



De Perfecte Chrysant teelt 1-4

Energiezuinige demonstratieteelten bij Delphy Improvement Centre

Marcel Raaphorst¹, Feije de Zwart¹, Lisanne Schuddebeurs² en Paul de Veld³

¹ Wageningen University & Research, ² Delphy Improvement Centre, ³ Delphy

Rapport WPR-752

Referaat

Bij het Delphy Improvement Centre zijn in 2017 met financiering van Kas als Energiebron, ChrIP en leveranciers, vier chrysantenteelten uitgevoerd met de volgende doelstellingen:

- Een warmtegebruik van maximaal 15 m³/m².jaar aan aardgasequivalenten (ae).
- Deze warmte dient volledig te worden onttrokken uit warmteoogst (koeling).
- Een CO₂-gebruik van 25 kg/m².jaar.
- Een elektriciteitsgebruik voor belichting van 121 kWh/m².
- 5% meer productie ten opzichte van de praktijk.

De belangrijkste middelen om deze doelstelling te bereiken zijn hybride belichting, diffuus glas met 2 AR-coatings, een extra energiedoek, 8 luchtbehandelingskasten, een warmtepomp en bronpompen. De teelten zijn uitgevoerd onder de naam 'De Perfecte Chrysant' (DPC). De gerealiseerde gebruiken van CO₂ en vooral warmte blijken lager te zijn dan de doelstelling. De hoeveelheid geoogste warmte (koeling) is veel hoger en de hoeveelheid belichting is vrijwel gelijk aan de doelstelling. Geconcludeerd wordt dat het technisch mogelijk is om met een investering in luchtbehandelingskasten, warmtepomp en bronpompen, een extra scherm en LED belichting chrysanten kunt telen zonder gas (behalve voor het stomen).

Abstract

With funding from 'Kas als Energiebron', ChrIP and suppliers, four chrysanthemums crops have been carried out at the Delphy Improvement Centre in 2017. These crops had the following targets:

- A heat use up to 475 MJ/m².yr.
- This heat must be extracted from harvesting heat (cooling).
- A CO₂-use of 25 kg/m².yr.
- A yearly electricity usage for lighting of 121 kWh/m².yr.
- 5% more production than professional growers.

The most important means to achieve this objective are hybrid lighting, diffuse glass with 2 AR-coatings, an extra energy screen, 8 air handling units, well pumps and a heat pump. The crops are run under the name 'The Perfect Chrysanthemum' (DPC). The realised use of CO₂ and heat turn out to be lower than the target. The amount of heat (cooling) harvested is much higher and the amount of lighting is almost equal to the target. It is concluded that an investment in air handling units, heat pump and source pumps, an extra screen and LED lighting makes it technically possible to grow chrysanthemums without gas, if an alternative is found for disinfection by steaming.

Rapportgegevens

Rapport WPR-752

Projectnummer: 3742226500

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	9
	1.1 Probleemstelling	9
	1.2 Doelstelling	9
	1.3 Methode	9
	1.4 Teelten	10
2	Inzet van middelen	11
	2.1 Verwarming	12
	2.2 Koeling	13
	2.2.1 Elektriciteitsgebruik koeling	15
	2.2.1.1 Watertransport	15
	2.2.1.2 Ventilatoren	15
	2.3 Ventilatie	16
	2.4 CO ₂	19
	2.5 Belichting	21
	2.6 Schermen	22
	2.7 Druppelslangen en beregening	23
	2.8 Bemesting	24
	2.9 Gewasbescherming	25
3	Kasklimaat	27
	3.1 Temperatuur	27
	3.2 RV	28
	3.3 VPD _{plant}	29
	3.4 Licht	30
4	Gewasgroei en productie	33
	4.1 Teeltplan en uitvoering	33
	4.2 Plantmeting jong gewas	33
	4.3 PAR en teeltduur	33
	4.4 Plantmeting bij oogst	34
5	Conclusies en discussie	37
	5.1 Conclusies	37
	5.2 Discussie	37
	Bijlage 1 5-minuuts overzichten	41
	Bijlage 2 Grondmonsters	43

Samenvatting

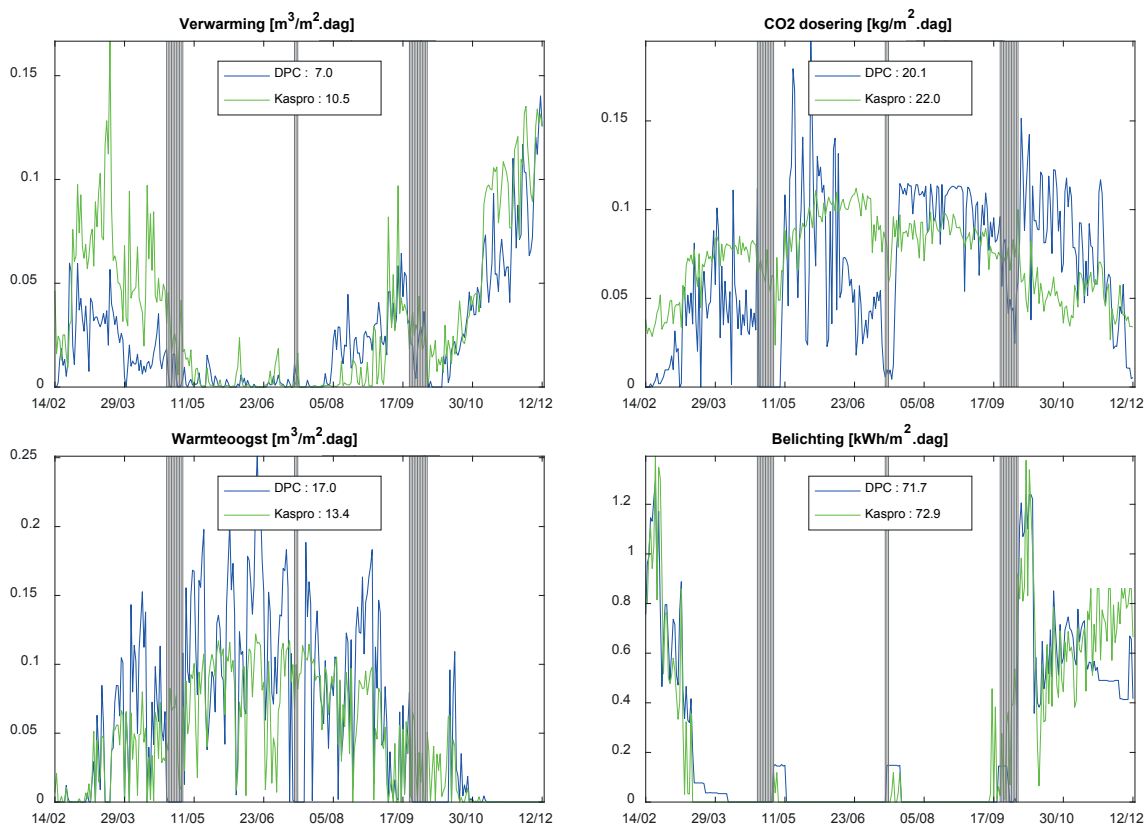
Bij het Delphy Improvement Centre zijn in 2017 met financiering van Kas als Energiebron, ChrIP, stekleveranciers, Philips, Koppert, LetsGrow.com en Horticoop vier chrysantenteelten uitgevoerd. Deze teelten hadden de volgende doelstellingen, geëxtrapoleerd op jaarbasis:

- Een warmtegebruik van maximaal $15 \text{ m}^3/\text{m}^2$.jaar aan aardgasequivalenten (ae).
- Deze warmte dient volledig te worden geproduceerd uit hoogstens $13 \text{ m}^3/\text{m}^2$ ae warmteoogst (koeling) en Elektriciteit voor een warmtepomp.
- Een CO_2 -gebruik van $25 \text{ kg}/\text{m}^2$.jaar.
- Een elektriciteitsgebruik voor belichting van $121 \text{ kWh}/\text{m}^2$.
- 5% meer productie ten opzichte van de praktijk.

