel kan een link worden gelegd tussen het teeltsysteem en de egale horizontale temperatuurverdeling en de daarmee gepaard gaande egale teelt in de kas.

Ook het wegblijven van stengelbotrytis mag worden geweten aan de beheersing van de luchtvochtigheid in de kas. Bladrandjes kwamen wel voor, maar hebben niet tot problemen geleid.

De vertraagde uitgroei, een veel gehoorde klacht bij Het Nieuwe Telen voor vruchtgroenten, is niet geregistreerd. Overigens is een eventueel vertraagde uitgroeiduur deels verminderd door het gebruik van de groeibuis, die bij de afrijpende vruchten voor een hogere temperatuur heeft gezorgd (zie paragraaf 2.4)

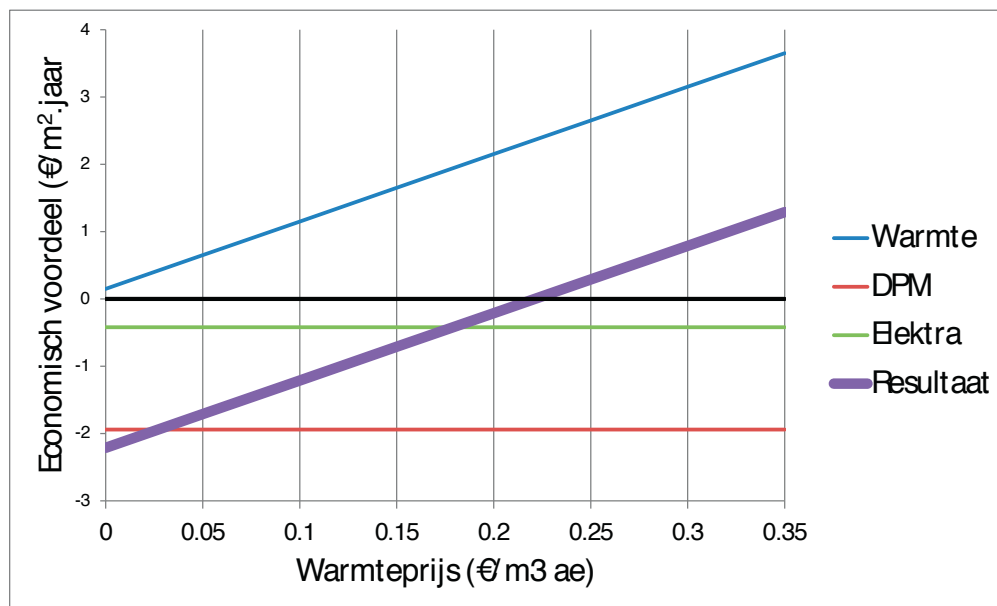
5 Economische evaluatie

Het economische rendement van investeringen in Het Nieuwe Telen is afhankelijk van vele factoren. De belangrijkste zijn:

1. De investeringsprijs
2. Eventuele subsidies
3. Besparing op de warmtevraag
4. Verlaging van het piekverbruik warmte
5. Verhoging van het elektriciteitsverbruik
6. Energieprijzen.
7. Productieverbetering.

Een simpel rekenmodel, dat via verschillende sites is te downloaden², laat zien dat een investering³ van 17 €/m² met een MEI-subsidie van 40%, die 10 m³/m².jaar bespaart, 7 kWh/m².jaar aan extra elektriciteit vraagt, het piekverbruik verlaagt met 10 m³/ha.uur, in 7 jaar wordt terugverdiend bij een warmteprijs⁴ van 0,22 €/m³ ae en een elektriciteitsprijs van 0,06 €/kWh.

In Figuur 14. zijn de vermeden warmtekosten bij 10 m³/m² besparing en 10 m³/ha.uur minder piekverbruik weergegeven als functie van de warmteprijs. Door hiervan de investeringskosten (DPM) en de elektriciteitskosten af te trekken wordt het resultaat berekend. Hieruit blijkt dat het resultaat positief is boven een warmteprijs van 0,22 €/m³ ae.



Figuur 14. Weergave van de vermeden warmtekosten als functie van de warmteprijs, de dpm-kosten, de elektrakosten en het hieruit volgende resultaat van HNT ten opzichte van een referentieteeelt.

² o.a. via www.groeiservice.nl en www.tomatennet.nl

³ Bij de investeringsprijs van 17 €/m² is geen rekening gehouden met een minderinvestering in de WKK. Doordat ±25% minder energie nodig is en het piekverbruik ook lager is, zou met een ±25% kleinere WKK kunnen worden volstaan. Dit zou de investering bij nieuwbouw kunnen verlagen met ongeveer 1 €/m².

⁴ De warmteprijs is hier gesteld als de prijs 1 m³ aardgas in een verwarmingsketel te verbranden om 31 MJ aan warmte te verkrijgen. Deze hoeft in de praktijk niet gelijk te zijn aan de gasprijs. Bij een hoge sparkspread kan een WKK namelijk voordeliger warmte leveren dan een verwarmingsketel.

Hierbij is geen rekening gehouden met verandering van de productie. Aangezien bij gebrek aan referentie niet is bepaald of Het Nieuwe Telen met de geringe Botrytis-aantasting ook daadwerkelijk een hogere productie heeft behaald, kan hier dan ook alleen een indicatie over de impact van meerproductie worden gegeven:

Als 1 kg meerproductie ongeveer € 0,60 oplevert, dan is Het Nieuwe Telen zoals hierboven berekend al rendabel bij een warmteprijs van 0,16 ipv 0,22 €/m³ ae.

