



Vergelijking klimaat Paprika

Analyse van Het Nieuwe Telen Paprika bij Delphy Improvement Centre in vergelijking met een praktijkbedrijf

Marcel Raaphorst

Rapport WPR-747

Referaat

Het kasklimaat, warmtegebruik en de productie bij een demonstratieproef met paprika is vergeleken met die van een praktijkbedrijf. Door intensief gebruik van de schermen bleek het warmtegebruik 59% lager uit te komen. Het intensievere schermen heeft gemiddeld 4% licht gekost in vergelijking met het praktijkbedrijf. Het grootste verschil was tijdens de eerste drie (winter) maanden van de teelt. Het kasdek had bovendien 4% minder lichttransmissie. Door 64% minder CO₂ te doseren werd een lagere CO₂-concentratie gerealiseerd, wat volgens de CO₂-vuistregel zou moeten hebben geleid tot 4% minder fotosynthese. Ondanks de lagere lichtintensiteit en lagere CO₂-concentratie, was de productie slechts 10% lager dan het praktijkbedrijf. Dit geeft aan dat CO₂ en licht iets minder beperkend zijn geweest dan waarvan met vuistregels wordt uitgegaan.

Abstract

The indoor climate, the heat use and the production of a demonstration trial with sweet pepper are compared with a commercial grower. With intensive use of the screens a 59% lower use of heat is achieved. The intensive use of screens has decreased the amount of light with 4% in comparison to the commercial grower. The biggest difference was during the first three (winter) months of cultivation. The roof also showed 4% less light transmission. By dosing 64% less CO₂, a lower CO₂ concentration was obtained, which should have led to 4% less photosynthesis according to the CO₂-rule of thumb. Despite the lower light intensity and lower CO₂ concentration, the production was just 10% lower than at the commercial grower. This indicates that CO₂ and light have been a little less restrictive than what would be expected from the rules of thumb.

Rapportgegevens

Rapport WPR-747

Projectnummer: 3742157313

DOI nummer: 10.18174/441980

Dit project is gefinancierd vanuit het programma Kas als Energiebron, het innovatie- en actieprogramma voor energiebesparing en verduurzaming in de glastuinbouw van LTO Glaskracht Nederland en het ministerie van Economische Zaken.

Disclaimer

© 2018 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Glastuinbouw, Postbus 20, 2665 MV Bleiswijk T 0317 48 56 06, www.wur.nl/plant-research.

Kamer van Koophandel nr.: 09098104

BTW nr.: NL 8113.83.696.B07

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

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

Adresgegevens

Wageningen University & Research, BU Glastuinbouw

Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk

Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk

T +31 (0)317 48 56 06

Inhoud

	Samenvatting	5
1	Inleiding	7
	1.1 Doelstelling	7
	1.2 Methode	7
	1.3 Kenmerkende verschillen	7
2	Kasklimaat	9
	2.1 Verschil in schermgebruik	9
	2.2 Netto uitstraling en schermgebruik	11
	2.3 Temperatuur en VD	12
	2.4 Verwarming	14
	2.5 Globale straling en transmissie	16
	2.5.1 Diffuse coating en schermgebruik	18
	2.6 CO ₂	20
3	Gewasgroei en productie	23
	3.1 Investeringsruimte extra doek	25
4	Discussie en conclusies	27
	4.1 Discussie	27
	4.2 Conclusies	27
	Bijlage 1 5-minuuts overzichten	29
	Bijlage 2 Schatting van k-Waarde en warmtecapaciteit van de kas	31
	Bijlage 3 Vergelijking berekend en gemeten warmtegebruik	33

Samenvatting

Bij Delphy Improvement Centre heeft van 1 december 2016 tot begin november 2017 een proef met een energiezuinige paprikateelt plaatsgevonden. Door intensief te schermen met een enkel schermdoek en een dubbel schermdoek (met spouw), werd getracht de warmtebehoefte te beperken tot minder dan $15 \text{ m}^3/\text{m}^2$. Ook is CO_2 op een zuinige wijze gedoseerd.

De teelt en de resultaten zijn vergeleken met het nabijgelegen paprikabedrijf Leo van den Berg, dat hiermee als referentiebedrijf diende. Uit de vergelijking is gebleken dat het warmtegebruik beperkt is gebleven tot $11,4 \text{ m}^3/\text{m}^2$.jaar, wat 59% lager is dan het referentiebedrijf. Ondanks het lagere warmtegebruik bij IC is de kastemperatuur zowel 's nachts als overdag gemiddeld $0,5^\circ\text{C}$ hoger geweest. Het lage warmtegebruik is grotendeels te verklaren door de inzet van beide schermen, die bij het Improvement Centre respectievelijk 2500 en 1500 uren langer zijn gesloten dan bij het referentiebedrijf. De extra inzet van schermen voor energiebesparing heeft op jaarbasis de hoeveelheid licht op het gewas met 4% verlaagd ten opzichte van het referentiebedrijf. Dit lichtverlies is vooral opgetreden in de eerste twee maanden van de teelt en is dan 30%.

Het gebruik van schermen beperkt de netto uitstraling. Hoe meer schermen in gebruik, hoe kleiner de uitstraling wordt en de uitstraling wordt nóg verder verlaagd als er een kier in het onderste schermdoek wordt getrokken. Hierdoor stijgt weliswaar het (convectieve) warmteverlies naar de ruimte tussen de schermen, maar doordat het onderste scherm daarmee warmer wordt, verliest het gewas minder straling naar het schermdoek. Het gebruik van een kier in het onderste scherm is daarom aan te raden voor gewassen waarbij uitstraling ongewenst is, bijvoorbeeld als een relatief koude kop of condensatie aan de bovenkant van het gewas een teeltrisico vormt.

Bij beide kassen is in de zomer $\pm 6\%$ van de beschikbare PAR weggenomen om te hoge instraling te voorkomen. Bij het referentiebedrijf is dat uitgevoerd met diffuse coating en de schermdoeken. Bij het Improvement Centre zijn alleen de schermdoeken gebruikt. Het Improvement Centre heeft tijdens hoge instraling meer PAR weggeschermd dan het referentiebedrijf, en bij lage instraling minder lichtverlies geleden omdat er geen diffuse coating is gebruikt.

Met $14 \text{ kg}/\text{m}^2$ is bij het Improvement Centre 64% minder CO_2 gedoseerd dan bij het referentiebedrijf. Het Improvement Centre had daarmee meestal een lagere CO_2 -concentratie. Uitgaande van de CO_2 -vuistregel zou, (per 5 minuten gewogen naar de hoeveelheid PAR) met deze lagere CO_2 -concentratie op jaarbasis 4% minder fotosynthese hebben plaatsgevonden.

De productie bij IC was 10,1% lager dan bij Berg. Dit verschil is minder dan zou worden verwacht met 4% meer lichtverlies door het kasdek, 0,8% meer licht door de langere teeltduur, 4% meer lichtverlies door intensiever schermen en 4% berekende fotosynthesevermindering door een lagere CO_2 -concentratie.

1 Inleiding

In het teeltseizoen 2016-2017 is op het Delphy Improvement Centre (hierna IC genoemd) een teeltproef met Paprika uitgevoerd, waarbij met intensief schermen en een gebruik van de buis op warmtevraag een gasverbruik van minder dan 15 m³/m² is nagestreefd. Om te toetsen in hoeverre deze teeltstrategie effect heeft op de gewasontwikkeling en de productie, zijn het kasklimaat en de gewasmetingen door Wageningen University & Research, Business Unit Glastuinbouw vergeleken met de gegevens van de nabijgelegen paprika-kwekerij Leo van den Berg (hierna Berg genoemd). Deze vergelijking is uitgevoerd in het kader van het Monitoringsproject, gefinancierd door Kas als Energiebron. De methoden en resultaten van deze vergelijking worden in dit rapport op een rijtje gezet.

1.1 Doelstelling

Het onderzoek heeft als doel om de resultaten uit de teeltproef bij het IC te toetsen aan een praktijkbedrijf. Hierbij wordt met name gelet op de verschillen in kasklimaat, de toepassing van de energieschermen, het warmtegebruik, de gewasgroei en de productie. Voor wat betreft het kasklimaat wordt extra aandacht gegeven aan de invloed van schermen op de warmte-uitstraling.

1.2 Methode

Voor de bepaling van de lichttransmissie van beide afdelingen is op een droge bewolkte dag de hoeveelheid PAR op 300-500 plekken gemeten en vergeleken met een PAR-meter die buiten is geplaatst. Deze metingen zijn herhaald bij 1 en 2 gesloten schermen.

Om te bepalen wat de invloed is van de schermen op de hoeveelheid uitstraling, zijn op beide afdelingen netto stralingsmeters geplaatst.

De klimaatdata (5-minuutsgegevens) en de meetveld- en oogstdata (weekgegevens) van beide afdelingen zijn verzameld via LetsGrow.com en met behulp van Matlab-scripts en Excel-sheets verwerkt tot overzichten in grafieken. Deze grafieken zijn tijdens BCO-bijeenkomsten getoond en bediscussieerd.

1.3 Kenmerkende verschillen

In beide afdelingen is het paprika ras Allrounder RZ F1 geteeld en beide kassen zijn voorzien van twee scherminstallaties. De eerste installatie van het Improvement Centre heeft een enkel schermdoek (Luxous 1147), en de tweede installatie heeft twee schermdoeken (beide Luxous 1147) op twee dradenbedden (met spouw). Bij Berg hebben beide installaties een enkel helder schermdoek (Harmony 2045) en PDI (eigen merk). De lichttransmissies van beide kassen zijn gemeten tijdens bewolkt en droog weer.

Tabel 1

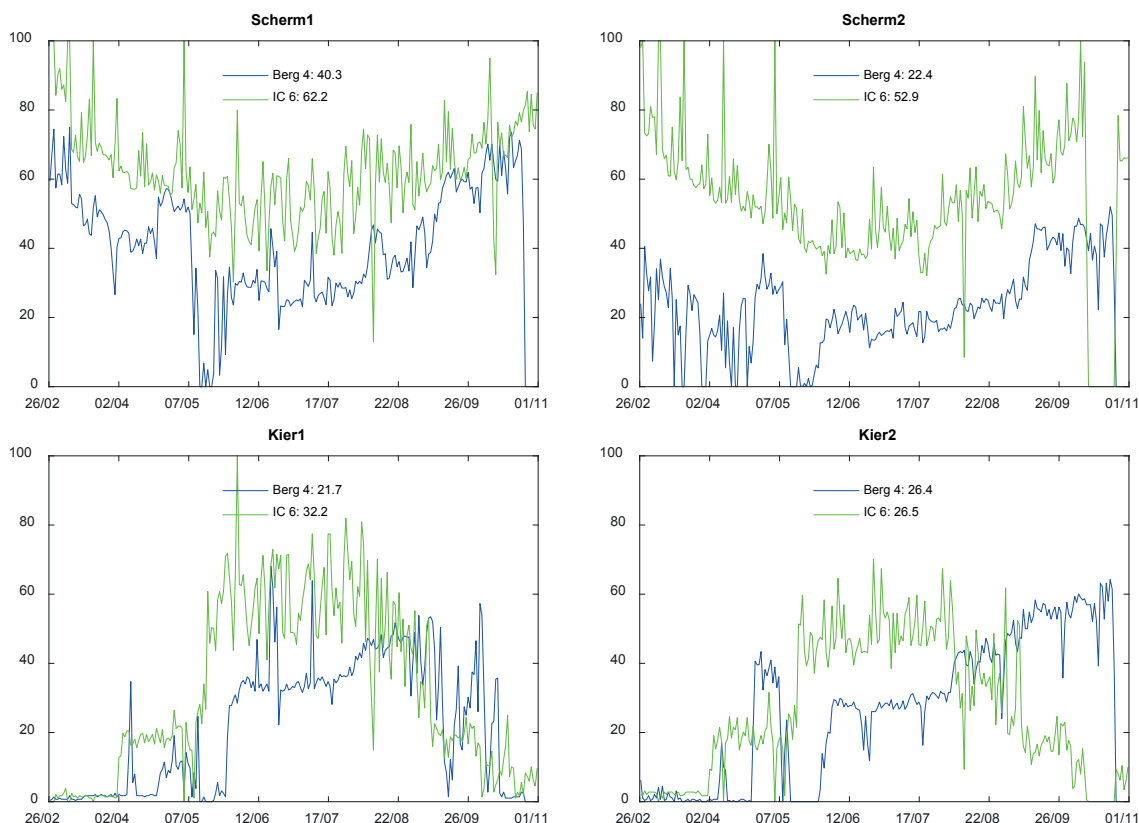
Vergelijking tussen kenmerken van het Improvement Centre (IC) en kwekerij Leo van den Berg (Berg).

Kenmerken	IC	Berg
Kasoppervlakte (m ²)	1000	55000
Poothoogte (cm)	668	600
Buisraildiameter (mm)	51	45
Groeibuis (mm)	-	38
Lichttransmissie open schermen (%)	69	72
Lichttransmissie 1 gesloten scherm (%)	55	55
Lichttransmissie 2 gesloten schermen (%)	39	41
Diffuse coating	Geen	Van 15 mei tot 9 september
Lichttransmissie kasdek bij diffuse coating (%)	-	67
Plantopbouw (stengels/plant)	3	2
Stengeldichtheid (stengels/m ²)	6.9	6.4

2 Kasklimaat

2.1 Verschil in schermgebruik

Een van de meest kenmerkende verschillen tussen de paprikateelt bij IC en Berg is het schermgebruik. Uit Figuur 1 blijkt dat met name scherm 2 (het dubbele scherm met spouw) twee keer zo lang is gebruikt bij IC als bij Berg: De gemiddelde schermstand was 63% ten opzichte van 32% bij Berg. Scherm 1 werd op beide bedrijven vaker ingezet dan scherm 2 met een gemiddelde stand van 71% bij IC en 52% bij Berg. Dit komt neer op een verschil van respectievelijk 2500 en 1500 uren.