De belangrijkste middelen om deze doelstelling te bereiken zijn:

- Hybride belichting: $70 \mu\text{mol}/\text{m}^2$.s SON-T en $100 \mu\text{mol}/\text{m}^2$.s LED.
- Diffuus glas met 2 AR-coatings: 80% haze, 95,5% loodrechte en 85% hemisferische transmissie.
- Verduisteringsdoek met witte onderzijde.
- Een extra energiedoek.
- Een extra schaduwdoek.
- 5 druppelslangen per bed aan het gaas bevestigd.
- 8 luchtbehandelingskasten met een koelend vermogen van $\pm 100 \text{ W}/\text{m}^2$.

De teelten zijn uitgevoerd onder de naam 'De Perfecte Chrysant' (DPC). Met het simulatiemodel Kaspro is voor een gemiddeld jaar berekend hoe het doelverbruik van warmte, CO_2 , elektriciteit en koude het best kan worden verdeeld over het jaar. In Figuur a zijn de gesimuleerde verbruiken weergegeven voor het klimaat van 2017 en vergeleken met de gerealiseerde verbruiken van DPC. Hieruit blijkt dat de gerealiseerde gebruiken van CO_2 en vooral warmte lager zijn dan volgens de simulatie. De hoeveelheid geoogste warmte (koeling) is veel hoger geweest dan de simulatie en de hoeveelheid belichting is vrijwel gelijk aan de simulatie.



Figuur a Inzet van de verwarming, CO_2 , koeling (warmteoogst) en belichting in vergelijking met een simulatie met Kaspro.

Als deze vier teelten worden geëxtrapoleerd naar een jaar, dan zou het warmtegebruik uitkomen op $11 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ ae}$. Met een warmtepomp met een COP van 4 is hiervoor ruim $8 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ ae}$ warmteoogst (= ongeveer de helft van de gerealiseerde warmteoogst van $17 \text{ m}^3/\text{m}^2$ tijdens de proef) en bijna $3 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ ae}$, ofwel $23,5 \text{ kWh}/\text{m}^2$ elektriciteit nodig. Inclusief het elektriciteitsverbruik voor bronpompen, circulatiepompen en ventilatoren kan de kas dan jaarrond worden verwarmd met $31 \text{ kWh}/\text{m}^2$ aan elektriciteit. Om de aquifer in balans te houden zal er dan wel 50% minder kunnen worden gekoeld dan wat tijdens de vier teelten is gebeurd. Door de koeling is $20 \text{ kg}/\text{m}^2$ aan CO_2 in de kas gehouden. Bij een halvering van de koeling zal dit betekenen dat een $10 \text{ kg}/\text{m}^2$ meer CO_2 nodig is of een lagere CO_2 -concentratie moet worden geaccepteerd.

Het lage warmtegebruik heeft vooral te maken met een hoge isolatiewaarde van de schermen, het accepteren van een hoge RV en het ontbreken van een minimum buis. Overdag is zelden warmte nodig omdat de zon of de lampen voldoende warmte inbrengen om de kas op temperatuur te houden. Bij weinig zonlicht is bovendien het energiescherm gesloten en 's avonds is een lagere kastemperatuur aangehouden dan bij de referentiebedrijven.

Het kasdek van DPC bleek bij bewolkte hemel een lichttransmissie te hebben van slechts 59%. Dat is veel minder dan wat gebruikelijk is bij chrysantenbedrijven. Desondanks hadden teelt 1, 2 en 4 een $\pm 7\%$ hogere productie (in kg/m^2) dan het gemiddelde van de twee referentiebedrijven. Teelt 3 bleef 30% achter door een slechte, ongelijkmatige weggroei. De reactietijd was tijdens teelt 2 en 3 korter dan bij de referentiebedrijven. Dit is te verklaren door de lagere nachttemperatuur dankzij de koeling. De hogere productie bij teelt 1, 2 en 3 is vooral te danken aan de 13% hogere plantdichtheid dan bij de referentiebedrijven.

Het takgewicht van teelt 1, 2 en 4 lag $\pm 6\%$ lager dan bij de referentiebedrijven. De takkwaliteit is door de begeleidingscommissie onderzoek (BCO) dan ook niet altijd positief beoordeeld. Met name de bloemkwaliteit en het aantal zijscheuten had beter gekund. De lage nachttemperatuur tijdens de start van de KD, maar ook luchtbeweging langs het gewas, veroorzaakt door de luchtbehandelingskasten, werden daarbij gezien als boosdoener. De houdbaarheid was soms even goed, en soms 3 dagen korter dan bij de referentiebedrijven. Bij teelt 2 is een deel van het vak met druppelslangen geïrrigeerd. Hier bleek de houdbaarheid 3 dagen langer te zijn dan die van het beregende vak.

Geconcludeerd wordt dat het technisch mogelijk is om met een investering in luchtbehandelingskasten, warmtepomp en bronpompen, een extra scherm en LED belichting chrysanten kunt telen zonder gas (behalve voor het stomen). Hiervoor is een elektriciteitsverbruik van 31 kWh/m² voor verwarming en koeling en 121 kWh/m² voor belichting nodig. Een perfecte chrysantentak en een neutrale warmtebalans voor de aquifer zijn nog niet bereikt. Hiervoor zal in ieder geval de inzet van koeling moeten worden gehalveerd. Aanbevelingen voor verbetering van de takkwaliteit zijn:

- Een lagere plantdichtheid.
- Minder luchtbeweging bij de start van de teelt.
- Een hogere RV tijdens de start van de teelt.
- Een hogere temperatuur bij de start van de teelt.
- Gebruik van druppelslangen in de tweede helft van de teelt.
- Een lagere RV tijdens het einde van de teelt.

1 Inleiding

1.1 Probleemstelling

Energie is voor de chrysantenteelt de laatste jaren als kostenpost toegenomen. Dit is ten eerste veroorzaakt door een dalende sparkspread, waardoor levering van warmte door een WKK minder rendabel is geworden en ten tweede doordat de behoefte aan een hogere winterkwaliteit meer elektriciteit voor belichting vergt. Daarbij zoekt de glastuinbouwsector naar middelen om de teelten klimaatneutraal uit te voeren, om hiermee minder afhankelijk te zijn van aardgas.

Daarnaast hebben chrysantentelers de behoefte om hun winterproductie te verhogen en hun zomerkwaliteit beter te borgen. Verhoging van de winterproductie vergt een efficiëntere benutting van zowel het zonlicht als de elektriciteit voor lamplicht. Het borgen van de zomerkwaliteit vergt de mogelijkheid om de kastemperatuur tijdens warme zomerdagen te beheersen.

Daarom is innovatie noodzakelijk om de concurrentiekracht van de Nederlandse chrysantenteelt groter te maken. De eerste stappen hierin zijn gezet door de deskstudies 'Effectief omgaan met elektriciteit bij chrysant' en 'Optimale warmtebalans Chrysant'. Uit deze deskstudies zijn een aantal opties naar voren gekomen, die interessant genoeg zijn om in een volledig teeltconcept te integreren en te toetsen op praktische haalbaarheid.