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

Met Het Nieuwe Telen is bij Vereijken een forse energiebesparing bereikt. Uitgaande van de warmtemeters is het verbruik in de CoVent-G-kas $32.6 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{jaar}$, hetgeen meer dan 10 m^3 lager is dan de van tevoren gestelde referentie van $45 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{jaar}$.

De energiebesparing heeft, gezien de lage Botrytisdruk, niet geleid tot vochtproblemen, maar heeft de problemen zelfs voorkomen. Of het systeem ook heeft geleid tot een hogere productie, is niet aangetoond door gebrek aan een geschikte referentie.

Het Nieuwe Telen, zoals dat is uitgevoerd bij Vereijken, is economisch pas haalbaar bij een hoge prijs voor warmte. Als indicatie hiervoor wordt hier een warmteprijs gegeven van meer dan $0,22 \text{ €/m}^3$ aardgasequivalent. Hierbij is rekening gehouden met een MEI-subsidie van 40% op de investering. Indien het systeem ook leidt tot meer productie, een betere kwaliteit en/of besparing van arbeid, kan het ook bij een lagere warmteprijs economisch rendabel zijn.

Hoewel de oorzaak van de goede horizontale temperatuurverdeling vaak wordt toegeschreven aan de overdruk in de kas, is dat niet aangetoond tijdens de paar dagen dat de buitenluchtaanzuiging bij wijze van test is uitgezet. Het verschil tussen buitentemperatuur en kastemperatuur heeft een dermate grote invloed op de horizontale temperatuurverschillen, dat de invloed van overdruk daarbij niet is gemeten. Wel is aannemelijk dat overdruk bij een lekke kas tot minder kouval leidt.

De energieschermen blijken samen in gesloten toestand het warmtegebruik niet met de berekende 81% te verlagen. De belangrijkste oorzaak daarvan wordt vermoed in de luchtbeweging die nodig is om de gewasverdamping te stimuleren. De gewasverdamping zelf zorgt 's nachts al voor minstens 13 W/m^2 energieverlies. Daar bovenop geeft de luchtbeweging meer convectieverlies langs de schermen en laten de (o.a. door luchtbeweging) droge dubbele schermen meer stralingswarmte door dan natte enkele schermen.

Het warmtegebruik van buisverwarming geeft een redelijke schatting van het werkelijke warmtegebruik. In het najaar gaf het een 7% overschatting en in de winter en het voorjaar een 7% onderschatting van het werkelijke warmtegebruik.

6.2 Aanbevelingen

Bij Vereijken is in eerste instantie voorzichtig begonnen met Het Nieuwe Telen en werd met een aanvankelijk hoog gebruik van warmte en ventilatoren geteeld om een lage luchtvochtigheid te verkrijgen. Vervolgens is langzamerhand steeds minder gebruik gemaakt van de (recirculatie)ventilatoren en is ook het warmtegebruik steeds lager geworden, zonder dat dit problemen gaf met Botrytis. Dit geeft aan dat de grenzen nog niet bereikt zijn en dat er nog meer besparing mogelijk is. Door het hanteren van een hogere luchtvochtigheid zal de gewasverdamping lager worden en zal meer condens op de energieschermen blijven. Beide effecten zullen het warmtegebruik verder doen verlagen. Meer kennis over de invloed van de luchtvochtigheid en gewasverdamping op de gewasontwikkeling is nodig om tot verdere energiebesparing te komen zonder risico op productiederving.