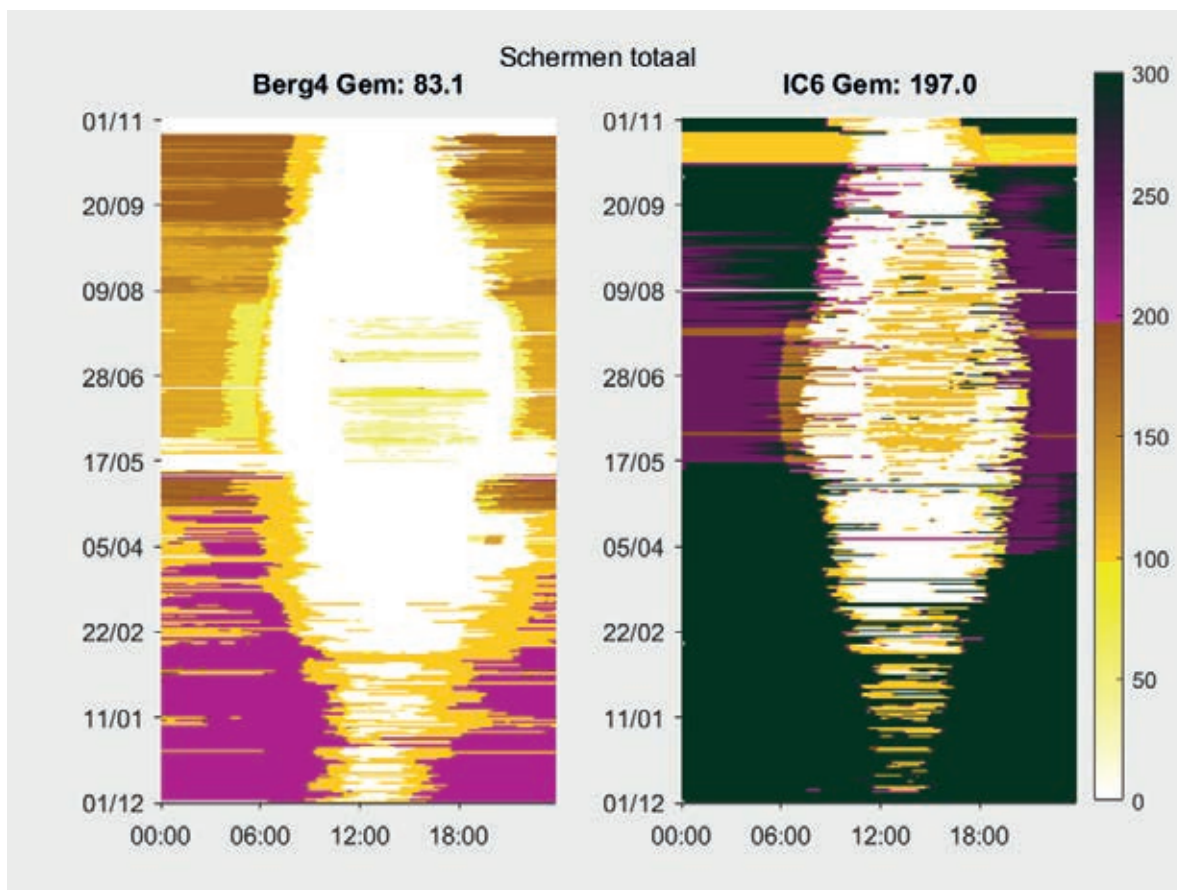


Figuur 1 Schermgebruik (%) en het percentage van de tijd dat een kier aanwezig was voor beide scherminstallaties bij Berg en IC.

Een andere weergave van het schermgebruik is te zien in Figuur 2. Deze Figuur geeft voor beide bedrijven een plot met voor iedere vijf minuten een gekleurd puntje waarin de kleur staat voor de som van de twee schermstanden. Het puntje linksonder iedere plot staat voor 1 december 2016 om 0:00 uur en het puntje rechtsboven voor 1 november om 23:55 uur.

De stand van het dubbele scherm (Scherm 2) van IC telt in deze weergave dubbel. Als bij IC bijvoorbeeld scherm¹ een schermstand heeft van 100% en scherm² een stand van 90% dan is de som $100 + 2 \times 90 = 280$. In de rechterbalk van Figuur 2 wordt aangegeven welke kleur past bij 280. Bovenin iedere plot staat de gemiddelde som van de schermstanden.

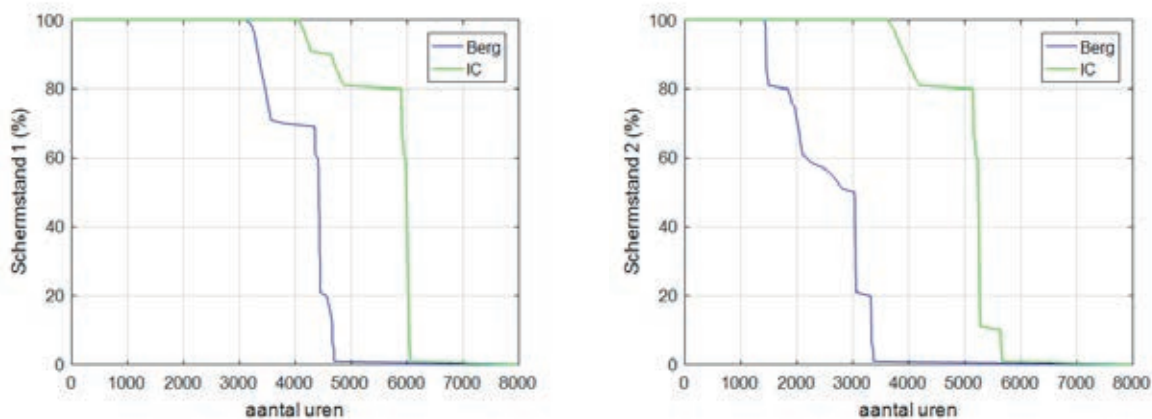
In Figuur 2 is te zien dat bij IC 's nachts beide schermen gesloten zijn gebleven tot half mei, terwijl bij Berg vaker een kier is getrokken. Het scherm is gedurende de zomer bij IC ook vaker ingezet als schaduw scherm om de instraling tegen te gaan. Bij Berg was dat minder vaak nodig omdat hier gedurende de zomerperiode een diffuse coating op het dek is aangebracht. De schermen zijn daar alleen ingezet (2x40%) om de directe straling door de luchtramen te dempen.



Figuur 2 Verloop van de som van de twee schermstanden (%) in afdeling 4 van Berg en afdeling 6 van IC. Bij het IC is scherm 2 dubbel geteld (dus als dit gesloten is telt het dubbele scherm in de som voor 200% mee).

Het verschil in schermgebruik is ook weergegeven in Figuur 2. Met jaarbelastingduurkrommen (ook wel cumulatieve frequentieverdeling genoemd) wordt aangegeven hoeveel uren tenminste een bepaalde schermstand is gebruikt. Zo is te zien dat scherm 1 van IC 4050 uren 100% dicht heeft gelegen. Vervolgens nog ± 600 uren meer dan 90% en ± 1100 uren meer dan 80%.

In de figuren is te zien dat Berg in scherm 1 een modulerende schermstand aanhield tussen 70 en 100% en ± 1000 uren een schermstand van 70% aanhield. Scherm 1 van IC moduleerde tussen 100 en 80%. Voor scherm 2 is een modulerende regeling te zien tussen 100 en 80% schermstand bij IC en tussen 50 en 60% bij Berg. Verder zijn knikjes te zien rond 20% schermstand bij Berg voor beide schermen en rond 10% bij IC voor scherm 2. Dat betreft de uren waarin de schermen zijn ingezet als zonnescerm. Bij scherm 1 van IC is dat knikje te zien bij 90% schermstand. Het betreft voor beide schermen bij IC ongeveer 360 schermuren tegen zonlicht, terwijl dat bij Berg gemiddeld 250 uren was.



Figuur 3 Jaarduurkrommen van de schermstand van beide bedrijven en beide schermen.

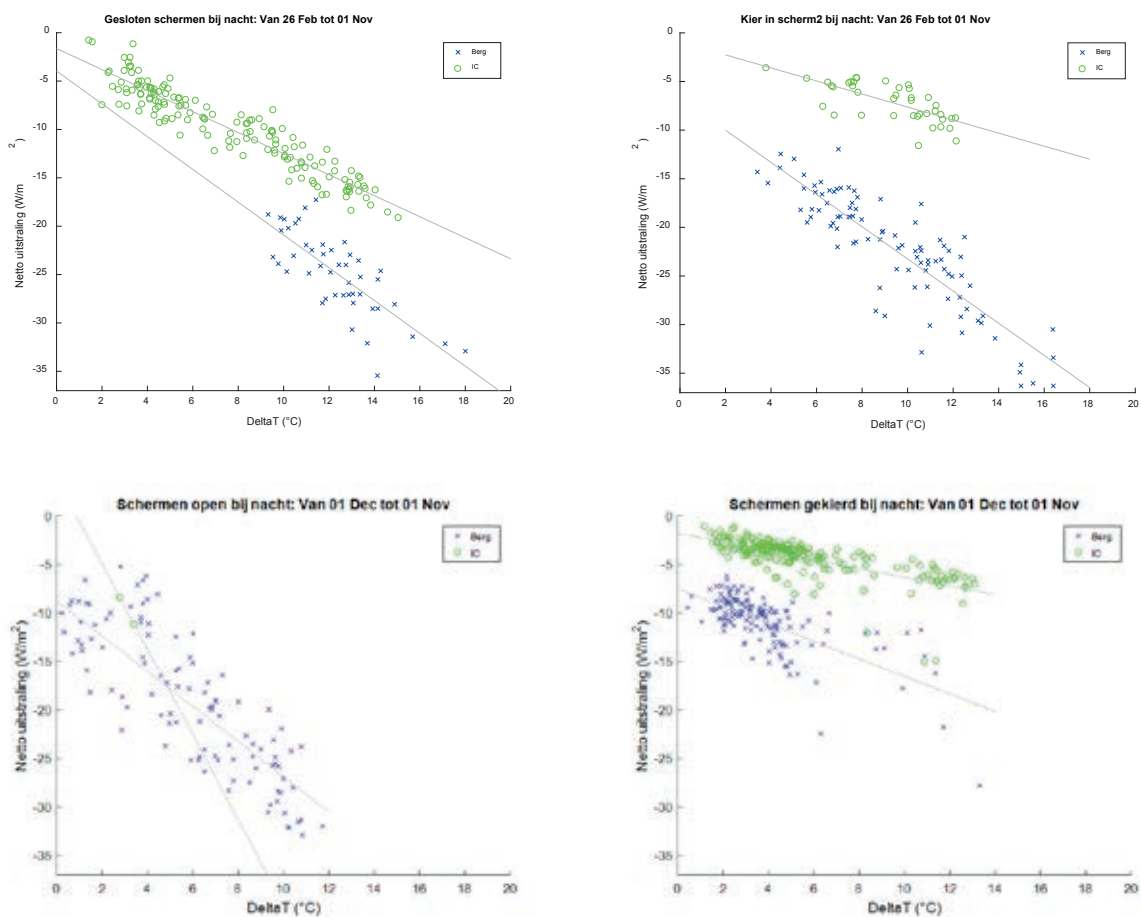
2.2 Netto uitstraling en schermgebruik

Schermen worden ingezet om de kas te isoleren. Ten eerste houden ze de luchtuitwisseling naar het kasdek tegen, waardoor zowel warme lucht als vocht wordt binnengehouden. Ten tweede houden de schermen de uitstraling naar het koude kasdek tegen. De hoeveelheid uitstraling vanaf het gewas is bij beide kassen gemeten met de netto stralingsmeter. Bij Berg functioneerde de netto stralingsmeter vanaf 26 februari 2017. De netto straling is in Figuur 3 voor drie verschillende schermtoestanden uitgezet tegen het verschil tussen kastemperatuur en buitentemperatuur (deltaT). Bij twee gesloten schermen is een duidelijke regressielijn te zien voor beide kassen. Opvallend is het grote verschil tussen de twee regressielijnen. Bij IC is de netto uitstraling ongeveer 1 W/m^2 per $^{\circ}\text{C}$ temperatuurverschil en bij Berg is dat $1,9 \text{ W/(m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C)}$. Dat verschil is te verklaren door het extra schermdoek op het IC en de warmere buis bij Berg.

Bij een gesloten scherm 1 en een kier in scherm 2 blijkt de regressielijn bij IC vlakker te lopen. De lagere uitstraling bij een schermkier is te verklaren doordat het scherm waarschijnlijk warmer wordt als er relatief warme kaslucht boven het scherm komt. Dat dit effect niet bij Berg optreedt, komt doordat scherm 2 daar boven scherm 1 ligt. Als eerst wordt gekierd met het bovenste scherm, wordt het onderste schermdoek, waarvan de temperatuur het meest bepalend is voor de netto stralingsmeter, juist iets kouder.

Dat beide schermen geopend zijn tijdens de nacht, is bij het IC bijna niet voorgekomen. Wel bij Berg, en dat is te zien aan de steilere regressielijn dan bij gesloten schermen. De uitstraling is dan ongeveer $2,5 \text{ W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$.