1.2 Doelstelling

Aantonen dat jaarrond een perfecte chrysant is te telen met een warmtegebruik van 15 m³/m².jaar aan aardgasequivalenten (50% besparing ten opzichte van praktijk), een CO₂-gebruik van 25 kg/m².jaar (50% besparing ten opzichte van de praktijk) en een elektriciteitsgebruik voor belichting van 121 kWh/m² (18% besparing ten opzichte van de praktijk). Hierbij dient de zomerkwaliteit te worden geborgd door de kaslucht te koelen, en de jaarrondproductie met 5% te worden verhoogd ten opzichte van de praktijk.

Aantonen dat de bij 100 W/m² koeling, de geoogste warmte kan worden hergebruikt met een warmtepomp en een aquifer, zodat niet hoeft te worden geïnvesteerd in een WKK, en de kas jaarrond kan worden verwarmd zonder aardgas.

1.3 Methode

Een kasfaciliteit bij het Delphy Improvement Centre van 1000 m² is speciaal voor chrysantenteelten ingericht met de volgende energiebesparende investeringen:

- Hybride belichting: 70 µmol/m².s SON-T en 100 µmol/m².s LED (Philips).
- Diffuus glas met 2 AR-coatings: 80% haze, 95,5% loodrechte en 85% hemisferische transmissie.
- Verduisteringsdoek met witte onderzijde (Obscura 10070 FR WB+BW).
- Een extra energiedoek (Luxous 1347 FR).
- Een extra schaduwdoek (Harmony 2315 O FR).
- 5 druppelslangen per bed aan het gaas bevestigd.
- 8 luchtbehandelingskasten (OPAC) met een koelend vermogen van 100 W/m².

In deze kasfaciliteit zijn in 2017 vier teelten energiezuinig uitgevoerd. De resultaten (teeltsnelheid, takgewicht, bloemkwaliteit, energiegebruik) van een cultivar (Baltica) zijn vergeleken met een prognose voor energiegebruik en productie per teelt. Daarnaast zijn gegevens verzameld van twee praktijkbedrijven met dezelfde cultivar, geteeld in dezelfde periodes. Op de betreffende afdeling van het Delphy Improvement Centre zijn daarnaast vier veldjes met andere cultivars worden opgezet om een indruk te krijgen van de reactie van andere rassen. Ook wordt een deel van de afdeling tijdens de kortedag periode iedere dag een uur lang na de start van de nacht belicht met 5 µmol/m².s verrood, met het doel om te onderzoeken of deze methode een eventuele vertraging van de reactietijd bij het gebruik van LED-licht kan voorkomen.

Aan het einde van iedere teelt is de kwaliteit van het gewas en het energiegebruik vergeleken met een prognose en de realisatie van twee praktijkbedrijven.

Voor de hele kas is energiezuinige klimaatbeheersing toegepast om de gestelde energiedoelen te bereiken. Dat houdt in:

- Het nastreven van een hoge RV van 93% en 1°C lagere stooktemperatuur dan de praktijk. In de loop van het project is deze opzet veranderd in een relatief warme LD-periode bij een hoge luchtvochtigheid (max 95%), om de jonge planten zo snel mogelijk te laten ontwikkelen, en tijdens de KD-periode een nachttemperatuur van 17-19°C. Gedurende het teeltverloop is ook een steeds lagere RV (tot 88%) aangehouden om te voorkomen dat de houdbaarheid negatief wordt beïnvloed.
- Bij hoge nachttemperaturen wordt gekoeld om vertraging te voorkomen.
- De efficiëntere LED lampen worden in de hybride belichting zo veel mogelijk benut. Dit houdt in, dat de LED belichting tijdens de LD-periode vrijwel continu brandt en tijdens de KD periode alleen overdag tot 1 uur voor het begin van de nacht. De SON-T schakelt sneller af, zodat deze overdag 4-8 uren branden, afhankelijk van de hoeveelheid zonlicht. 1 uur voor het begin van de nacht branden de SON-T lampen omdat op dat moment een laag aandeel aan verrood de reactietijd kan verlengen.
- Het energiescherm wordt gesloten bij een buitentemperatuur lager dan 15°C, welke grens wordt verlaagd met 1°C per 10 W/m² straling.

Het energieverbruik voor verwarming en belichting is dagelijks vastgelegd.

Adviseurs van Delphy hebben alle teelten nauwgezet gevolgd en indien nodig bijgestuurd. Wekelijks zijn de resultaten van de afgelopen periode getoond aan een begeleidingscommissie onderzoek (BCO). Deze BCO bestaat telkens uit ± 3 telers uit een groep van 10, een adviseur van Delphy en afgevaardigden van de stekleveranciers en andere participanten. De BCO beoordeelt de teelten en geeft adviezen over de verdere voortgang.

Het project is mogelijk gemaakt met financiering vanuit Kas als Energiebron, ChrIP en de stekleveranciers Deliflor, Dümme Orange, Van Zanten, Dekker en Floritec, en is ondersteund door de participanten Philips, Koppert, Horticoop en LetsGrow.com.

1.4 Teelten

Teelt		1		2		3		4	
plantdatum		14 februari		4 mei		14 juli		2 oktober	
	wk.dag	Wk7 dag2		Wk18 dag4		Wk28 dag5		Wk40 dag1	
		DPC	Ref	DPC	Ref	DPC	Ref	DPC	Ref
plantdichtheid	#/m ²	60	52.5	67	60	59	56.5	52.5	50
LD	dagen	9	9	8	8	8	10	10	9