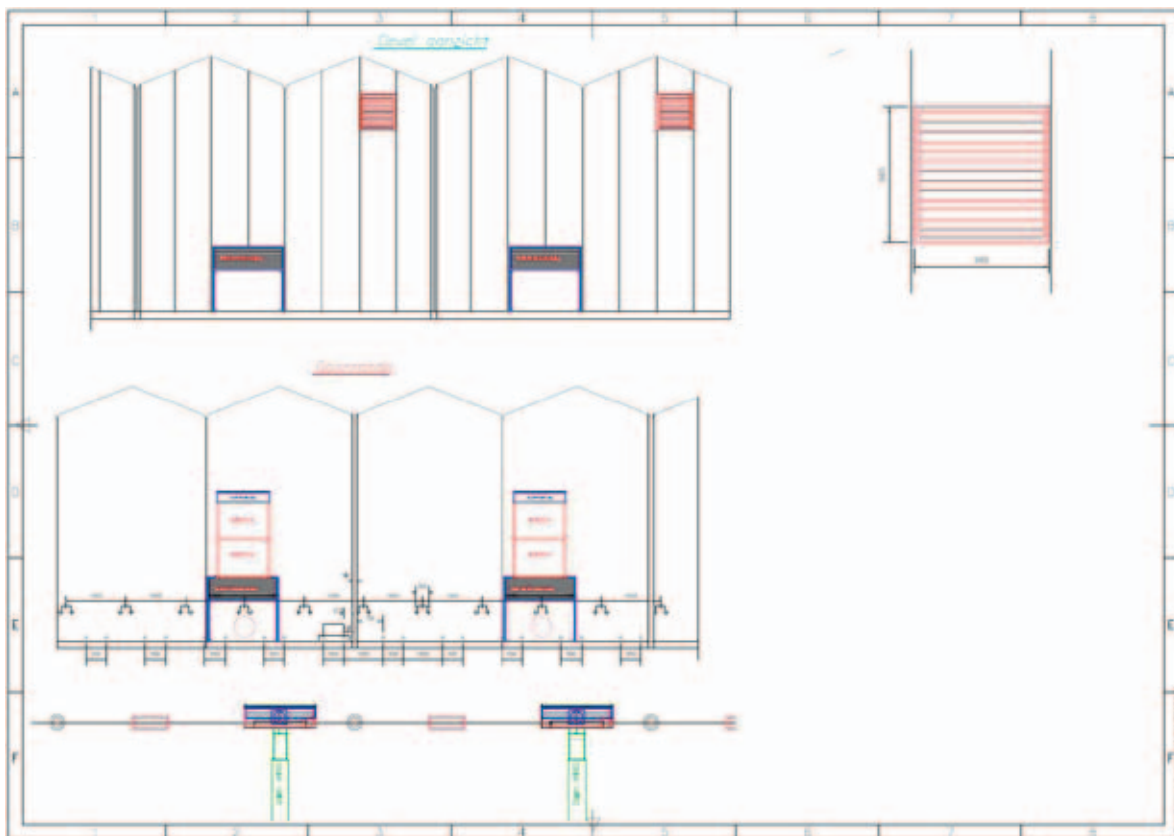
Het maximale vermogen waarmee buitenlucht kan worden ingeblazen ($7,5 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{uur}$), is zelden gebruikt. Indien veel buitenlucht nodig is voor het afvoeren van vocht, kan voor de beperking van het elektriciteitsverbruik beter gebruik worden gemaakt van de luchtramen.

De filters die zijn aangebracht in de LBK's van het CoVent-G-systeem dienen minstens iedere 4600 draaiuren te worden vervangen om de elektriciteitskosten ter overbrugging van het drukverlies van de filters niet te hoog op te laten lopen.

7 Literatuur

Bloem, L.J., Bokhorst, D., De Graaf, R., Esmeijer, M.H., Knies, P., Rijdsdijk, A.A., Vahl, H., van den Berg, G.A., van Oostende, M., en van Rijssel, E. (2000): Schermen in de glastuinbouw : energie- en teeltaspecten. Proefstation voor Bloemisterij en Glasgroente. Aalsmeer/Naaldwijk.

Bijlage I. Schema CoVent- G systeem



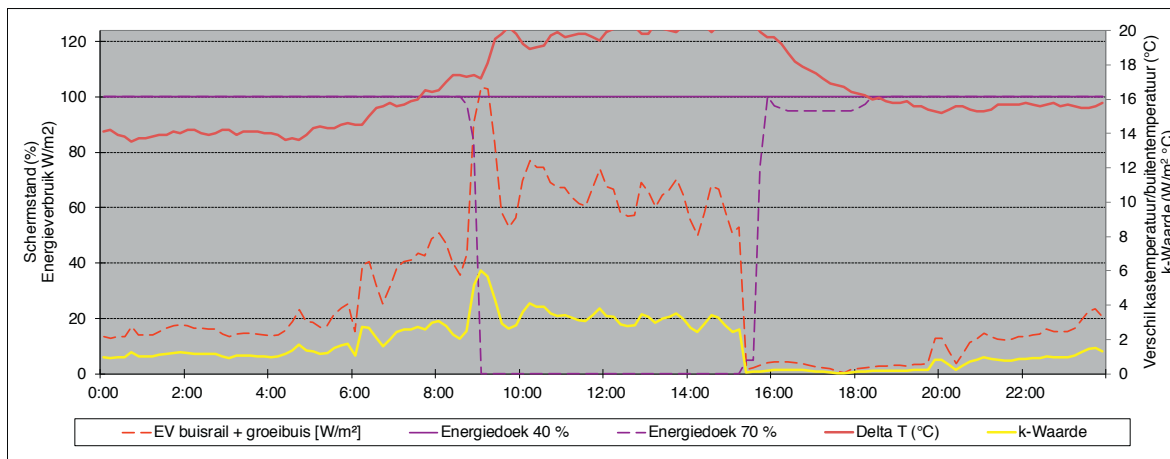
Figuur 15. Plaatsing van de luchtbehandelingskasten en gevelramen. Bron: Cogas Zuid.



Figuur 16. Aanzicht kopgevel met luchtbehandelingskasten en gevelramen. Bron: Cogas Zuid.