Beide schermen in een kierstand (meer van 50% stand) komt vaker voor. Ook hier zijn de regressielijnen vlak, wat betekent dat gekierde schermen minder uitstraling geven dan gesloten schermen, door een hogere doek temperatuur. In plaats van uitstraling geven schermkieren uiteraard wel meer warmteverlies door luchtuitwisseling. Deze luchtuitwisseling is nodig voor het afvoeren van vocht. Uitstraling draagt alleen bij aan het afvoeren van warmte en niet van vocht. Schermkieren zijn dus een effectieve manier om vocht af te voeren met zo min mogelijk uitstralingsverliezen. Door eerst een kier te trekken in het onderste doek, wordt de uitstraling van gewas naar schermdoek het meest beperkt. Dit kan van pas komen als de bovenkant van het gewas warm en/of droog moet zijn.



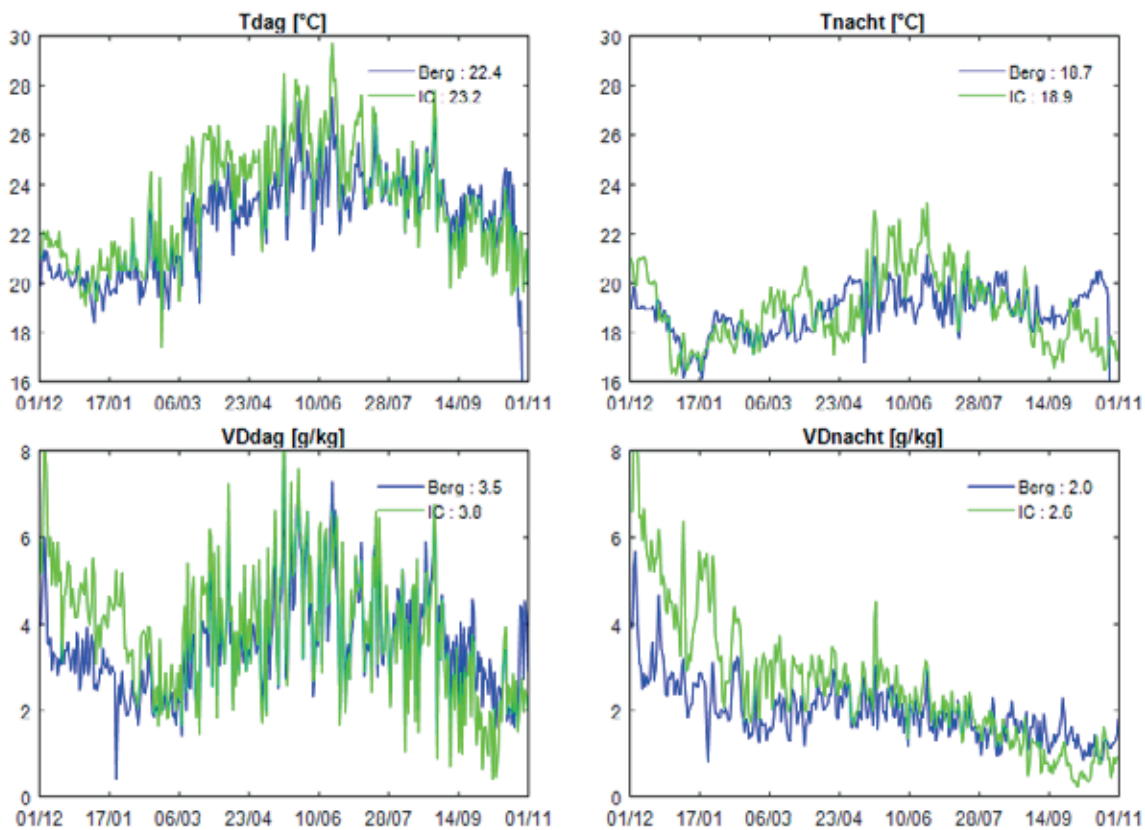
Figuur 4 Netto uitstraling (W/m^2) uitgezet tegen het temperatuurverschil tussen kas en buitenlucht (ΔT °C) voor de situaties in de nacht bij 2 gesloten schermen (linksboven), bij een kier in het onderste scherm (rechtsboven), bij 2 geopende schermen (linksonder) en 2 gekierde schermen (rechtsonder).

2.3 Temperatuur en VD

Bij IC is een hogere kastemperatuur aangehouden dan bij Berg (zie Figuur 4). Dit komt met name tot uiting in de dagtemperatuur, die gemiddeld 0,8°C hoger lag. De nachttemperatuur lag gemiddeld 0,2°C hoger.

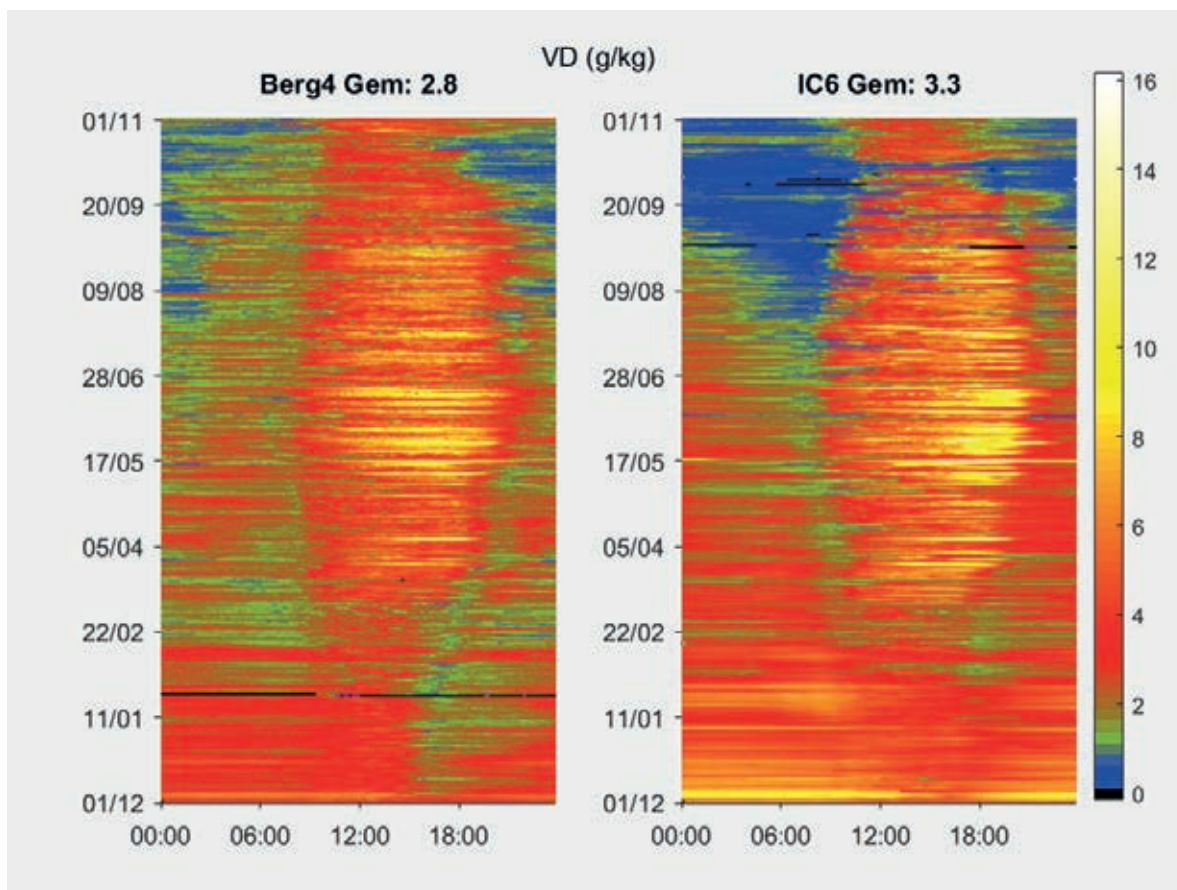
In het begin van de teelt was het VD bij IC aanmerkelijk hoger dan bij Berg, terwijl dat aan het einde van de teelt veel lager lag. Het hoge VD bij IC aan het begin van de teelt kan worden geweten aan de relatief grote hoeveelheid buitengevel: Afdeling 6 heeft met een kasoppervlakte van 1000 m² een buitengevel van 400 m², ofwel 40% van het glasoppervlak. Bij Berg is het buitengeveloppervlak ongeveer 10% van het kasoppervlak. Hoewel de gevel van IC wel geïsoleerd is met folie, is de isolatiewaarde hiervan minder goed dan die van de drie lagen schermdoek onder het kasdek. Ook is geopperd dat de wortelvorming bij IC minder goed was en het gewas daarom minder zou verdampen, maar dit lijkt echter geen waarschijnlijke verklaring. In winterse omstandigheden heeft de wortelactiviteit een veel kleinere invloed op de verdamping dan de LAI en het vochtdeficit.

Aan het einde van de teelt (vanaf september) was het VD bij IC veel lager dan bij Berg. Hier is bij een relatief hoge buitentemperatuur en afnemende instraling slechts weinig warmte in de kas van IC gestopt. Naast het lage VD heeft dit ook geleid tot een lagere temperatuur dan bij Berg. In die periode trad bij IC enige Botrytis op. Fusarium binnenrot, een gevreesde schimmel bij paprika, is bij geen van beide kassen aangetoond. Dit zou een aanwijzing kunnen zijn dat energiebesparing niet altijd hoeft te leiden tot Fusarium, al moet daarbij worden aangetekend dat het ras Allrounder niet erg gevoelig is voor Fusarium.



Figuur 5 Gemiddelde temperatuur (°C) en het VD (g/kg) per etmaal gedurende de nacht en overdag.

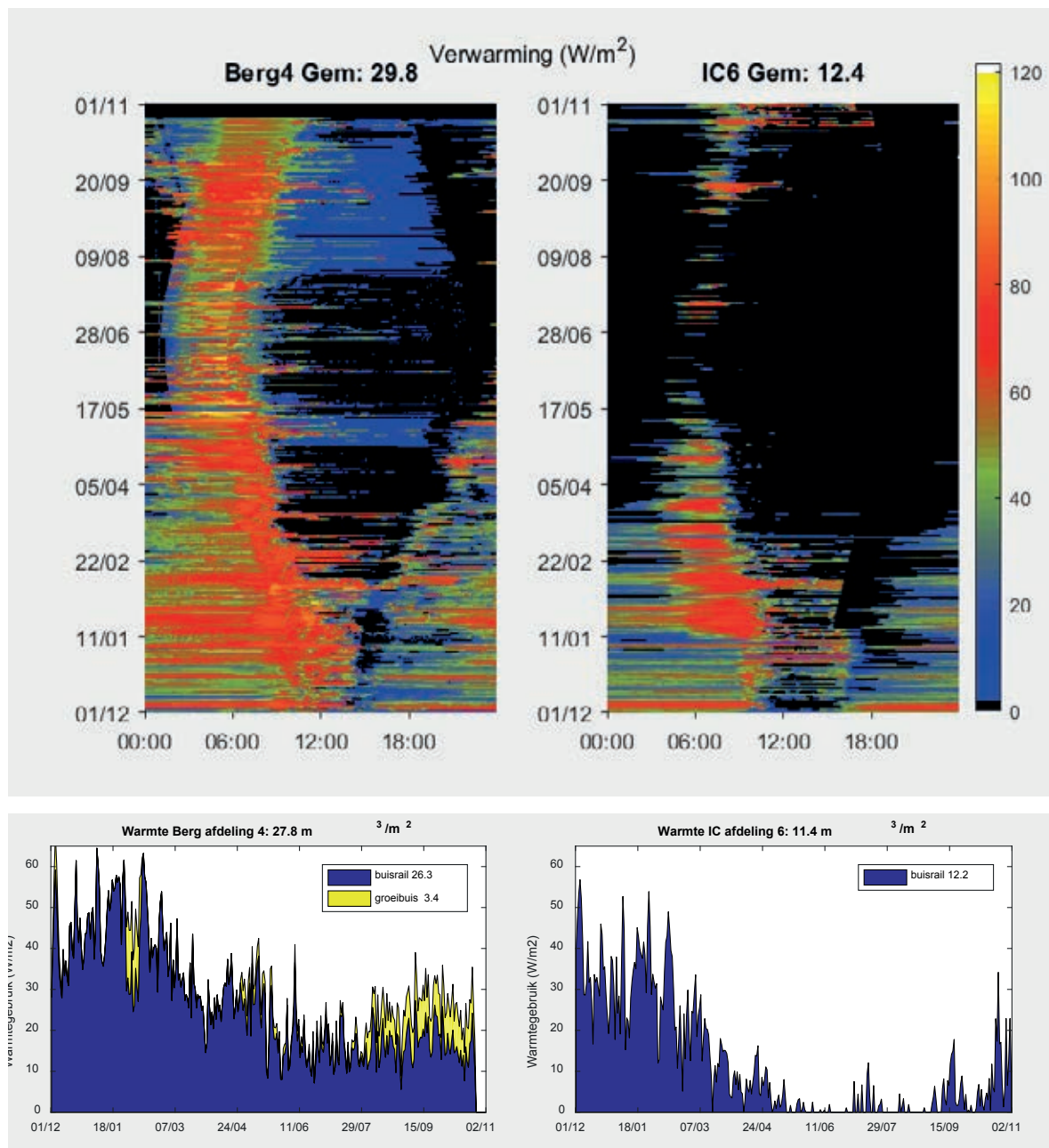
Ook in Figuur 5 is duidelijk te zien dat het VD in het begin van de teelt bij IC veel hoger was dan bij Berg. Verder valt op dat het VD in de ochtend bij beide bedrijven een dipje krijgt. Dit is tijdens het openen van het scherm. Na 1 augustus daalt het VD bij IC 's ochtends steeds vroeger en steeds dieper. Overdag in de zomerperiode is het VD bij IC veelal hoger dan bij Berg.