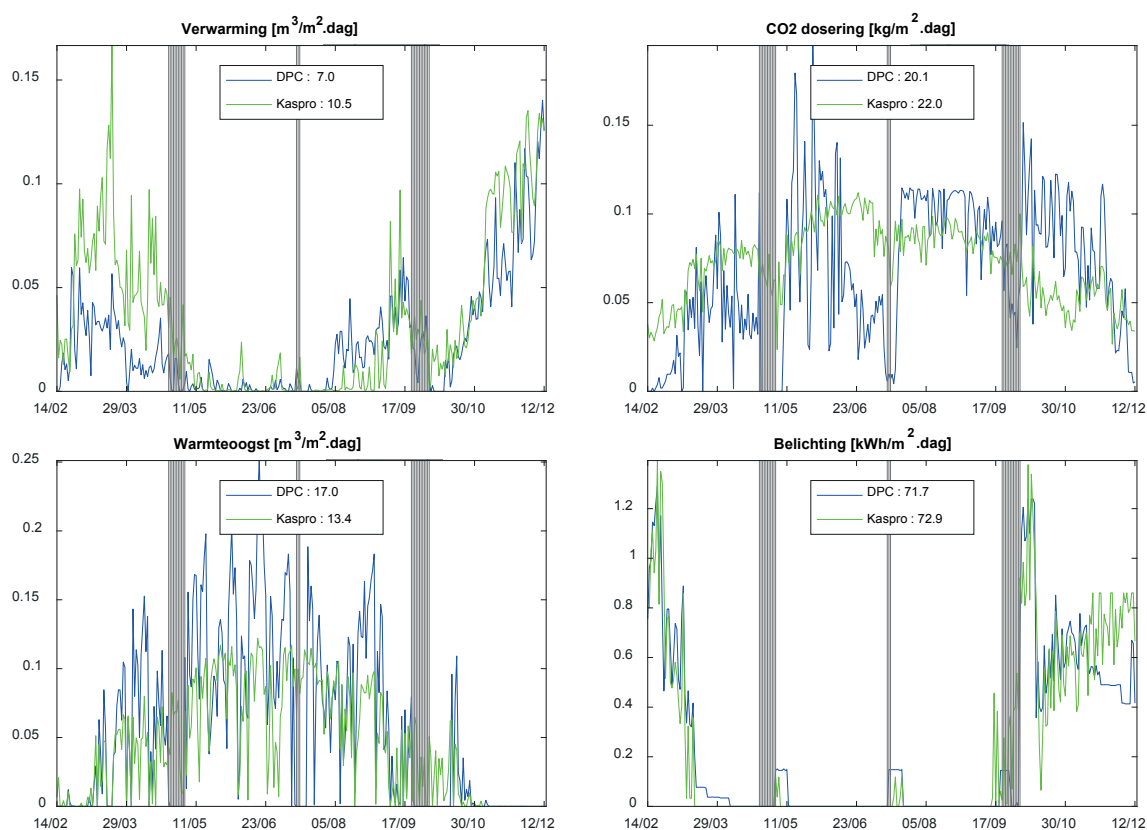
2 Inzet van middelen

Bij aanvang van het project zijn simulaties uitgevoerd met Kaspro op basis van een gemiddeld buitenklimaat. Dit was nodig om een indruk te krijgen op welke manier de in de doelstelling bepaalde hoeveelheid verwarming, CO₂, koeling en belichting kunnen worden ingezet. Na afloop van de eerste vier teelten zijn de simulaties herhaald voor het buitenklimaat van 2017 en vergeleken met de gerealiseerde waarden (zie Figuur 1). Bij de verwarming blijkt dat met name tijdens de eerste teelt veel minder warmte is ingezet ten opzichte van de simulatie. Dat komt met name doordat er minder vocht is afgevoerd dan berekend in de simulatie. Bij latere teelten is een lagere RV aangehouden, waardoor meer uitwisseling met buitenlucht (door minimum raamstand en schermventilatoren), en het warmtegebruik soms zelfs boven de simulatie uitkomt. Het totale warmtegebruik 'piek van 7 m³/m²' voor vier teelten is ver beneden verwachting.

De koelingsinstallatie heeft een grotere capaciteit dan verwacht, waardoor ook de totale warmteoogst uitkomt op 17 m³/m² aan aardgasequivalenten. Dit zou op jaarbasis nog iets hoger uit kunnen komen omdat er tijdens de teeltwisselingen niet is gekoeld.

De totale CO₂-dosering is iets lager dan berekend in Kaspro, al betreft de CO₂-meting van februari t/m mei een schatting (zie paragraaf 2.4).

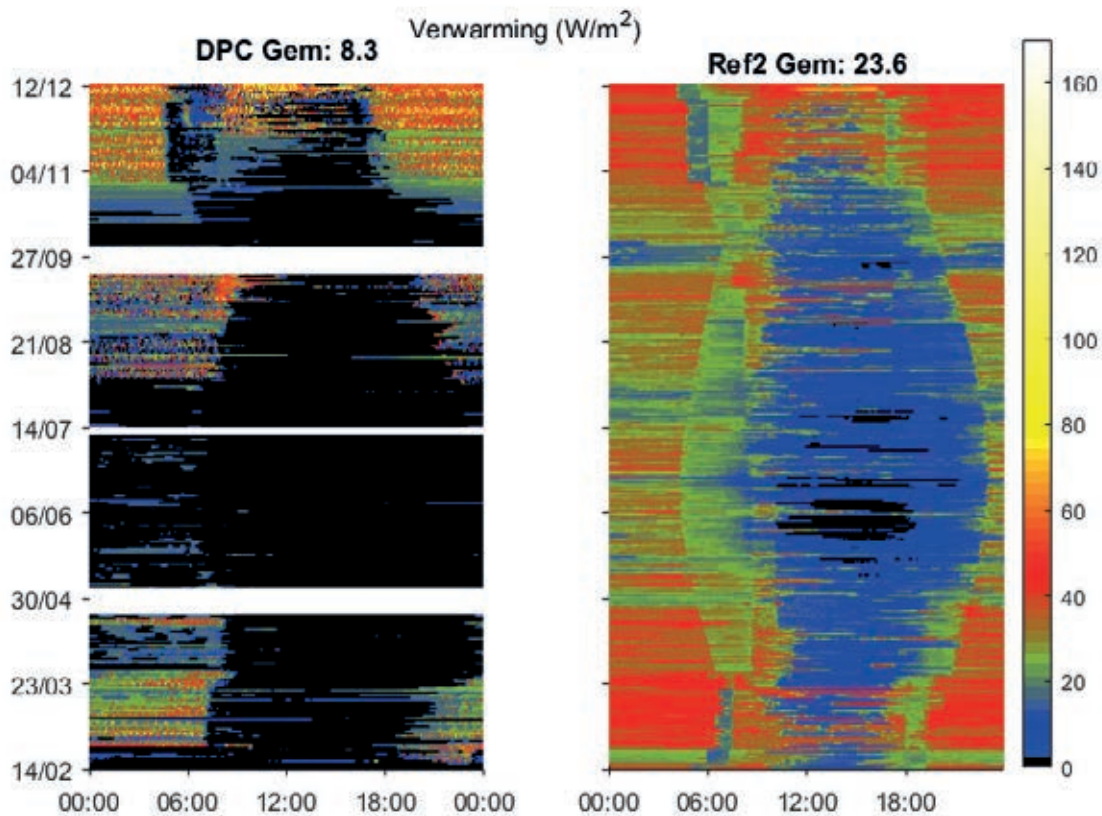
De totale belichting is gelijk aan de berekeningen in Kaspro. Alleen is in teelt 4 ervoor gekozen om in het begin van de teelt meer te belichten en aan het einde van de teelt minder. Dit was met het idee dat het gewas aan het einde van de teelt het licht minder omzet in assimilaten (bloemen hebben nauwelijks fotosynthese) en dat het gewas dan al volgroeid is.



Figuur 1 Inzet van de verwarming, CO₂, koeling (warmteoogst) en belichting in vergelijking met een simulatie met Kaspro.

2.1 Verwarming

De verwarming is bij De Perfecte Chrysant veel minder vaak ingezet dan bij praktijkbedrijven. In Figuur 2 is de vergelijking weergegeven met referentiebedrijf 2. (Van referentiebedrijf 1 ontbreken te veel data om deze hier weer te geven). Hierin is te zien dat bij het referentiebedrijf vrijwel altijd een minimum buistemtemperatuur is aangehouden, terwijl bij De Perfecte Chrysant alleen warmte is ingezet als de temperatuur lager werd dan de streefwaarde. Overdag is dan zelden extra warmte nodig omdat de zon of de lampen dan voldoende warmte leveren om de streefwaardetemperatuur te bereiken. De hoogste piekbelasting is wel gerealiseerd bij DPC, doordat de OPAC's een hogere verwarmingscapaciteit hebben dan de verwarmingsbuizen. Door schommelingen in de regeling kan daardoor de momentane verwarming hoog worden. Dit is met name te zien in de nachten van teelten 1 en 4.



Figuur 2 5-minuutsoverzicht van het warmtegebruik van DPC en referentiebedrijf 2.