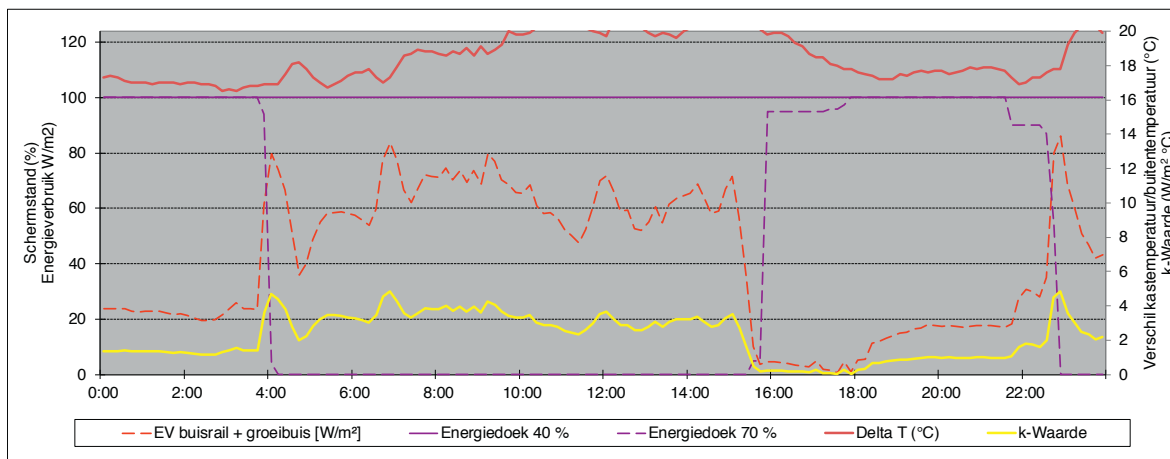
Bijlage II. Berekende k-waarde schermen

In deze bijlage zijn daggrafieken weergegeven van de schermstand, het temperatuurverschil tussen binnen en buiten, het energieverbruik en de hieruit volgende k-waarde ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$). Met name de ontwikkeling in de (na)nacht wordt beschreven omdat dit de meest stabiele periode van het etmaal is. Invloed van zon, RV en ventilatorstand zijn in de grafieken niet meegenomen. Indien relevant worden de uitstraling en de windsnelheid in de beschrijving genoemd.



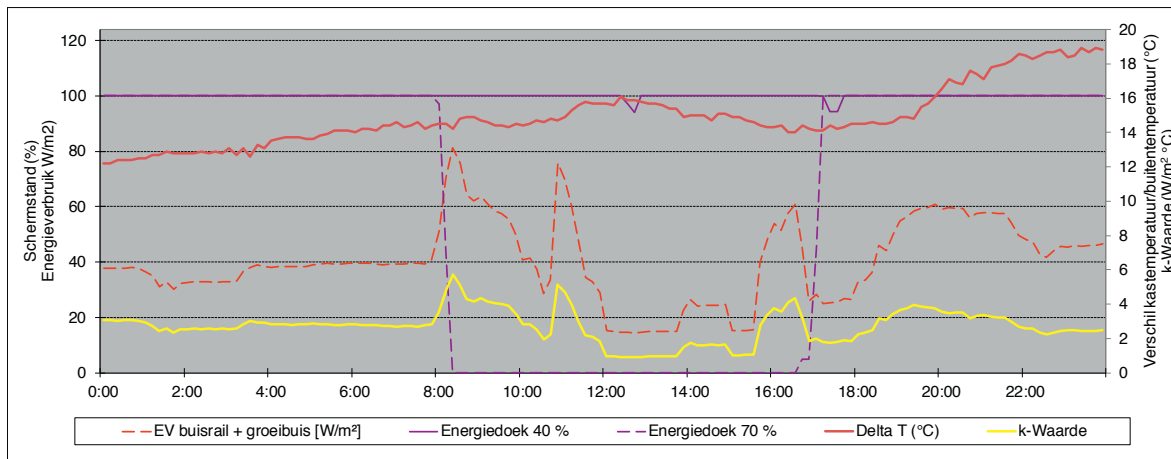
Figuur 18. 22 december 2010.

Het is bewolkt en er is weinig wind. Bij twee gesloten schermen en een pas geplant gewas blijft het energieverbruik laag (k-waarde rond $1,5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$). Alleen bij het opstoken van het gewas en het openen van het XLS17-doek stijgt de K-waarde naar ruim 3.



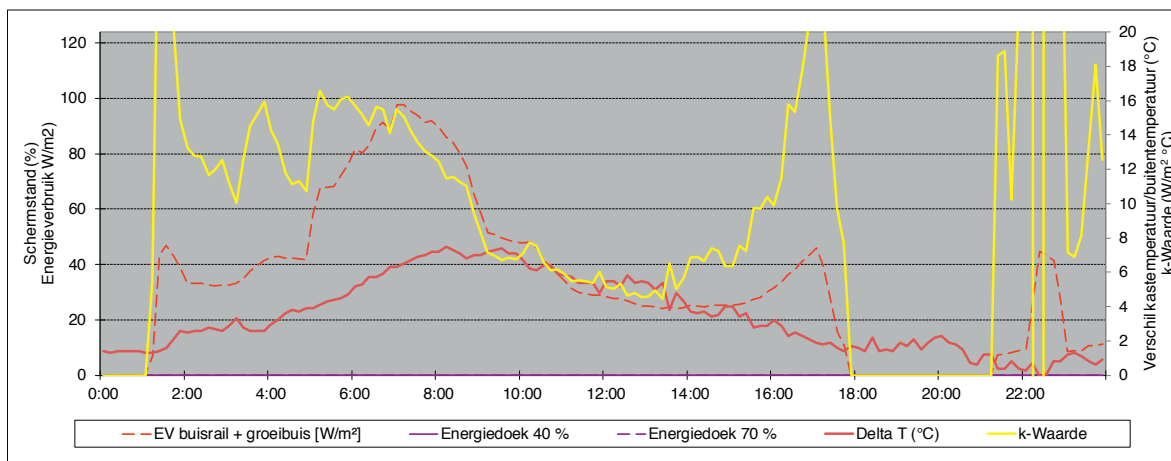
Figuur 19. 19 december 2010.