Figuur 6 Verloop van 5 minutenwaarden van het VD (g/kg) bij Berg en IC.

2.4 Verwarming

De hoeveelheid ingezette verwarming verschilt tussen beide kassen aanzienlijk. De verwarming is berekend door de berekende buistemtemperatuur te vergelijken met de kasttemperatuur. Door rekening te houden met het aantal en de diameter van de buizen, kan dan de warmte-afgifte van de buizen worden berekend. Daarmee komt het gasverbruik uit op $27,8 \text{ m}^3/\text{m}^2$ voor Berg en $11,4 \text{ m}^3/\text{m}^2$ voor IC. Deze waarden verschillen enigszins met de gasmeter van Berg ($27,4 \text{ m}^3/\text{m}^2$) en veel met de warmtemeter van IC ($14,1 \text{ m}^3/\text{m}^2$). Deze verschillen kunnen meerdere oorzaken hebben, die in Bijlage 3 worden besproken. In dit rapport wordt voor warmtegebruik van beide kassen uitgegaan van de berekende warmte-afgifte, waarmee de besparing op warmte bij IC uitkomt op 59%. Het piekverbruik per dag ligt bij IC 18% lager dan bij Berg.



Figuur 7 Inzet van de verwarming (W/m^2) in afdeling 4 van Berg en afdeling 6 van IC, weergegeven per 5 minuten (boven) en gasverbruik (m^3/m^2) per etmaal (onder).

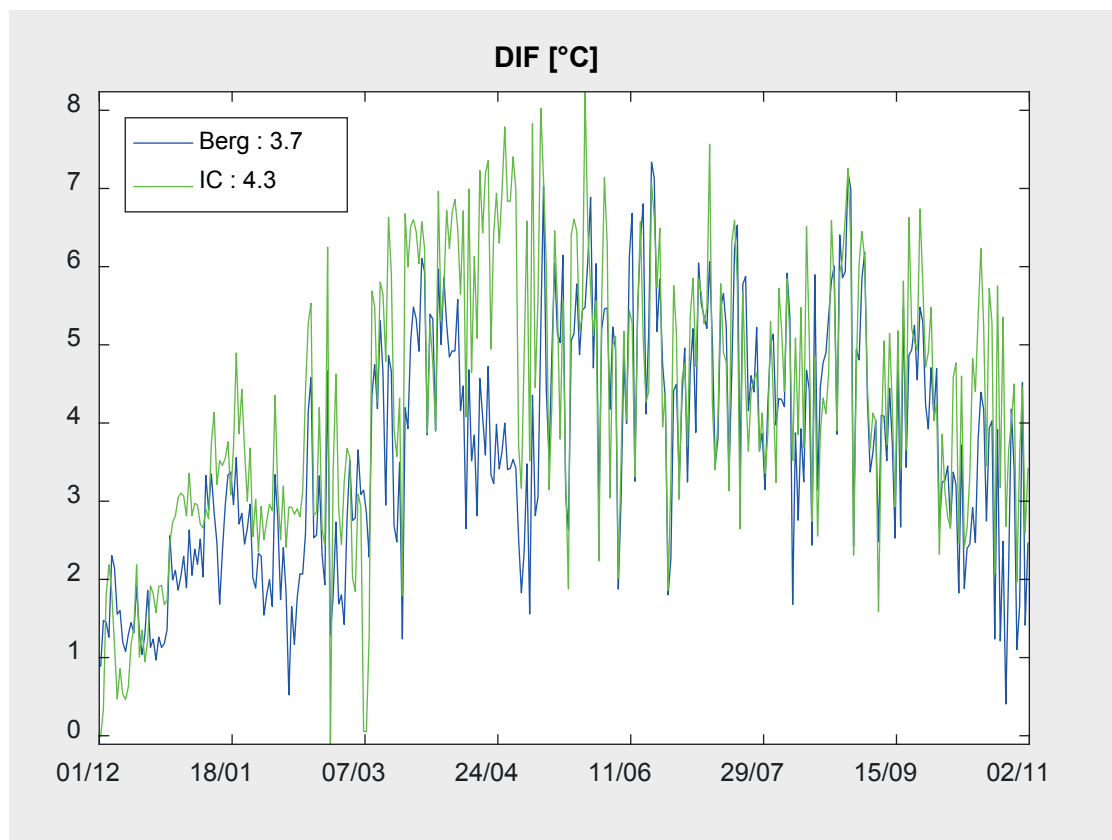
Figuur 6 laat zien dat de verwarming in beide kassen vooral 's ochtends wordt ingezet tijdens opstoken naar een hogere dagtemperatuur. 's Avonds en 's nachts werd gebruik gemaakt van de isolatie van de schermen, van het verschil tussen dag en nachttemperatuur (zie Figuur 7), en van de warmtecapaciteit van de kas en bodem, waardoor de kaslucht zonder te stoken slechts langzaam afkoelde. De afkoeling bij IC betreft bij twee gesloten schermen gemiddeld $0,035^\circ\text{C}$ per uur voor iedere $^\circ\text{C}$ temperatuurverschil tussen kaslucht en buitenlucht. In Bijlage 2 is een schatting weergegeven van de hoeveelheid warmte die 's nachts vanuit bodem en gewas naar de kaslucht stroomt en hoe hoog de k-Waarden van kasdek en scherminstallaties bij beide bedrijven zijn. De k-waarden bij 2 gesloten schermen komen neer op 3,3 en $2,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Uitgaande van de uitstralingsmonitor¹ zou een driedubbel scherm bij een half bewolkte hemel een effectieve k-Waarde hebben van 3,0 en een tweedubbel scherm een effectieve k-Waarde van $3,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. In beide berekeningen komt dit neer op een verschil van $\pm 0,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Over de uren dat beide schermen gesloten zijn geweest (3500 uren) heeft het dubbele doek hiermee $2,8 \text{ m}^3/\text{m}^2$ per jaar bespaard ten opzichte van het enkele doek.

¹ Zwart, Feije de, Esteban Baeza, Bram van Breugel, Vida Mohammadkhani en Hans Janssen, 2017, De Uitstralingsmonitor, GTB-1449

De besparing die alleen is veroorzaakt door het intensievere gebruik van de schermdoeken ten opzichte van Berg is berekend op $7,7 \text{ m}^3/\text{m}^2$. Deze berekening is uitgevoerd op basis de kasomstandigheden tijdens de schermuren van beide kassen en met de volgende aannamen:

- De k-Waarde van de kas zonder schermen is bij windstil weer gelijk aan $8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.
- Voor iedere m/s wind wordt de k-Waarde met $0,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ verhoogd.
- Het gebruik van een 100% gesloten schermdoek verlaagt de k-Waarde met 40%.
- Het gebruik van een 95% gesloten schermdoek verlaagt de k-Waarde met 29%.
- Het gebruik van een 90% gesloten schermdoek verlaagt de k-Waarde met 21%.

Deze berekeningen moeten echter gezien worden als een schatting omdat de k-Waarden niet nauwkeurig konden worden bepaald. Meting van de bodemtemperatuur zou hiervoor meer nauwkeurigheid kunnen bieden.



Figuur 8 Verschil tussen dag en nachttemperatuur (°C) per etmaal bij Berg en IC.

2.5 Globale straling en transmissie

Gezien de geringe onderlinge afstand tussen beide kassen is de gemeten hoeveelheid globale straling boven beide kassen gelijk verondersteld en is uitgegaan van de stralingsmeter van IC. De transmissie van beide kassen is gemeten op een egaal bewolkte dag, dus bij uitsluitend diffuse straling, bij geopende en gesloten schermen (Tabel 1). Ook is bij Berg de transmissie gemeten enkele weken nadat de diffuse coating is aangebracht.

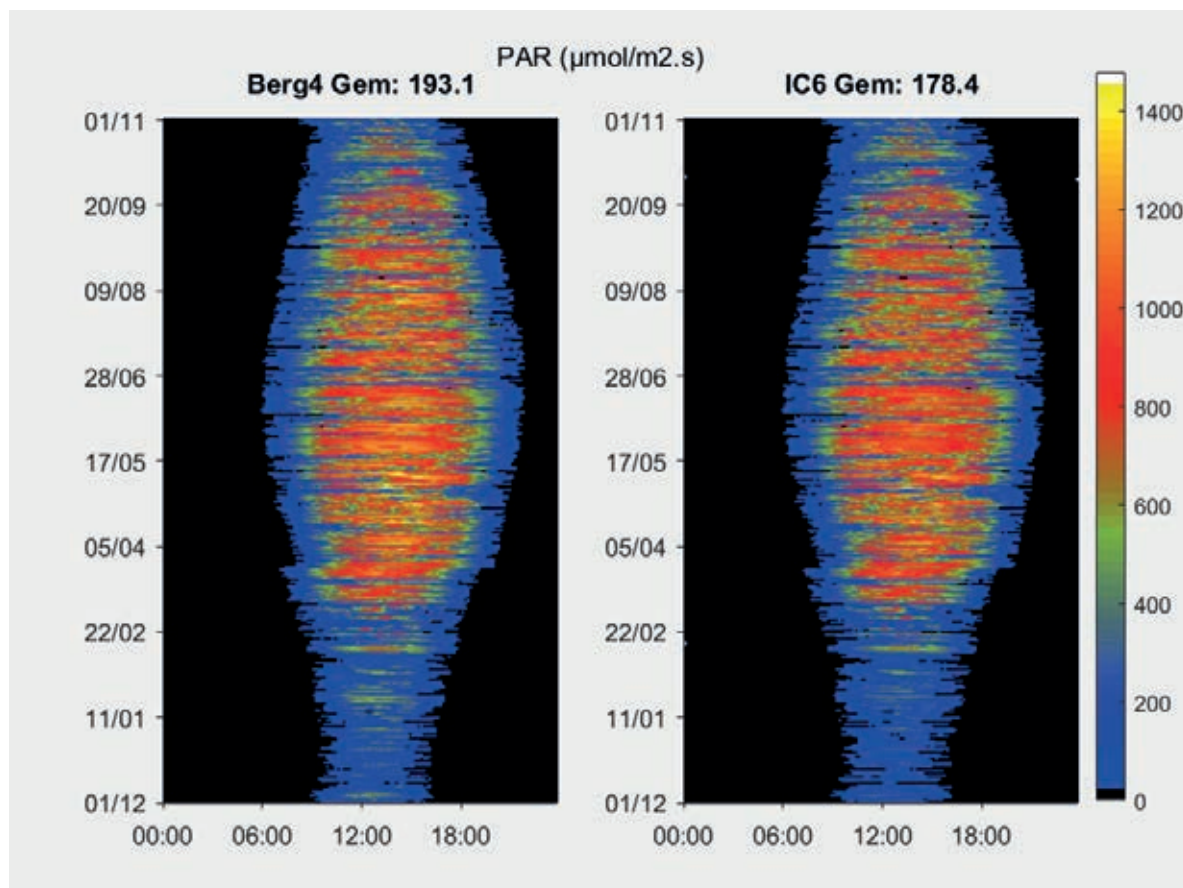
Tabel 2

Lichttransmissies van beide kassen bij verschillende schermomstandigheden.

Meetmoment	IC	Berg
Geopende schermen	69%	72%
1 gesloten scherm	55%	55%
2 gesloten schermen	39%	41%
Diffuse coating (open schermen)	-	67%

Ten opzichte van de twee oude doeken van Berg gaven de drie nieuwe doeken van IC samen evenveel lichttransmissie. Het enkele doek hield 21,5% van het binnenkomen licht tegen, terwijl dat bij het dubbele doek niet bijna twee keer zoveel was (38,3%), maar slechts 28,3%. Hoe de transmissie van het dubbele scherm nog zo hoog kan zijn is niet verklaard. Mogelijk heeft het te maken met condens op het enkele schermdoek, dat boven het dubbele schermdoek ligt en dus kouder is. Op een dubbel schermdoek zal minder vocht condenseren en minder algengroei optreden.

Uitgaande van de lichttransmissies van Tabel 1, de gemeten globale straling en een omrekeningsfactor van 2,15 μmol PAR per Joule globale straling is in Figuur 1 het verloop van de hoeveelheid PAR weergegeven. Hieruit blijkt dat over het hele seizoen de gemiddelde hoeveelheid PAR bij IC 8% lager lag dan bij Berg. Dat is voor 4% te wijten aan de lagere transmissie van het kasdek $100\% - (72-69)/72 = 4\%$, en voor 4% te wijten aan het schermgebruik.



Figuur 9 Berekende hoeveelheid PAR ($\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$) op het gewas voor beide kassen.

In Figuur 10 is weergegeven op welke momenten PAR is weggenomen door de schermen en (alleen bij Berg) de diffuse coating. Dit is berekend door voor iedere 5 minuten de hoeveelheid globale straling (in W/m²) te vermenigvuldigen met 2,15 µmol/J en met de lichttransmissie bij gesloten schermen ten opzichte van open schermen. Tezamen komt dit bij Berg en IC neer op gemiddeld respectievelijk 19,6 en 29,6 µmol/m².s, gemiddeld over 11 maanden. Gesommeerd over de hele teelt komt dit bij Berg en IC neer op 567 respectievelijk 856 mol/m² verlies aan PAR.

Het PAR-verlies bij IC door het schermen komt zowel bij lage als bij hoge globale stralingsintensiteit voor. De momenten met lage stralingsintensiteit zijn vooral doordat het scherm 's ochtends langer dicht bleef en 's avonds eerder werd gesloten. Bovendien is meer geschermd gedurende de wintermaanden. De momenten met hoge instraling betreft de uren dat de schermen zijn gebruikt voor om het gewas en de vruchten te beschermen tegen verbranding. Bij Berg is hiervoor een diffuse coating gebruikt.