Voor het opwekken van $7 \text{ m}^3/\text{m}^2$ aan aardgasequivalenten, is de benodigde elektriciteit van de warmtepomp als volgt berekend:

De COP voor verwarming van de warmtepomp is bepaald als $COP_w = 0.5 * \frac{273+T_w}{T_w-6}$

- 0,5 is het aangenomen Carnotrendement van de warmtepomp, en gangbare waarde voor moderne warmtepompen.
- 273 (K) geeft de omrekening van °C naar K.
- T_w staat voor verwarmingswatertemperatuur vanuit de warmtepomp.
- 6 staat voor de temperatuur waarmee de warmtepomp koud water maakt die in de aquifer wordt opgeslagen voor gebruik van koeling in de zomer.

Om enig voordeel te kunnen behalen uit het feit dat de warmtevraag over het etmaal nooit constant is zal de warmtepomp op een praktijkbedrijf worden aangesloten op een buffer. Dit betekent dat de buffer, en dus ook de warmtepomp, met een constante temperatuur zal worden geladen. In een praktijksituatie zal een afweging moeten worden gemaakt tussen een hoge laad-temperatuur en een kleine buffer, maar een lagere COP of een lagere laad-temperatuur, waardoor de COP verbetert, maar de buffer groter gemaakt zal moeten worden. Voor de luchtbehandelingskasten is de aanvoertemperatuur nooit hoger geweest dan 40°C. Daarmee is 45°C een voldoende richtwaarde voor de uittrede temperatuur van de warmtepomp.

Als we hiervan uitgaan en van een uittrede temperatuur van 6°C aan de koude kant dan is een COP van 4 een realistische waarde. In dat geval zou voor het produceren van 7 m³/m² aan aardgasequivalenten 15 kWh/m² nodig zijn voor de warmtepompen.

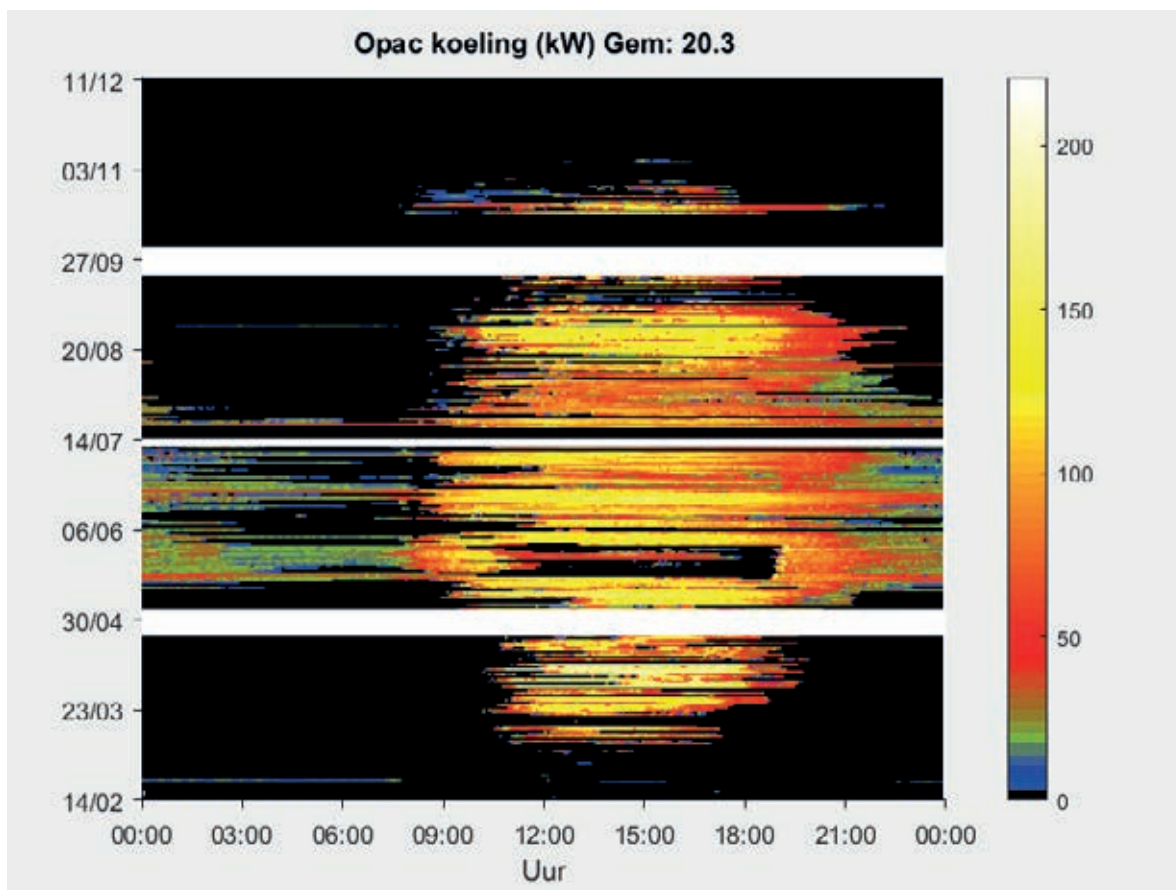
Daarnaast is ook elektriciteit nodig voor het rondpompen van water van en naar de aquifer en voor de ventilatoren van de luchtbehandelingskasten. In de volgende paragraaf wordt 1 kWh/m² per jaar voor het pompen over de aquifer berekend. De ventilatoren zullen bij het verwarmen, wat deels ook via de verwarmingsbuizen plaatsvindt en slechts gedeeltelijk via de OPACs, minder gebruiken dan tijdens het koelen. Daarom wordt het stroomverbruik van de ventilatoren tijdens de verwarming op 1.5 kWh gesteld. Het gezamenlijke elektriciteitsverbruik voor het verwarmen van vier teelten komt daarbij neer op 15 + 1 + 1,5 = 17.5 kWh/m². Indien op jaarbasis de hoeveelheid verwarming wordt gesteld op 11 m³/m² aardgasequivalenten, dan zal het elektriciteitsverbruik voor verwarming neerkomen op 27,5 kWh/m².

2.2 Koeling

De koelinstallatie is gedimensioneerd op 100 W/m², maar in werkelijkheid kan de koelcapaciteit oplopen tot meer dan 200 W/m². Dit wordt al bereikt bij een kastemperatuur van 28°C, een aanvoertemperatuur van 7°C en een ventilatorstand van 95%. Door deze hoge koelcapaciteit is op jaarbasis meer warmte geoogst dan noodzakelijk. Naast warmteogst heeft koeling twee doelen:

1. Door te koelen kunnen de ramen dicht blijven en kan er meer CO₂ in de kas worden gehouden. Berekend is dat dankzij het koelen 20 kg minder CO₂ per m² is gedoseerd. Zonder koeling zou de CO₂-dosering dus moeten worden verdubbeld om dezelfde CO₂-concentratie te krijgen.
2. Door te koelen kan de kastemperatuur worden verlaagd. Met name als het verduisteringsdoek moet worden gesloten is het 's zomers lastig om zonder koeling de kastemperatuur te verlagen. Een te hoge kastemperatuur kan leiden tot bloeivertraging.