Een vergelijkbaar beeld, al wordt het XLS17-doek nu ruim voor zonsopgang geopend.



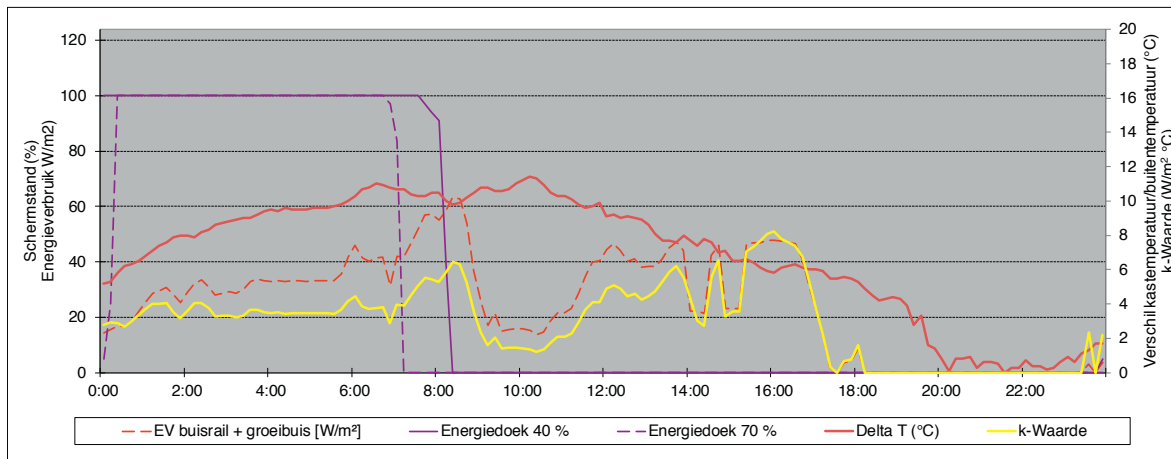
Figuur 20. 15 november 2010

Er is weinig wind en de pyrgometer meet 's nachts een uitstraling van 50 W/m^2 . Aangezien de verwarming in de kas lager is betekent dit dat het kasdek kouder moet zijn dan de buitentemperatuur. Toch blijkt hier bij een oud gewas (met weinig blad meer) de k-waarde bij gesloten schermen laag te kunnen zijn (ruim $2 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$).



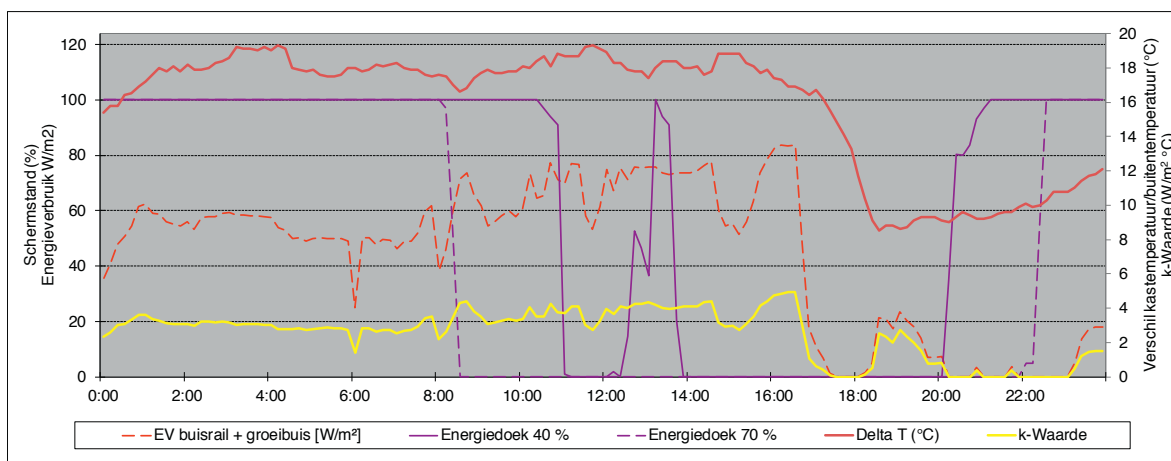
Figuur 21. 9 oktober 2010

De pyrgometer geeft een uitstraling van 60 W/m^2 aan. De schermen zijn beide geopend, de ramen zijn alleen gesloten tussen 4 en 9 uur en het warmtegebruik is dan toch hoog. Bij een stijgende kasttemperatuur en een kleine deltaT is de berekende k-Waarde ruim $10 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.