De teelt bij IC heeft 1 week langer geduurd dan bij Berg. Hiermee heeft de totale teelt bij IC nog 0,8% extra PAR kunnen absorberen.

2.5.1 Diffuse coating en schermgebruik

Tabel 3

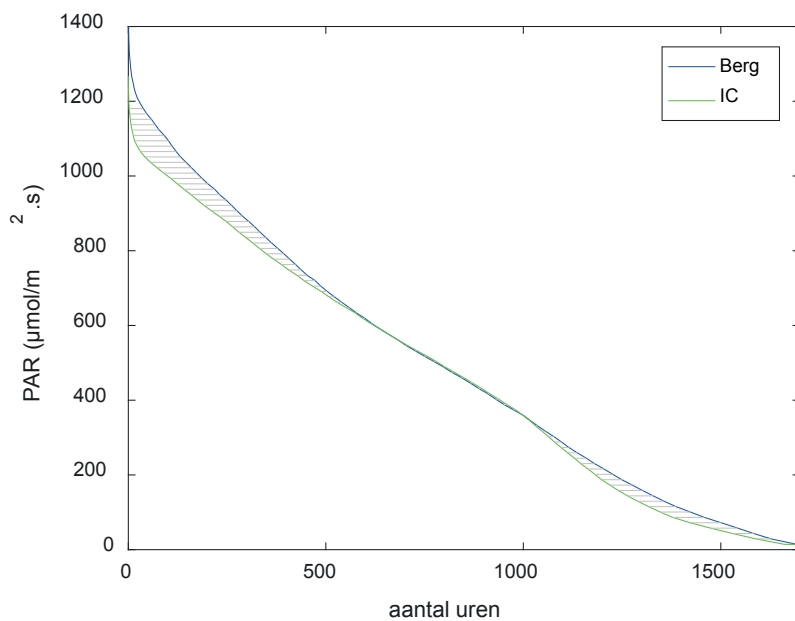
Hoeveelheid PAR (mol/m²) tussen 1 december 2016 en 1 november 2017.

	Berg	IC
PAR op het kasdek	8307	8307
Verlies door kasdek	2338	2589
Verlies door diffuse coating	234	0
Schermgewijs energie	67	275
Schermgewijs zonwering	115	310
PAR op gewas	5554	5133

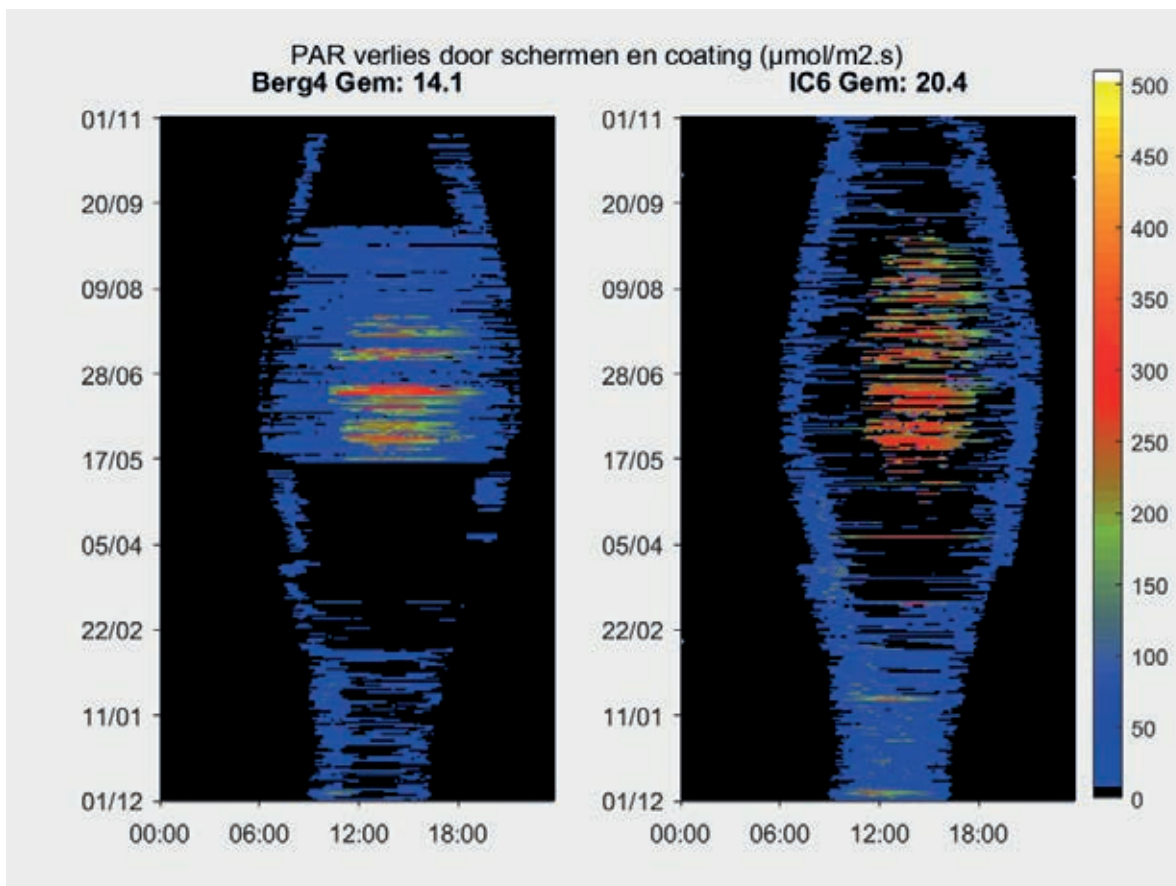
Het gebruik van de schermen om energie te besparen, heeft bij Berg $67/(5554+67)=1,2\%$ PAR gekost en bij IC was dat $275/(5133+275)=5,1\%$ van de PAR.

De diffuse coating bij Berg heeft tussen 15 mei en 9 september (117 dagen) 7% PAR weggenomen, en hiermee 234 mol/m² PAR gekost. De schermstoffen bij Berg zijn in die periode overdag soms ook (deels) gesloten geweest en hebben 3,5% PAR weggenomen. Dat is gezamenlijk 349 mol/m².

De schermstoffen bij IC hebben gedurende diezelfde periode 11,3% van de PAR (366 mol/m²) weggenomen. Het PAR-verlies door schermen bij IC is iets meer dan het PAR-verlies bij Berg, maar daar staat tegenover dat het meeste licht is weggenomen bij hoge instraling, terwijl de diffuse coating bij Berg zowel bij hoge instraling als bij lage instraling PAR heeft weggenomen. Figuur 9 laat zien hoe vaak de verschillende PAR-intensiteiten zijn opgetreden. Daaruit blijkt dat het gewas bij Berg vooral op momenten met hoge stralingsintensiteit meer PAR heeft toegelaten (± 75 mol/m² tussen intensiteiten van 630 en 1500 µmol/m².s). maar ook bij lage stralingsintensiteiten (± 32 mol/m² tussen intensiteiten van 0 en 320 µmol/m².s).



Figuur 10 Hoeveelheid PAR bij Berg en IC uitgezet tegen het aantal uren dat deze intensiteit is opgetreden, gedurende de periode dat bij Berg een diffuse coating aanwezig was (15 mei tot 9 september).

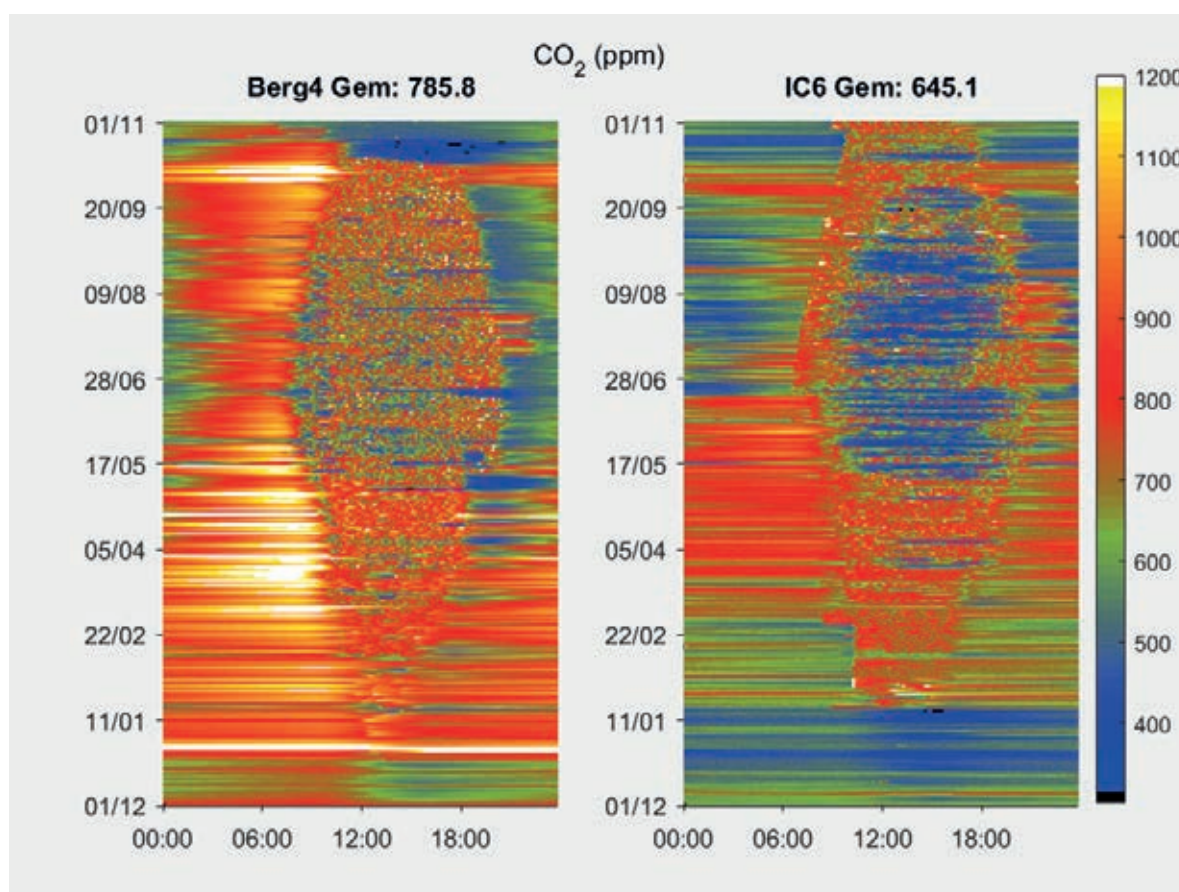


Figuur 11 Berekende hoeveelheid verlies aan PAR op het gewas voor beide kassen.

2.6 CO₂

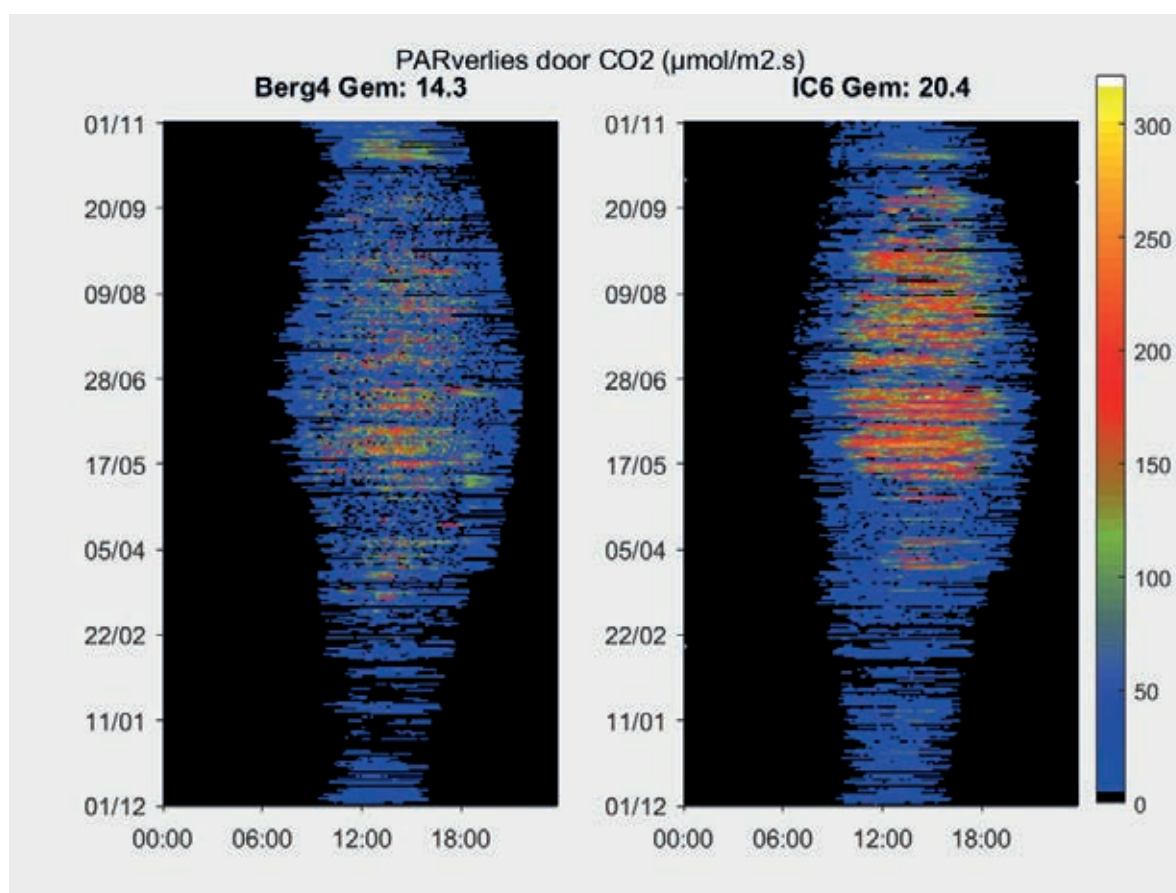
Bij IC is zuinig omgegaan met CO₂. Gedurende het hele seizoen is 14 kg/m² gedoseerd, terwijl Berg 39 kg/m² heeft gedoseerd. Bij IC was de volledige dosering afkomstig van OCAP, terwijl dat bij Berg 3,9 kg/m² was. De rest van de CO₂-dosering bij Berg is afkomstig van de WKK met rookgasreiniger. In Figuur 11 is te zien dat de hogere dosering bij Berg ook heeft geleid tot een hogere concentratie. Om de leesbaarheid te verbeteren is in Figuur 11 de gemeten CO₂-concentratie gemaximeerd op 1200 ppm. In werkelijkheid liep de CO₂-concentratie bij Berg in de nacht soms op tot 1500 ppm. Bij IC liep de CO₂-concentratie 's nachts veel minder vaak op, wat aangeeft dat de kas bij IC ondanks het extra schermdoek meer luchtuitswisseling (lek) heeft dan die van Berg. Blijkbaar hebben het kasdek en de gevel van IC meer kieren dan die van Berg. Dit komt overeen met de ervaringen met een relatief hoog VD bij IC in het begin van de teelt (zie paragraaf 2.3). Op de momenten dat bij beide kassen beide ramen gesloten zijn en er geen licht in de kas was, was de gemiddelde CO₂-concentratie 857 ppm bij Berg en 649 ppm bij IC. Bij een veronderstelde buitenconcentratie van 420 ppm en een gelijke hoeveelheid CO₂-afgifte van het gewas, betekent dat dat de hoeveelheid lek bij IC $(857-420)/(649-420)=1,9$ keer zo groot was als bij Berg.