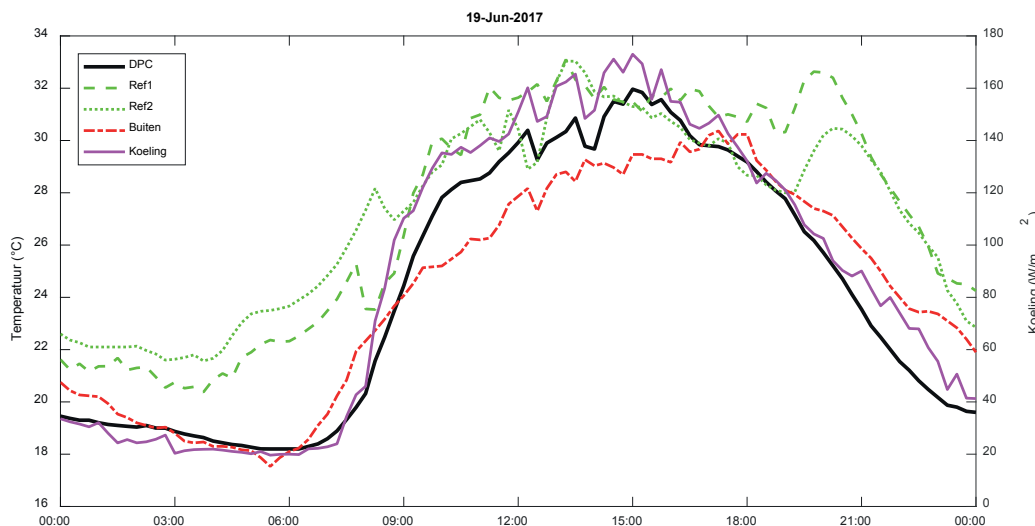
Verreweg de meeste koeling (85%) is ingezet voor het gesloten houden van de luchtramen en slechts een klein deel om bij gesloten doek de kastemperatuur te verlagen. Aan Figuur 3 en Figuur 4 is te zien dat de ingezette koelcapaciteit bij gesloten schermen (dus na 19:00 uur) rond 19 juni nog wel ± 100 W/m² was, maar de meeste tijd lag het koelvermogen bij gesloten schermen niet hoger dan 60 W/m².



Figuur 3 5-minuutsoverzicht van de koeling (kW/1000 m², of W/m²) bij DPC.

Het is de vraag of het zinvol is om te koelen bij een jong gewas, dat te weinig blad heeft om zichzelf te koelen. De lucht uit een luchtbehandelingskast is veelal vochtiger dan koude buitenlucht, of er is minder volume van nodig dan van warme buitenlucht. Hierdoor blijft de kaslucht in een gekoelde kas gemiddeld vochtiger dan in een kas die met buitenlucht gekoeld wordt. Vanwege dit minder schrale klimaat is bij de start van teelt 2 gebruik gemaakt van de koelers. De koelers geven echter een behoorlijke luchtbeweging, wat door de BCO als negatief werd gezien. Daarom is bij de start van teelt 3 en 4 niet meer gekoeld en bij teelt 3 is in plaats daarvan gebruik gemaakt van het schaduw scherm.

Het effect van het koelen onder het scherm na een zonnige dag is te zien in Figuur 4. De kastemperatuur van De Perfecte Chrysant is ondanks de $\pm 150 \text{ W/m}^2$ koeling niet lager dan bij de twee referentiebedrijven en ligt enkele graden hoger dan de buitentemperatuur. 's Avonds om 19:00 uur, als het doek sluit, stijgt de temperatuur bij de referentiebedrijven, en daalt de kastemperatuur bij DPC tot wel 6°C ten opzichte van de referentiebedrijven. De kastemperatuur daalt zelfs nog iets onder de buitentemperatuur.



Figuur 4 Verloop van het koelvermogen, de kasttemperaturen van DPC en de twee referentiebedrijven, en de buitentemperatuur op 19 juni.

2.2.1 Elektriciteitsgebruik koeling

In het experiment is meer warmte via de koeling geoogst dan er in de winter voor de verwarming nodig is. Met de koeling is 17 m³/m² per jaar aan aardgas equivalenten verzameld terwijl er voor de verwarming maar 7 m³/m² over deze 4 teelten gebruikt is. Over een vol jaar wordt dit mogelijk 11 m³/(m² jaar), wat aan de koude zijde van de warmtepomp ongeveer 8 m³/(m² jaar) warmteonttrekking aan de aquifer zou betekenen.

Koeling met een intensiteit zoals in de proef toegepast zou betekenen dat de helft van de geoogste warmte zou moeten worden vernietigd om de warmtebalans over de aquifer in evenwicht te kunnen houden. In een klimaatneutrale bedrijfsvoering, het uiteindelijke doel wat met het project 'De Perfecte Chrysant' mogelijk gemaakt moet worden is warmtevernietiging ongewenst, dus zal de koeling ongeveer gehalveerd moeten worden.

Doordat de koeling plaatsvindt met water dat in de winter uitgeoeld is, wordt het elektriciteitsverbruik voor de koeling uitsluitend bepaald door het stroomverbruik van de ventilatoren van de OPAC's en het pompvermogen om water te circuleren.

2.2.1.1 Watertransport

In een aquifersysteem dat op jaarbasis in balans is, zal 8 m³/m² aardgasequivalenten, ofwel 250 MJ/m² moeten worden geoogst. Een m³ water die 10°C wordt opgewarmd, levert 42 MJ aan koeling. Per m² moet er dus 250/42 = 6 m³ water worden rondgepompt voor koeling en warmteoogst. Bij een pomp rendement van 65% en een drukverval van 5·10⁵ Pa (= 5 bar) kost dit 6·5·10⁵ /65% = 10·10⁶ J/m², ofwel 1.3 kWh/m². Hierbij is nog geen rekening gehouden met het feit dat niet alle warmte via de aquifer hoeft te worden gebufferd. Een deel van de warmte zal binnen het etmaal worden verzameld en weer gebruikt, zodat 1 kWh/m² per jaar een reëel getal is voor de pomp-energie van koelwater vanuit de aquifer.

2.2.1.2 Ventilatoren

Het maximaal opgenomen vermogen van de ventilatoren is 0,5 kW per stuk, ofwel 4 W/m² voor de afdeling van 1000 m². Het opgenomen elektrisch vermogen is niet lineair met de ventilatorstand. Het opgenomen elektrisch vermogen is berekend met de formule:

$$\text{Opgenomen vermogen} = \text{Maximaal vermogen} * \text{Ventilatorstand}^{2.5}$$

Als alleen wordt gekeken naar de momenten dat de ventilatoren draaiden voor koeling, komt het elektriciteitsverbruik in het afgelopen experiment uit op 4,4 kWh/m². Met het gegeven dat er bij een klimaatneutrale bedrijfsvoering de helft minder hoeft te worden gekoeld, zal het energieverbruik voor de ventilatoren tijdens de koeling op 2.2 kWh/m² gesteld moeten worden.