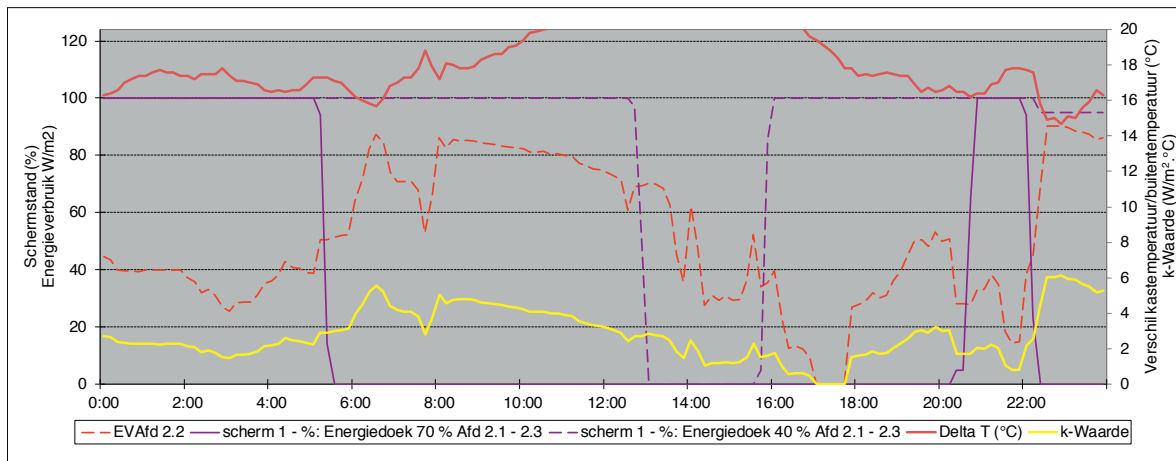
Figuur 22. 24 maart 2010

De pyrgometer geeft 's nachts een uitstraling van 60 W/m^2 aan. De schermen zijn eerst beide gesloten en de berekende k-Waarde is dan $3,2 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.



Figuur 23. 21 februari 2010

Er is nog geen pyrgometer aanwezig. Er is weinig wind. De k-waarde bij gesloten schermen is hoog (ruim $3 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)



Figuur 24. 30 januari 2010.

Idem als 21 februari. K-waarde is wel lager (ruim 2 W/m².°C) maar stijgt tot meer dan 4 als het XLS17 doek wordt geopend.

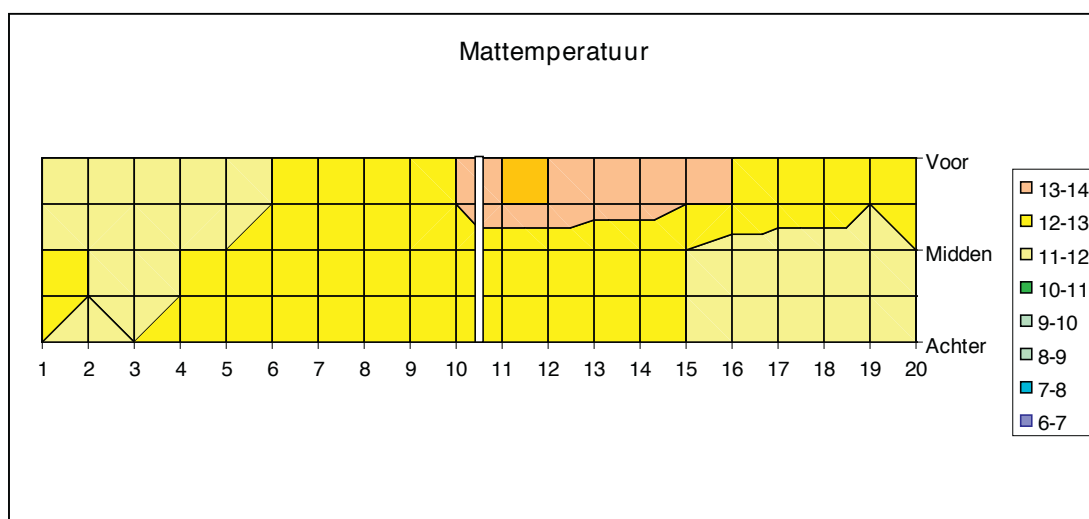
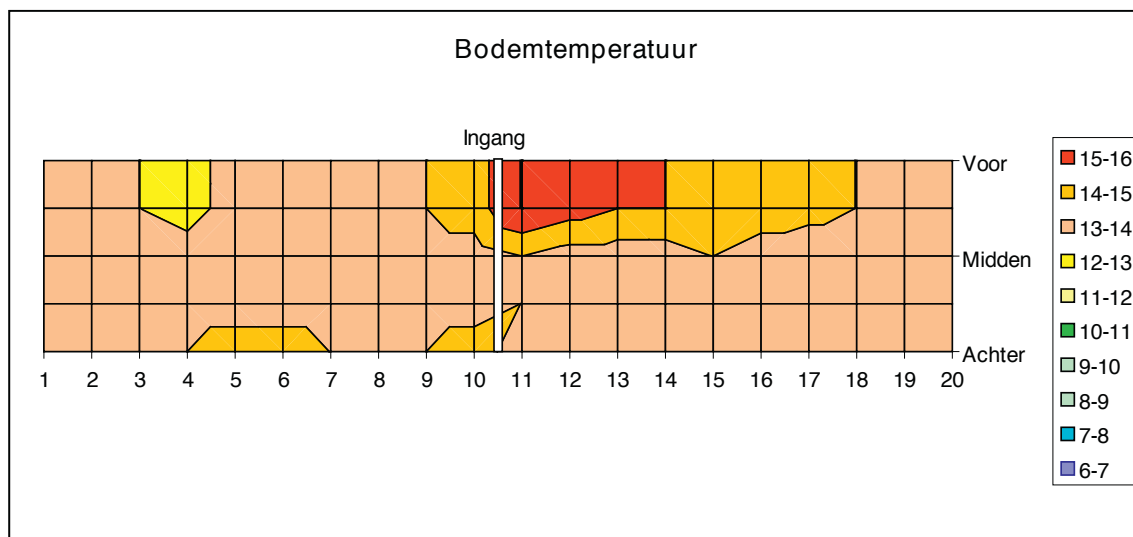
Bijlage III. IR-metingen