In oktober is bij Berg overdag een tijdelijk lage CO₂-concentratie te zien. In die periode is niet gedoseerd. De CO₂-concentratie zakte dan soms naar 300 ppm. Bij IC is in december en januari ook niet gedoseerd, wat te zien is aan de lage concentratie.



Figuur 12 Verloop van de CO₂-concentratie in beide kassen gemaximeerd op 1200 ppm.

Een lage CO₂-concentratie leidt veelal tot een lagere fotosynthese. Met de CO₂-vuistregel is voor beide kassen uitgerekend hoeveel verlies aan fotosynthese de lagere CO₂-concentratie heeft opgeleverd. De CO₂-vuistregel van Nederhoff² houdt in dat bij een stijging van de CO₂-concentratie met 100 ppm de fotosynthese stijgt met $1.5 \cdot (1000/\text{CO}_2)^2$. Door ervan uit te gaan dat bij een CO₂-concentratie van 1000 ppm de hoeveelheid PAR maximaal wordt omgezet in fotosynthese, is voor iedere vijf minuten berekend hoeveel de lagere CO₂-concentratie op dat moment heeft geleid tot een lagere fotosynthese. Bij bijvoorbeeld een CO₂-concentratie van 500 ppm, is met de CO₂-vuistregel berekend dat dit leidt tot 15% minder fotosynthese dan bij 1000 ppm. Als de hoeveelheid PAR dan 1000 $\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$ is, zou je hiermee een gelijke fotosynthese hebben als bij 850 $\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$ en 1000 ppm. De lagere fotosynthese door 500 ppm minder CO₂ is op dat moment dan gelijk aan een PAR-verlies van 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$. In Figuur 12 is een overzicht per 5 minuten gegeven van de berekende PAR-verliezen door een lagere CO₂-concentratie. Bij Berg komt dit neer op een gemiddeld verlies van 14,3 $\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$, terwijl de gemiddelde berekende hoeveelheid PAR (zie Figuur 8) gelijk is aan 193,1 $\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$. In vergelijking met een CO₂-concentratie van 1000 ppm zou dus 7,4% minder fotosynthese hebben plaatsgevonden. Bij IC is de minder-fotosynthese berekend op $20,4/178,4=11,4\%$. Volgens deze modelberekeningen zou de lagere CO₂-concentratie bij IC dus hebben geleid tot $11,4-7,4=4\%$ minder fotosynthese, en minder groei dan bij Berg.



Figuur 13 Berekend verlies aan fotosynthese, veroorzaakt door een CO₂-concentratie lager dan 1000 ppm, uitgedrukt in $\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$ PAR.

2 Nederhoff, E.M. (1994): *Effects of CO₂ concentration on photosynthesis, transpiration and production of greenhouse fruit vegetable crops.*, pp. 213, Agricultural University, Wageningen, Wageningen. pp. 213.

3 Gewasgroei en productie

Bij beide kassen zijn meetveldjes bijgehouden om wekelijks de groei en ontwikkeling van de paprika's te volgen. Daarnaast zijn de gemiddelde productie en de vruchtgewichten van de gehele kas gemeten. In dit hoofdstuk worden de hieruit volgende figuren kort toegelicht.

De zetting (en daarmee de plantbelasting) kwam rond week 3 bij IC iets sneller op gang dan bij Berg, maar vanaf week 5 werd er een grote achterstand opgelopen. Mogelijk heeft de snellere aanvankelijke ontwikkeling te maken met de hogere kastemperatuur bij IC. De daaropvolgende verminderde zetting kan te maken hebben met een tekort aan assimilaten (minder PAR bij hoge temperaturen). De mindere groeikracht is nog duidelijker te zien aan de lengtegroei, die bij Berg tot week 8 70% hoger lag dan bij IC. Vanaf mei zijn bij IC ook (dubbele) vruchtjes gedund om de plantbelasting niet te hoog op te laten lopen. Voor de rest van het jaar liep de zetting van beide kassen redelijk gelijk op. Ook het gemiddeld vruchtgewicht verschilde onderling niet veel. Opvallend is wel de continu lagere plantbelasting bij Berg. Dit werd geweten aan een afwijking in het meetveld, wat vaker voorkomt bij paprikabedrijven. Door de meethandelingen kan de groei bij de meetveld negatief worden beïnvloed. De gemiddelde plantbelasting in de kas zal vermoedelijk hoger hebben gelegen.

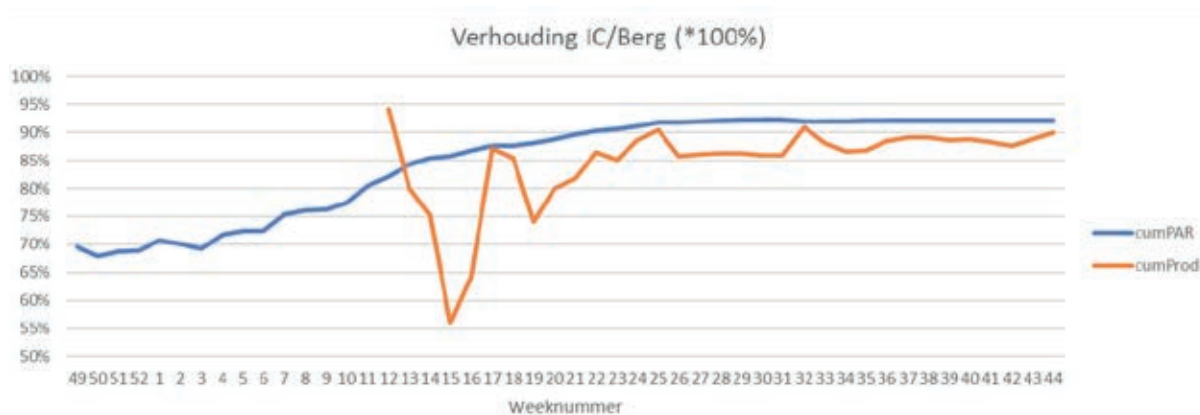
Bij IC is nog wel een extra laatste zetsel aangehouden, zodat de plantbelasting langer hoog bleef. De teelt bij IC heeft daarmee een week langer geduurd dan bij Berg.

De cumulatieve producties (geoogst gewicht) bij Berg en IC komen uit op 34,6 en 31,1 kg/m². Het verschil in geoogst gewicht komt hiermee uit op 10,1%.



Figuur 14 Vergelijking van de Zetting-Abortie, Plantbelasting, Groei, Vruchtgewicht, Productie en cumulatief aantal geoogste vruchten per week bij Berg en IC.

In Figuur 14 zijn de cumulatieve hoeveelheid PAR en de cumulatieve productie per week van beide kassen met elkaar vergeleken. Hieruit blijkt dat van het begin van de teelt tot week 4 bij IC \pm 30% minder PAR op het gewas terecht kwam dan bij Berg. Tegen het einde van de teelt was dit cumulatief nog maar 8% minder. Doordat met name het tweede zetsel bij Berg beter slaagde dan bij IC, lag de cumulatieve productie in week 16 plotseling op slechts 56% van dat van Berg, ofwel 44% verschil. Bij de productie van de volgende zetsels daalde dit verschil tot 10,1% bij het einde van de teelt.



Figuur 15 Verhouding van de cumulatieve hoeveelheid PAR en productie per week tussen IC en Berg.

Aan het einde van de teelt ligt de cumulatieve productie bij IC dus 10,1% lager dan bij Berg. Dat is minder verschil dan zou worden verwacht bij de $8 - 0,8 = 7,2\%$ lagere cumulatieve hoeveelheid PAR (zie paragraaf 2.5) en de 4% berekende fotosynthesevermindering door de lagere CO_2 -concentratie (zie paragraaf 2.6).

3.1 Investeringsruimte extra doek

Een besparing van $2,8 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{jaar}$ voor een extra doek en dradenbed levert bij een gasprijs van $0,20 \text{ €/m}^3$ jaarlijks $0,56 \text{ €/m}^2$ op. Bij een afschrijvingstermijn van 5 jaar, een 5% onderhoudskosten wordt de investeringsruimte dan $2,07 \text{ €/m}^2$. Hierbij is nog geen rekening gehouden met het extra PAR-verlies van een dubbel scherm. Met twee enkele gesloten schermen die ieder 21,5% tegenhouden zou de lichttransmissie bij IC uitkomen op 42,3% in plaats van 38,6%. Dit zou 42 mol/m^2 meer licht in de kas hebben opgeleverd, wat neerkomt op 0,8% meer PAR op jaarbasis. Indien dit leidt tot 0,8% meerproductie, (ofwel 250 g/m^2) bij een prijs van $1,5 \text{ €/kg}$, dan wordt levert dat $0,38 \text{ €/m}^2$ op. Door het dubbel maken van het doek wordt deze meeropbrengst gemist en komt de investeringsruimte neer op slechts $0,66 \text{ €/m}^2$. Dit is minder dan de kostprijs van een extra doek en dradenbed.

4 Discussie en conclusies

4.1 Discussie

De kas van IC heeft relatief $\pm 30\%$ meer buitengevel dan de kas van Berg. Dit heeft per m^2 geleid tot meer afvoer van warmte, vocht en CO_2 bij IC. Het berekende warmtegebruik bij IC is hiervoor gecompenseerd door alleen de warmte-afgifte van de buisrail te bepalen en niet de warmte-afgifte van de gevelverwarming. Deze compensatie is anders dan welke door IC is gehanteerd, waardoor IC op een warmtegebruik van $14,1$ ipv $11,4 \text{ m}^3/\text{m}^2$ is uitgekomen.

Het VD bij IC is niet gecompenseerd voor geveleffecten. Hierdoor had op de momenten dat bij IC gestookt is voor de luchtvochtigheid, de gevelverwarming wel moeten worden meegeteld.

Het verlies aan CO_2 via de gevel wordt vooral 's nachts gemeten en zal nauwelijks invloed hebben gehad op de totale hoeveelheid aan CO_2 -dosering.

De berekende besparing van het IC ten opzichte van Berg betreft $16,4 \text{ m}^3/\text{m}^2$.jaar. Hiervan is $2,8 \text{ m}^3/\text{m}^2$ verklaard door de installatie van het dubbele schermdoek en $7,7 \text{ m}^3/\text{m}^2$ door het aantal uren dat de schermdoeken zijn ingezet. De resterende $6,9 \text{ m}^3/\text{m}^2$ zijn nog niet verklaard en kunnen worden gezocht in de hierboven genoemde 'gratis' ontvochtiging via de gevel bij IC, en de grotere DIF, waardoor de zonnewarmte beter is benut. Daarnaast kan het verschil zijn veroorzaakt door onnauwkeurigheid van de k-Waarde bepaling.

Dit experiment bij IC is vergeleken met een praktijkbedrijf in plaats van met een referentie-proefkas. Dit geeft een besparing op de kosten voor een extra onderzoeksfaciliteit. Anderzijds moet op deze manier rekening worden gehouden met andere verschillen dan wat in de onderzoeksdoelstelling beschreven staat. Het belangrijkste verschil is, dat de kleine proefkas door het grote geveloppervlak en betonvloer per m^2 beteelbaar oppervlak meer vocht en warmte verliest dan een praktijkkas. De extra inzet voor warmte is hiervoor rekenkundig gecompenseerd, maar dat geldt niet voor het extra vochtverlies. Daarnaast wordt een objectieve vergelijking van de productie iets bemoeilijkt door de verschil in teeltsystemen (2 of 3 stengels per plant).