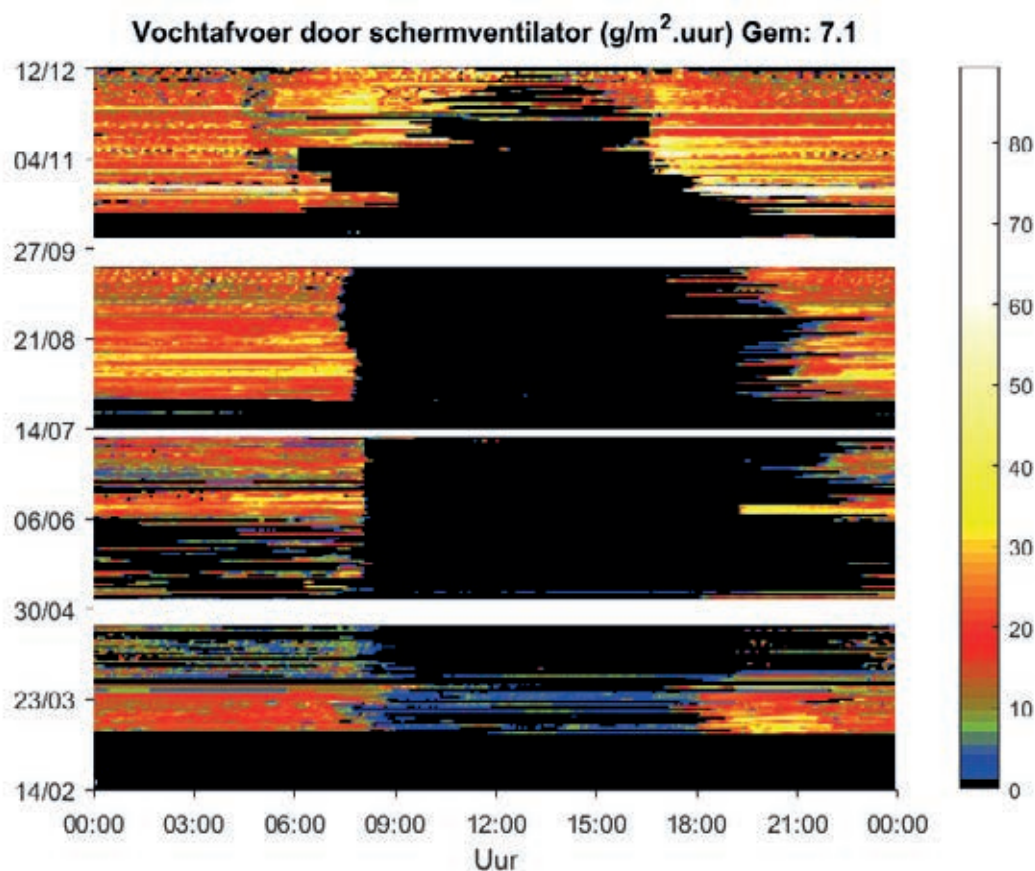
2.3 Ventilatie

De schermventilatoren zijn vaak ingezet om droge lucht van bovenin de kas naar onder een of twee gesloten schermen te blazen. De gemiddelde ventilatorstand (dag en nacht) is 24% geweest. Op de momenten dat de schermventilator heeft gedraaid, was de gemiddelde stand 54%. Gedurende 370 uren, met name in de zomerperiode waarin het AV-verschil tussen de lucht boven en onder het scherm klein is, is de maximum ventilatiecapaciteit gebruikt (zie Bijlage 1).

Door het AV-verschil tussen de kaslucht en de lucht boven het scherm te meten, is berekend dat gemiddeld 7,1 g/m².uur aan vocht is verdreven (zie Figuur 5). Voor de momenten dat de schermventilator heeft gedraaid, is dat dat gemiddeld 16 g/m².uur. Op piekmomenten (bijvoorbeeld rond 22 oktober) zou zelfs meer dan 80 g/m².uur aan vocht zijn verdreven. Dit is echter onwaarschijnlijk hoog omdat het chrysantengewas 's nachts niet zo veel verdampt. De hoge meting van vochtafvoer kan de volgende oorzaken hebben:

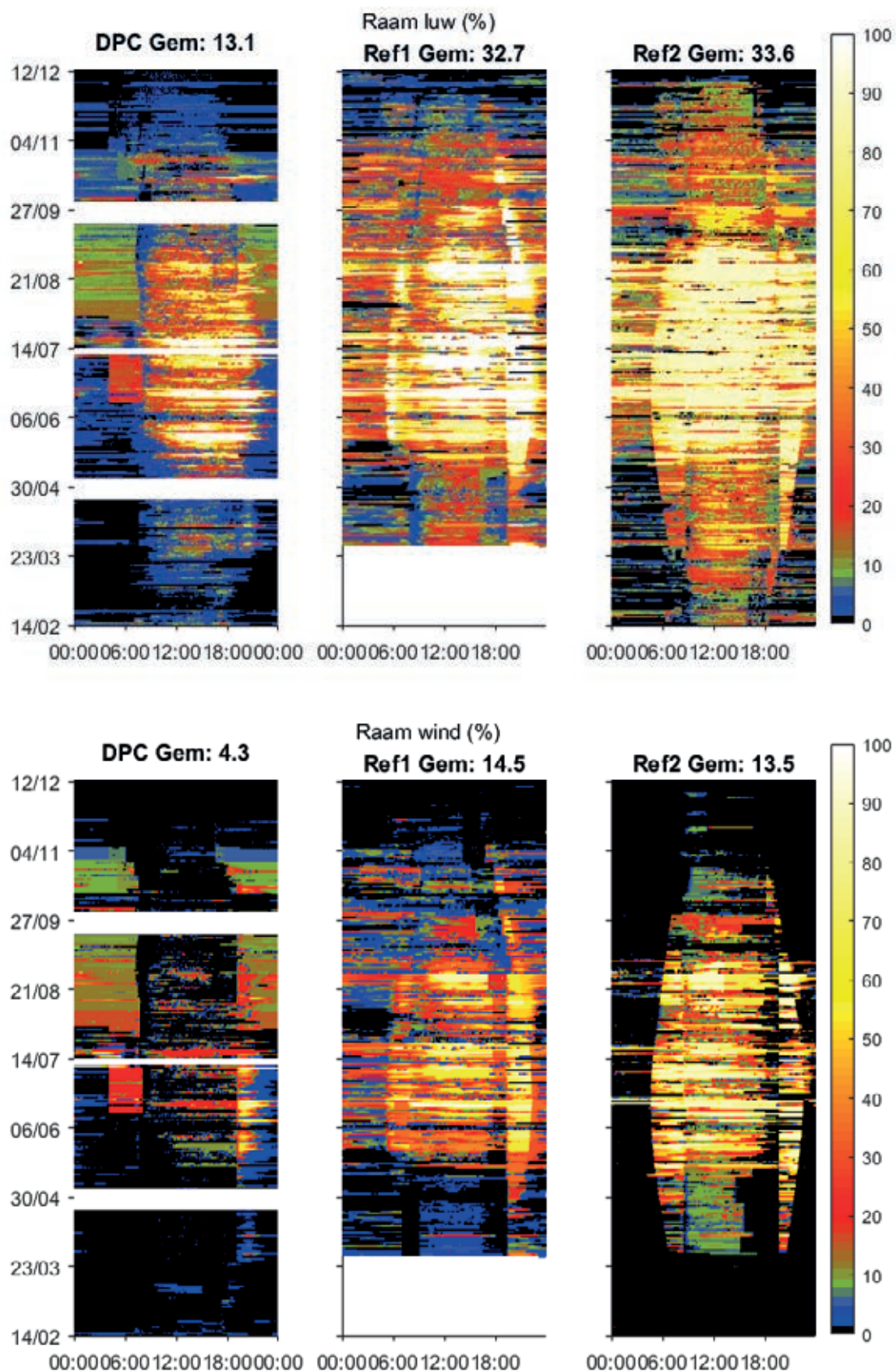
- De hoeveelheid luchtuitwisseling is berekend door de ventilatorstand te vermenigvuldigen met de maximale capaciteit. Mogelijk is de gerealiseerde luchtuitwisseling soms lager dan berekend, bijvoorbeeld door verstopping.
- Het verschil tussen de AV boven en onder het scherm is gebaseerd op meetboxen in het midden van de kas, terwijl de lucht bij de luchtbehandelingskasten langs de zijgevels in de kas wordt geblazen. Mogelijk is het AV-verschil bij de luchtbehandelingskasten soms kleiner dan in het midden van de kas, bijvoorbeeld doordat vochtige kaslucht wordt rondgepompt doordat het via schermdoek direct terugstroomt naar de aanzuiging van de schermventilator.