Methode

In de afdelingen Voor (1 en 6), Midden (2 en 5) en Achter (3 en 4) is tussen 8:00 uur en 9:30 uur met een IR-meter de temperatuur gemeten van de bodem, de mat, het scherm, de tralie en de kaspoot. Tijdens de meting werd de kas opgestookt van nacht naar dagtemperatuur, terwijl het bovenste scherm LS17 halverwege de meting werd geopend. De volgorde van de meting was Voor- Midden-Achter. Hierdoor is de gemeten temperatuur in de kas “Voor” relatief lager dan de temperatuur “Achter”, terwijl de schermtemperatuur “Achter” juist lager is gemeten. Tijdens de meting was de buiten-temperatuur -1 °C en was de hemel bewolkt.

Resultaten

De bodemtemperatuur en de mattemperatuur zijn de meest stabiele metingen om horizontale temperatuurverschillen te meten. De bodemtemperatuur ligt gemiddeld 1,7 °C hoger dan de mattemperatuur doordat de bodem directer door stralingswarmte van de buizen wordt verwarmd en de mat meer uitstraling naar het kasdek of het scherm kent. Bij beide metingen geldt dat de temperatuur bij het middenpad hoger is dan bij de gevel. In het bijzonder was bij de ingang direct aan de linkerhand de temperatuur een paar graden hoger dan in de rest van de kas.



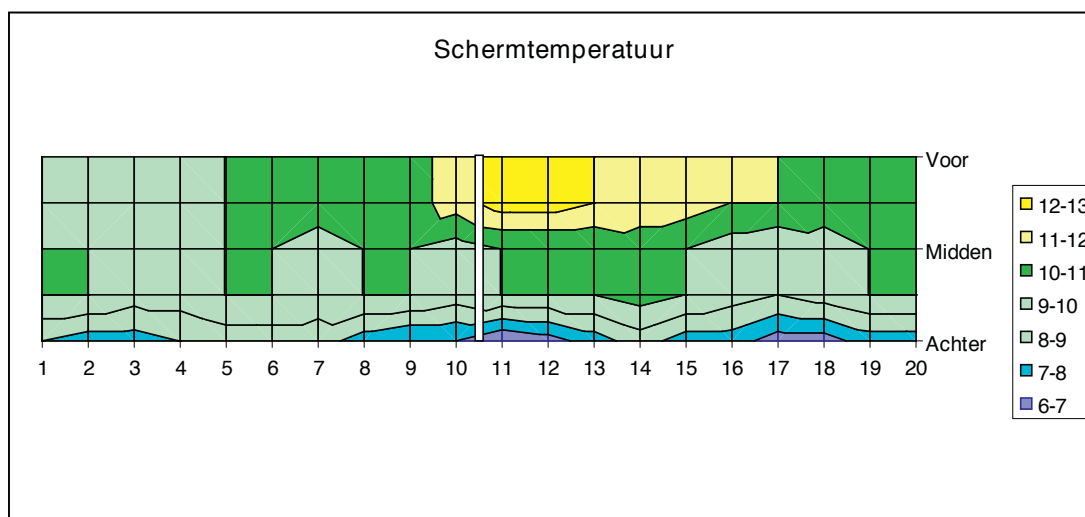
De schermtemperatuur blijkt veel lager te zijn dan verwacht. Met name nadat het bovenste scherm werd geopend (metingen Achter) daalde de schermtemperatuur met ongeveer 3 °C. Dit is veroorzaakt doordat het scherm warmtestraling doorlaat. De IR-meter meet dan niet alleen de schermtemperatuur, maar ook deels de temperatuur van het achterliggende object. Zo laat een droog XLS-10 scherm ongeveer 40% van de warmtestraling door. Als het scherm nat zou zijn, dan zou alle warmtestraling worden weerkaatst, zou het scherm beter isoleren, en de IR-meter wel een juiste schermtemperatuur kunnen aangeven.

Het warmteverlies door warmtestraling wordt bij de gemeten temperaturen geschat in onderstaande tabel. Hieruit blijkt dat als het stralingsverlies ondanks de lage kasttemperatuur nog fors is, vooral bij een enkel scherm. Het stralingsverlies naar de tralie blijft beperkt tot $\pm 15 \text{ W/m}^2$.