4.2 Conclusies

Volgens berekeningen op basis van de warmteafgifte van de buizen is bij IC het **warmtegebruik** uitgekomen op $11,4 \text{ m}^3/\text{m}^2$ aan aardgasequivalenten, wat 59% lager is dan de berekening voor Berg. Dit lagere warmtegebruik is toe te schrijven aan de volgende factoren:

- De hogere isolatiewaarde van het tweede (dubbele) scherm. Hiermee is ongeveer $2,8 \text{ m}^3/\text{m}^2$ bespaard.
- De 1500 respectievelijk 2500 extra schermuren van scherm 1 en scherm 2. De besparing door de extra schermuren ligt in de ordegrrootte van $7,7 \text{ m}^3/\text{m}^2$. Dit extra schermgebruik heeft bij IC tot 4% meer lichtverlies geleid ten opzichte van Berg.
- Het geleidelijk laten wegzakken van de nachttemperatuur. Hierdoor kon langer gebruik worden gemaakt van de zonnewarmte die overdag in de bodem is opgeslagen.

Ondanks het lagere warmtegebruik bij IC is de kastemperatuur zowel 's nachts als overdag hoger geweest.

Het gebruik van schermen beperkt de **netto uitstraling**. Dat is bij twee schermen het meest effectief als een kier wordt getrokken in het onderste schermdoek. Hierdoor stijgt weliswaar het (convectieve) warmteverlies, maar doordat het onderste scherm warmer wordt, stijgt de uitstraling van het schermdoek naar het gewas. Het gebruik van een kier in het onderste scherm is daarom aan te raden voor gewassen waarbij condensatie aan de bovenkant van het gewas een teeltrisico vormt.

Door de hogere isolatiewaarde van een dubbel schermdoek en het intensieve gebruik ervan is het piekverbruik met 18% verlaagd.

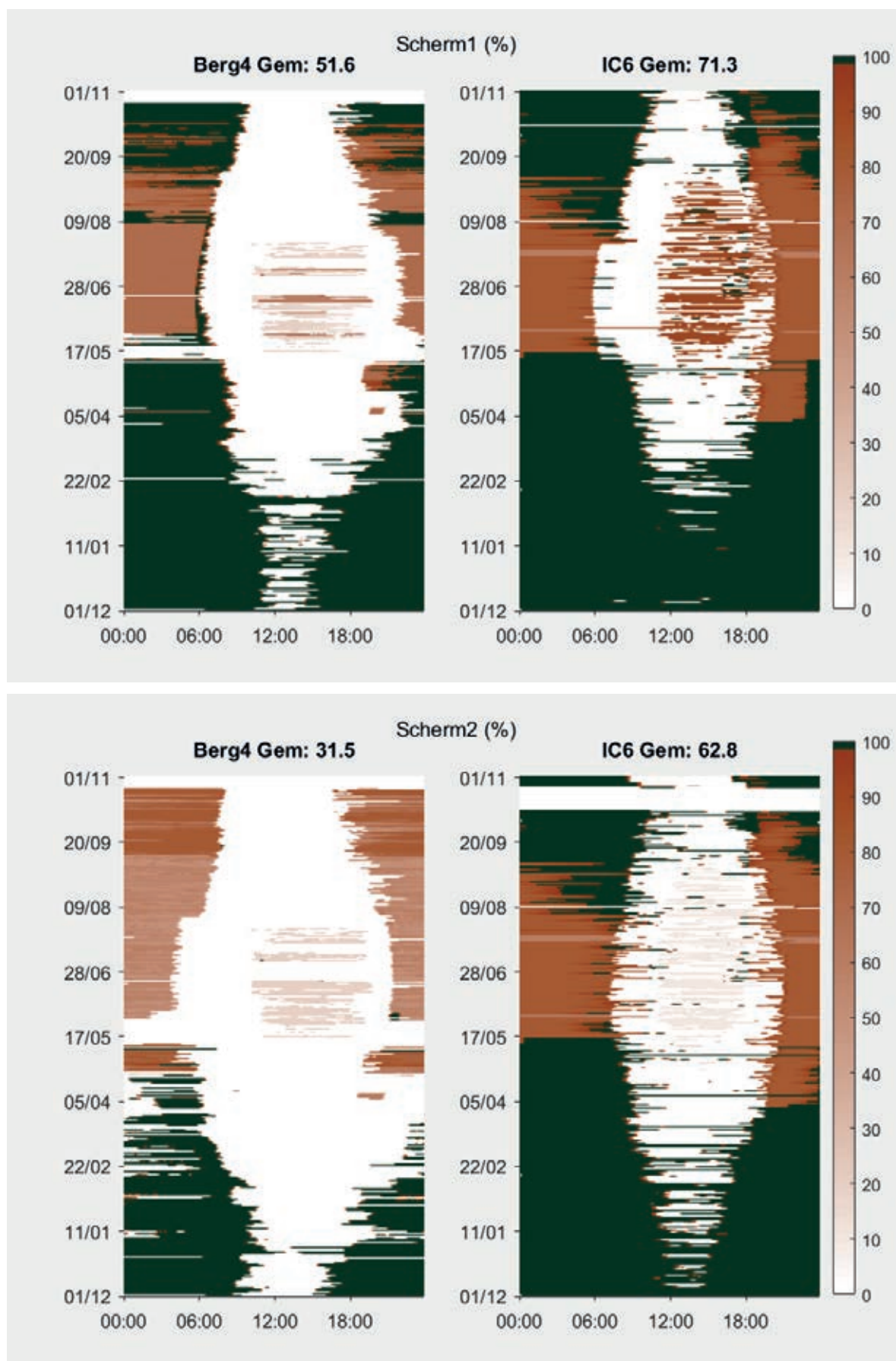
Bij beide kassen is op jaarbasis $\pm 6\%$ van de beschikbare PAR weggenomen om te **hoge instraling** te voorkomen. Bij Berg is dat uitgevoerd met diffuse coating en de schermdoeken. Bij IC zijn alleen de schermdoeken gebruikt. IC heeft daarmee tijdens hoge instraling meer PAR weggeschermd dan Berg, terwijl Berg 's zomers ook bij lage instraling PAR-verlies van de diffuse coating ondervond.

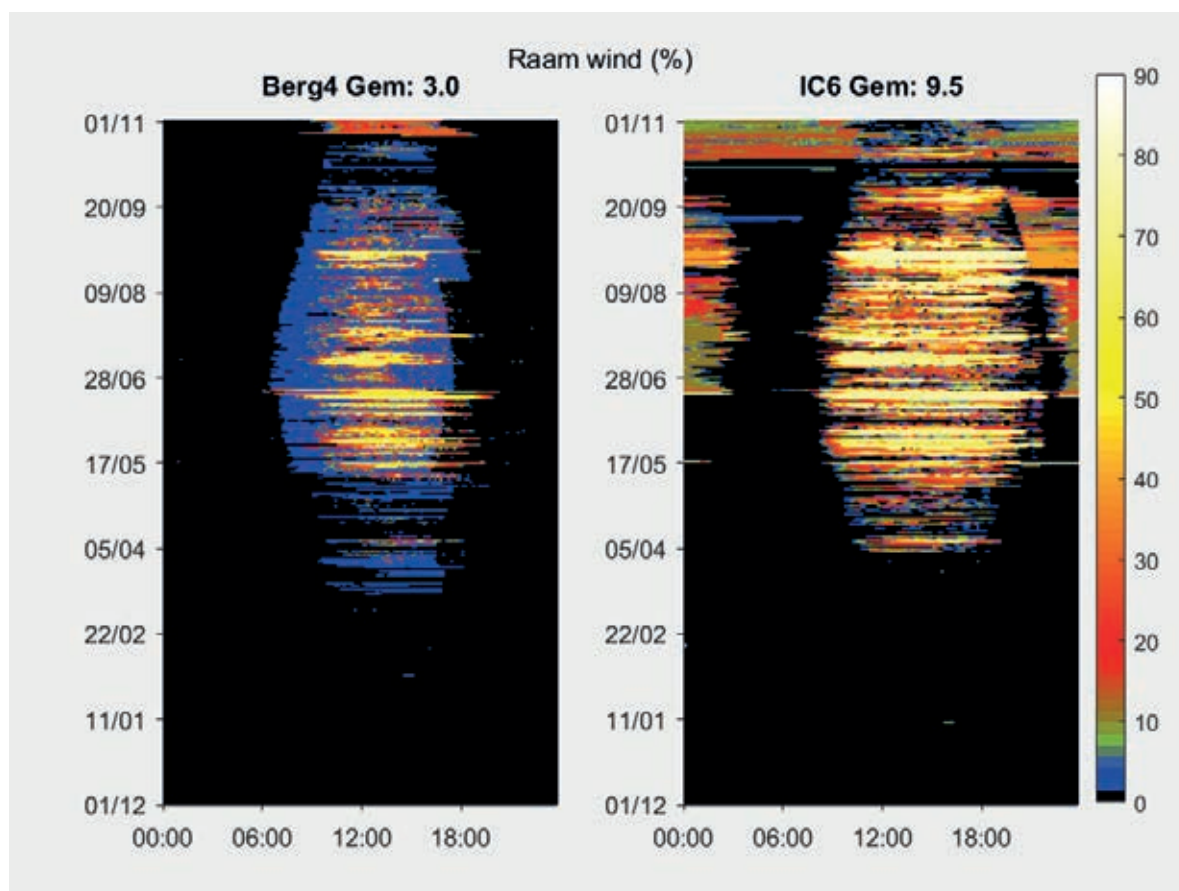
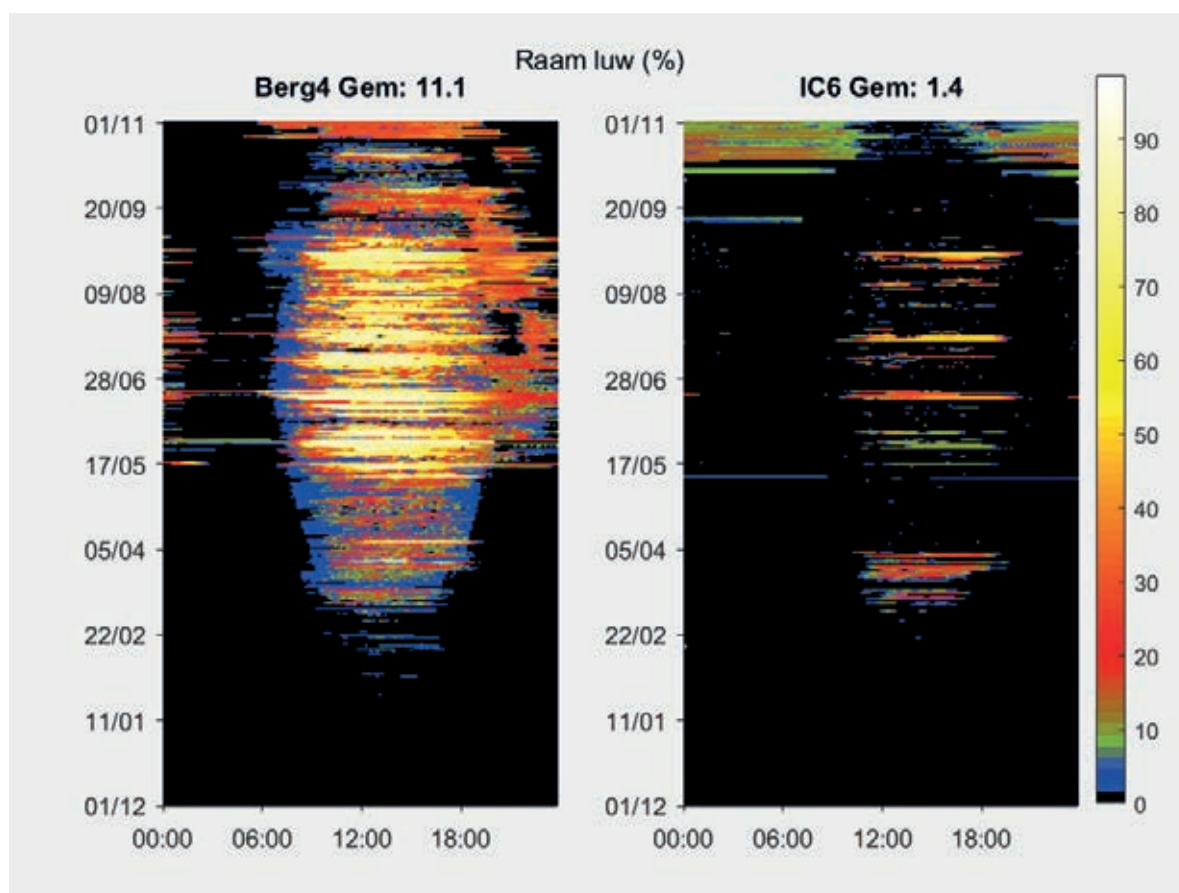
Met 14 kg/m^2 is bij IC 64% minder **CO₂** gedoseerd dan bij Berg. IC had daarmee meestal een lagere CO₂-concentratie dan Berg. Uitgaande van de CO₂-vuistregel zou met deze lagere CO₂-concentratie op jaarbasis 4% minder fotosynthese bij IC hebben plaatsgevonden.

De **productie** bij IC was $10,1\%$ lager dan bij Berg. Dit verschil is minder dan zou worden verwacht met 4% meer lichtverlies door het kasdek, 4% meer lichtverlies door intensiever schermen en 4% berekende fotosynthesevermindering door een lagere CO₂-concentratie. Wel heeft de teelt bij IC 1 week langer geduurd, waarin nog $0,8\%$ extra fotosynthese heeft kunnen plaatsvinden.

Rekening houdend met een energiebesparing van $2,8 \text{ m}^3/\text{m}^2$ en een lichtverlies van 42 mol/m^2 is de investeringsruimte voor het extra doek berekend op $0,66 \text{ €/m}^2$.