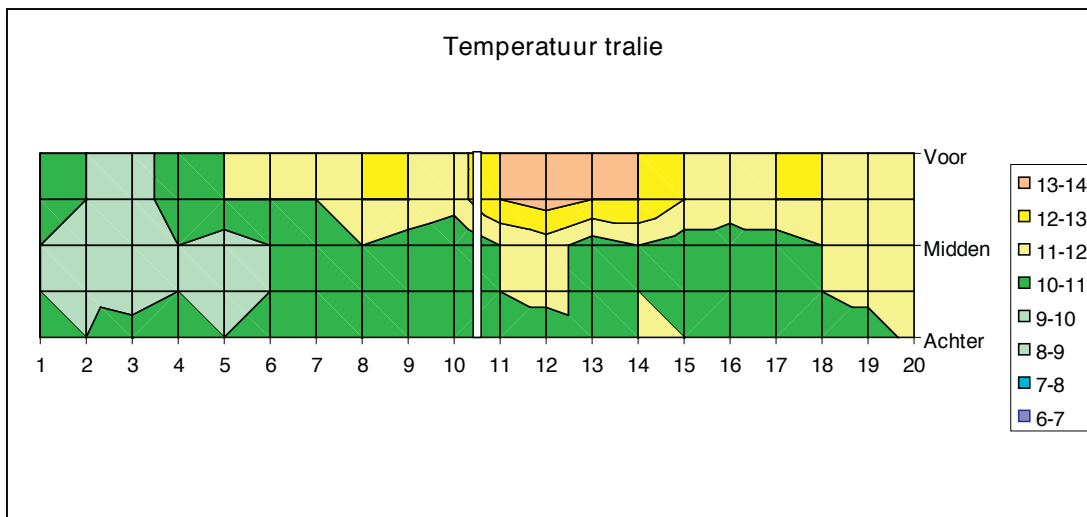
Tabel 5. Berekend warmteverlies door straling naar en door het scherm.

	Dubbel scherm	Enkel scherm
Bodemtemperatuur (°C)	13.8	13.8
Gemeten schermtemperatuur (°C)	10.2	7.5
Warmtestraling (W/m ²)	18.8	32.6

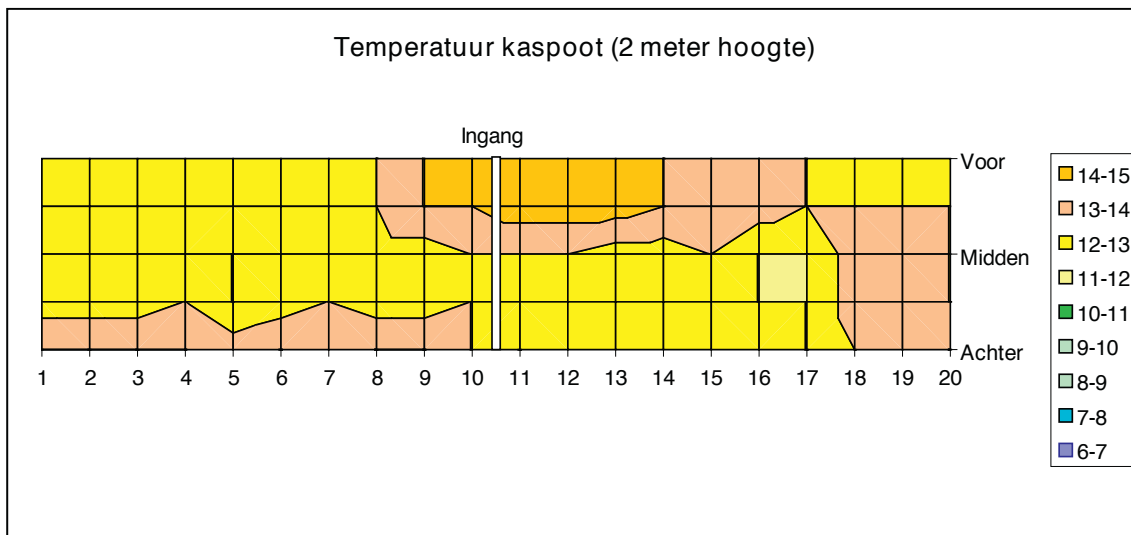
Naast warmtestraling wordt het warmteverlies bepaald door lekverliezen en convectie. Deze zijn niet bepaald, omdat luchtbeweging en lekkage niet gemeten zijn.



De temperatuur van de tralie en de kaspoot is gemeten om te schatten of de koudebruggen ervoor zorgen dat de energiebesparing van de schermen deels teniet wordt gedaan. De temperatuur van de tralie was echter hoger dan wat is gemeten bij het scherm (doordat ook het koude-oppervlak achter het scherm wordt gemeten). Hierdoor kan niet exact worden bepaald of via de tralies veel meer energie weglekt dan via het scherm. Aangezien de gemiddelde temperatuur van de tralie veel dichterbij de temperatuur van de bodem (gemiddeld 3 °C temperatuurverschil) dan bij de buitentemperatuur (gemiddeld 11 °C temperatuurverschil) lijkt het effect van koude-bruggen mee te vallen.



De kaspoot bleek bovenin vrijwel dezelfde temperatuur te hebben als de temperatuur van de tralie, maar op 2 meter hoogte werd al een temperatuur dicht bij de kasttemperatuur gemeten.



Conclusies

De temperatuur van (droge) schermen is niet goed te meten met een IR-camera.

De temperatuur van de tralie ligt veel dicht bij de temperatuur van de bodem en de mat dan bij de buitentemperatuur. Hierdoor lijkt de invloed van koudebruggen mee te vallen.

Aangezien door een lage RV in de kas nauwelijks waterdamp condenseert tegen het scherm, blijft dit scherm ook droog. Een droog scherm laat nog vrij veel warmtestraling door.