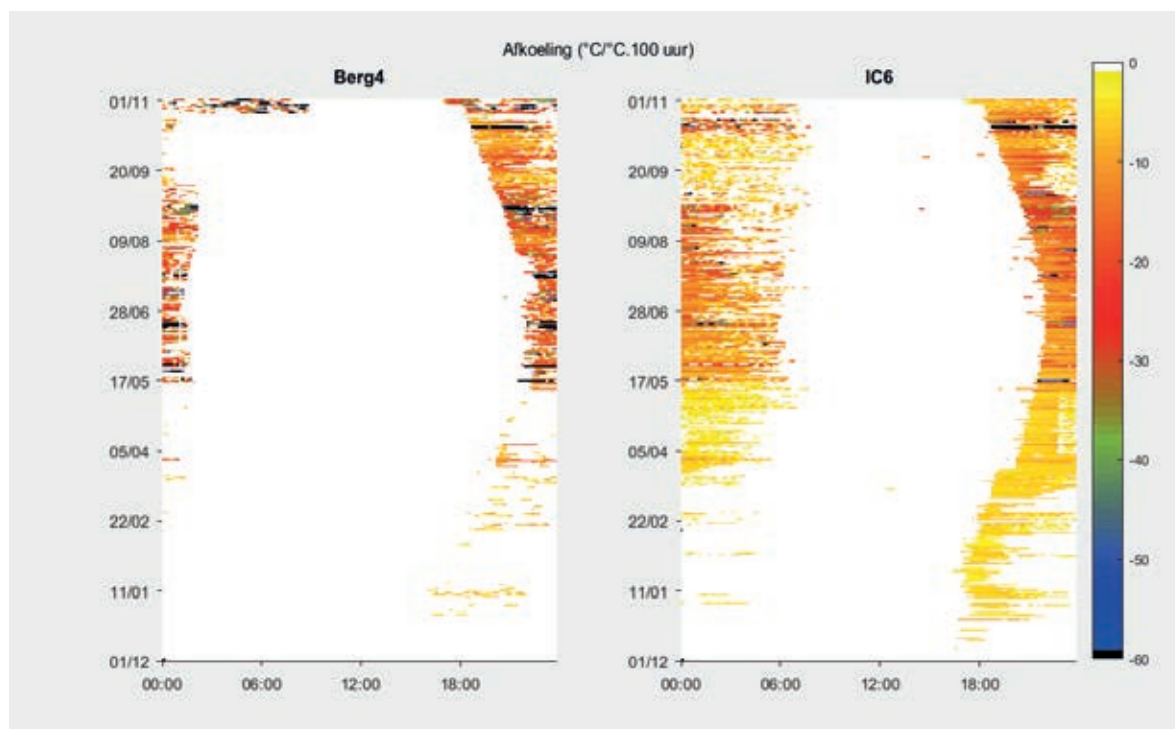
Bijlage 1 5-minuuts overzichten





Bijlage 2 Schatting van k-Waarde en warmtecapaciteit van de kas

De afkoeling bij IC betreft bij twee gesloten schermen gemiddeld $0,035^{\circ}\text{C}$ per uur voor iedere $^{\circ}\text{C}$ temperatuurverschil tussen kaslucht en buitenlucht (zie Figuur 15). Bij een kastemperatuur van 20°C en een buitentemperatuur van 5°C koelt de kas dus $(20-5)*0,035=0,53^{\circ}\text{C}$ per uur af. Naarmate de kas verder afkoelt richting buitentemperatuur gaat de afkoeling minder snel. Bovendien stijgt dan de warmtestroom vanuit de bodem naar de kaslucht.

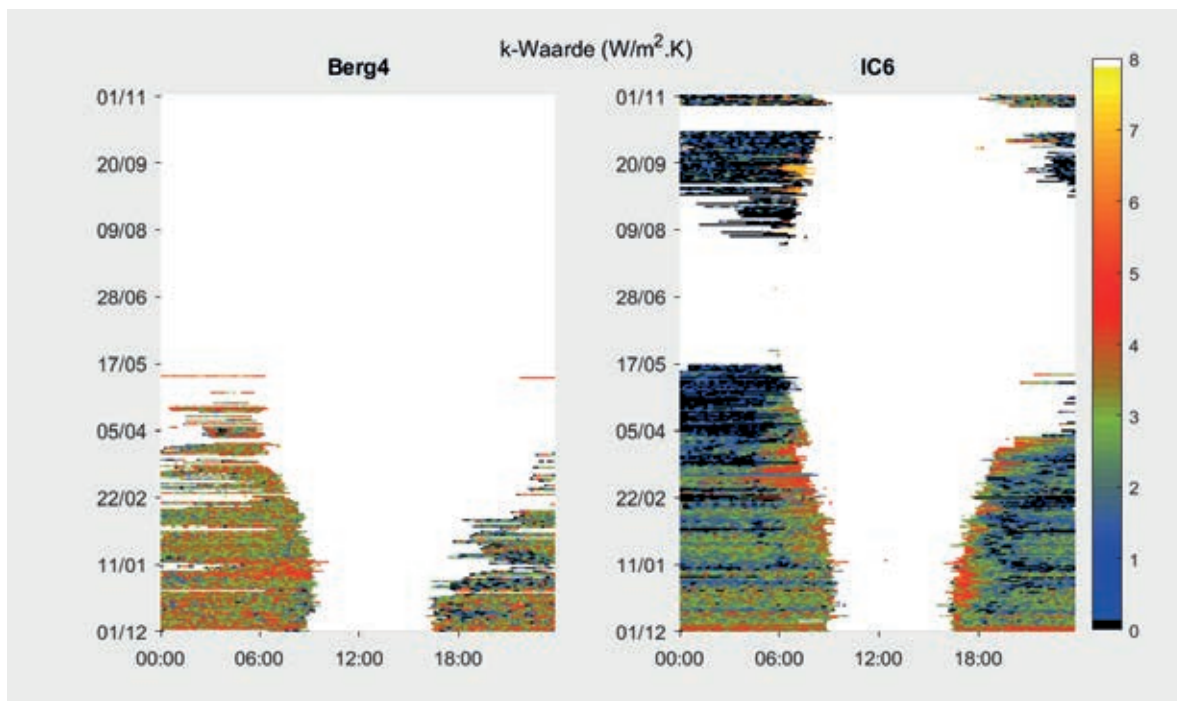


Figuur 15 Afkoeling van de kas op de momenten dat er geen zonlicht is en er niet wordt gestookt.

In Figuur 16 is de k-Waarde voor beide kassen berekend bij gesloten schermen, waarbij is uitgegaan van een warmtecapaciteit van de kas van $104 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \text{ K})^{\circ}\text{C}$. Iedere $^{\circ}\text{C}/\text{h}$ afkoeling betekent dan een warmteverlies van $104 \text{ kJ}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$, ofwel $29 \text{ W}/\text{m}^2$. Uit Figuur 16 blijkt dat de berekende k-Waarde niet gelijkmatig over de nacht is verdeeld. Vlak na het sluiten van de schermen is de k-Waarde hoger dan midden in de nacht. Dat is te verklaren doordat in de loop van de nacht het temperatuurverschil tussen de kasbodem en kaslucht steeds groter wordt, waardoor de bodem meer warmte aan de kas gaat afgeven. Vervolgens wordt bij het opstoken naar de dagtemperatuur bij IC een hogere k-Waarde berekend. Dit is te verklaren doordat er extra moet worden gestookt om de inmiddels afgekoelde bodem weer op temperatuur te brengen. Na begin april wordt de berekende k-Waarde geregeld gelijk aan 0. De afkoeling is zo gering dat deze wordt gecompenseerd door de nog relatief warme bodem.

Bij Berg wordt een gelijkmatiger kastemperatuur aangehouden, waardoor de berekende k-Waarde daar ook gelijkmatiger over de nacht is verdeeld.

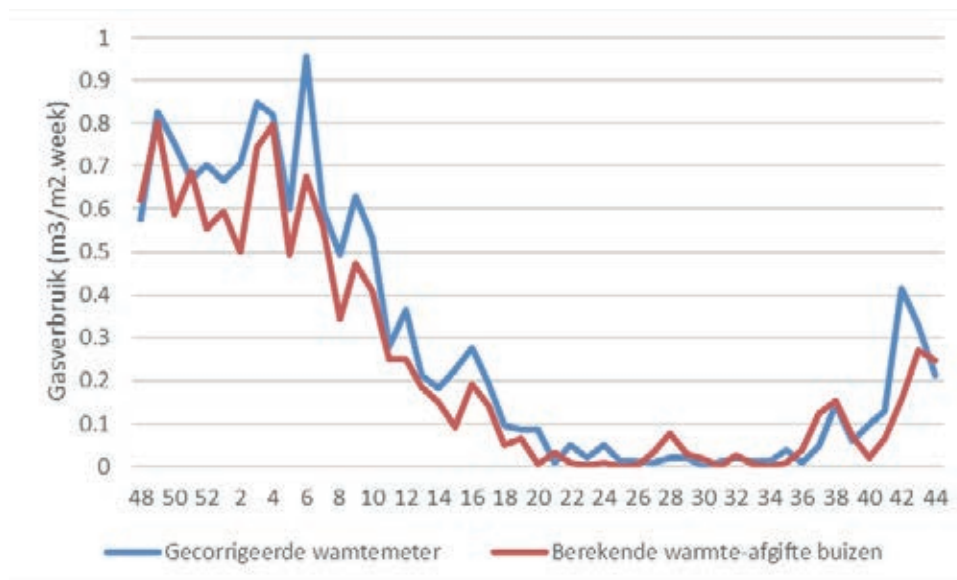
Voor de momenten dat beide kassen twee gesloten schermen hebben komt de k-Waarde gemiddeld uit op 3,3 respectievelijk $2,7 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$. Deze berekeningen zijn te grof om te bepalen in hoeverre de k-Waarde met een driedubbel scherm verschilt met die van een tweedubbel scherm. Meting van de bodemtemperatuur zou hiervoor meer nauwkeurigheid kunnen bieden. Uitgaande van de uitstralingsmonitor zou een tweedubbel scherm een effectieve k-Waarde hebben van 3,7 en een driedubbel scherm een effectieve k-Waarde van $3,0 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$. Daar komen de berekeningen aardig bij in de buurt.



Figuur 16 Berekende k -Waarde op de momenten dat schermen volledig gesloten zijn, en er geen zonlicht is. Gerekend is met een warmtecapaciteit van de kas van $104 \text{ kJ/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, wat gelijk is aan die van 25 kg water/m^2 .

Bijlage 3 Vergelijking berekend en gemeten warmtegebruik

In onderstaande Figuur is het verschil weergegeven tussen het gecorrigeerde gemeten warmtegebruik en de berekende warmte-afgifte van de buisrail bij IC. De berekende warmte-afgifte komt vrijwel het hele jaar lager uit dan de gemeten waarden. In totaal betreft het een verschil van $2,5 \text{ m}^3/\text{m}^2$ ofwel 17%. Bij Berg is de berekende warmte-afgifte juist lager dan het gemeten gasverbruik en wel met $1 \text{ m}^3/\text{m}^2$ ofwel 3,5%



- De berekende buistemperatuur kan veel hoger zijn dan de retourtemperatuur. Gerekend is met een correctiefactor van 95%, om dit verschil te compenseren. Bij een lagere retourtemperatuur is de werkelijke warmteafgifte ook lager dan berekend.
- De berekende buistemperatuur kan snel naar 0°C teruglopen, terwijl de werkelijke buis nog een tijdje warmte kan afgeven. Dit kan op jaarbasis bij IC een onderschatting van de warmte-afgifte ter waarde van maximaal $1 \text{ m}^3/\text{m}^2$ hebben gegeven.
- De warmteafgifte van de buizen kan zijn beïnvloed door luchtbeweging. Bij IC hangen nivolatoren die de werkelijke warmte-afgifte groter kunnen maken dan berekend. Dit effect zal echter vooral gelden als de buizen zich dicht bij de ventilatoren bevinden en minder voor buisrailsystemen.
- Bij IC heeft de kas $\pm 1000 \text{ m}^2$ kasdek en $\pm 400 \text{ m}^2$ buitengevel. De buitengevel heeft dus $400/1400^e = 29\%$ aandeel in het glasoppervlak naar buiten, terwijl dat bij praktijkbedrijven meestal niet meer is dan 10%. De buitengevel bij IC wordt apart verwarmd en deze verwarming wordt wel bij de meting, maar niet bij de berekening meegeteld. Om het relatief grote aandeel aan buitengevel te compenseren is op de momenten dat is verwarmd wel een correctie op de warmtemeter toegepast van $3 \text{ W}/\text{m}^2$ per °C temperatuurverschil binnen/buiten. Dit komt op jaarbasis neer op een correctie van 10%.
- Bij Berg geeft de groeibuis vanaf eind april overdag een berekende buistemperatuur aan. De circulatiepomp van de groeibuis moet afslaan als deze berekende buistemperatuur lager is dan 25°C is. De berekende groeibuis is in de zomer overdag echter vaak hoger dan 25°C, terwijl Berg aangeeft dat de pompen dan ook niet draaien. Daarom is aangenomen dat de pompen al uitgeschakeld zijn bij een berekende buistemperatuur van minder dan 31°C.
- Bij Berg wordt het gemeten gasverbruik afgeleid uit het gasverbruik van de WKK en een geschat thermisch rendement van de WKK van 51%. Bij een hoger thermisch rendement zal het 'gemeten' gasverbruik een te lage schatting geven van het werkelijke warmtegebruik.

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



Wageningen University & Research,
BU 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.wur.nl/glastuinbouw

Rapport WPR-747

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 5.000 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research 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.