De berekende vochtafvoer in Figuur 5 dient dus slechts te worden bekeken als een indicatie. De eerste weken van de teelt zijn de schermventilatoren zelden gebruikt. De jonge planten verdampen nog niet veel en omdat ze nog niet veel wortels hebben wordt de verdamping nog niet te veel gestimuleerd.



Figuur 5 5-minuutsoverzicht van de hoeveelheid vocht die via de schermventilatoren is afgevoerd.

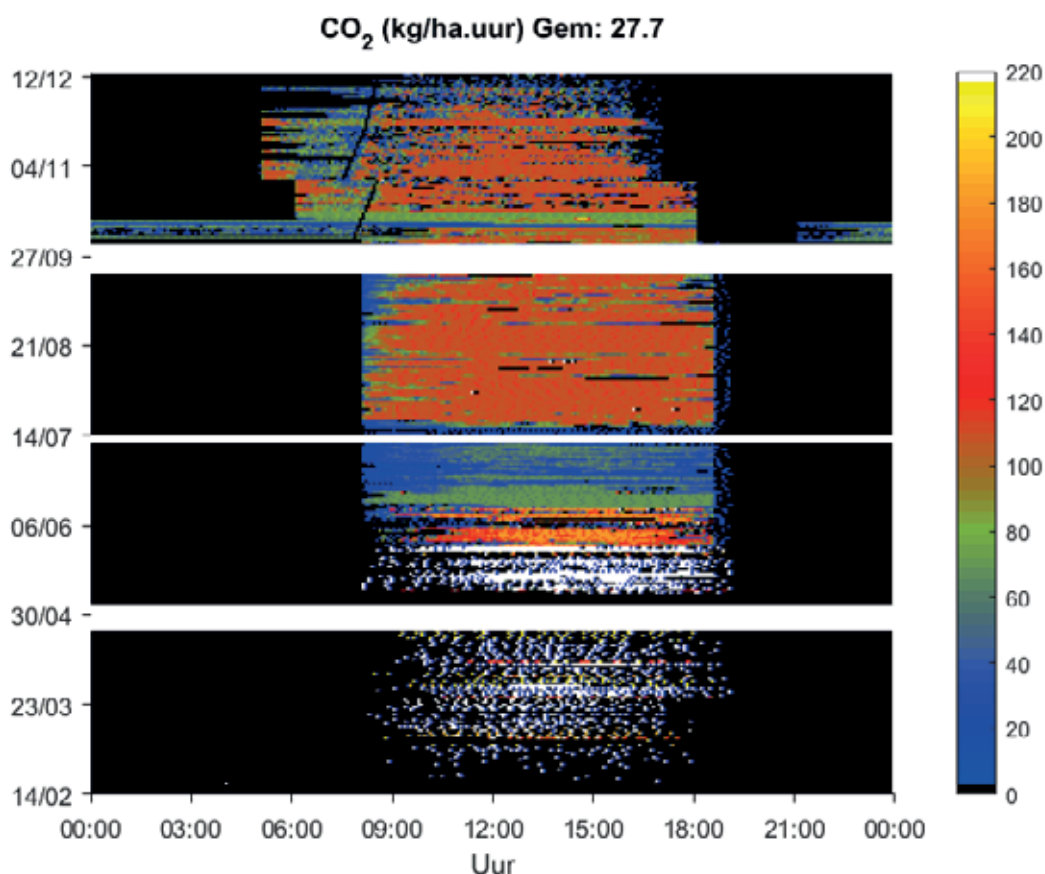
In Figuur 6 zijn de raamstanden van DPC vergeleken met die van de twee referentiebedrijven. Daarin valt op dat de raamstanden gemiddeld meer dan de helft lager zijn dan bij de referentiebedrijven. Dit is overdag deels veroorzaakt door de koeling en 's nachts door de mogelijkheid om lucht door de schermen te blazen. Vooral als de zon schijnt en het verduisteringsdoek nog dicht ligt, valt op dat bij de referentiebedrijven een hoge raamstand wordt aangehouden, terwijl dat bij DPC veel minder het geval is.



Figuur 6 5-minuutsoverzicht van de raamstanden aan de luwe zijde (boven) en de windzijde (onder) van DPC en de twee referentiebedrijven.

2.4 CO₂

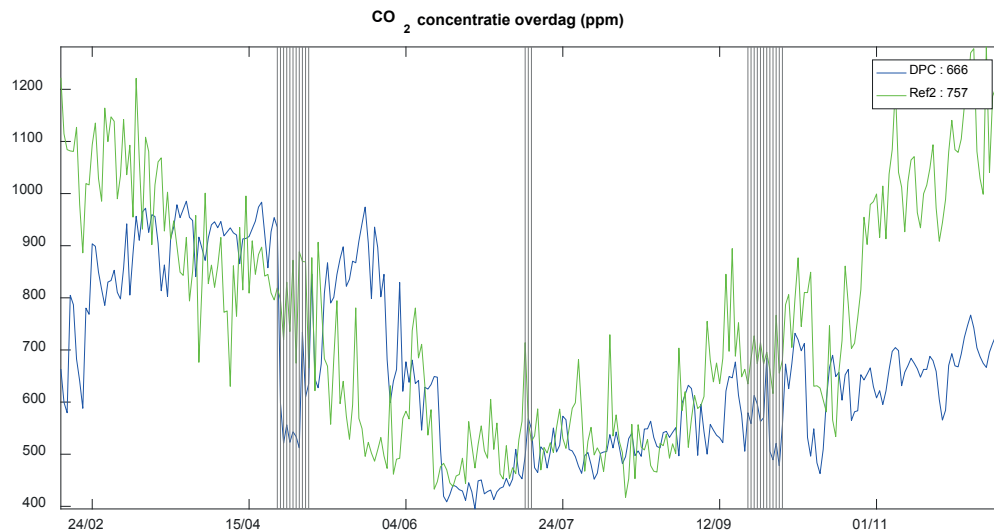
De CO₂-dosering bleek de eerste maanden niet goed gemeten te zijn. Dat is op 29 mei gedeeltelijk en op 14 juni geheel hersteld. De doseringshoeveelheid tot die tijd is achteraf gecorrigeerd door de gemeten CO₂-dosering te vermenigvuldigen met een factor 20 (tot 29 mei) of 2,5 (van 30 mei tot 14 juni), waarbij een maximum is ingesteld op 220 kg/ha.uur. Dit maximum is gesteld omdat de gezamenlijke aansluitcapaciteit van het Improvement Centre niet hoger is dan 220 kg/ha.uur. Deze maximum waarden zijn in Figuur 7 te zien als witte vlekken. Na het herstel van de CO₂-doseringsmeting op 14 juni is er minder gedoseerd (zie Figuur 1) en is een lagere CO₂-concentratie gerealiseerd (zie Figuur 8). Dit was ter compensatie van de hogere dosering bij het begin van teelt 2. Bij teelt 3 is weer een normale dosering aangehouden.



Figuur 7 5-minuutsoverzicht van de CO₂-dosering bij DPC.

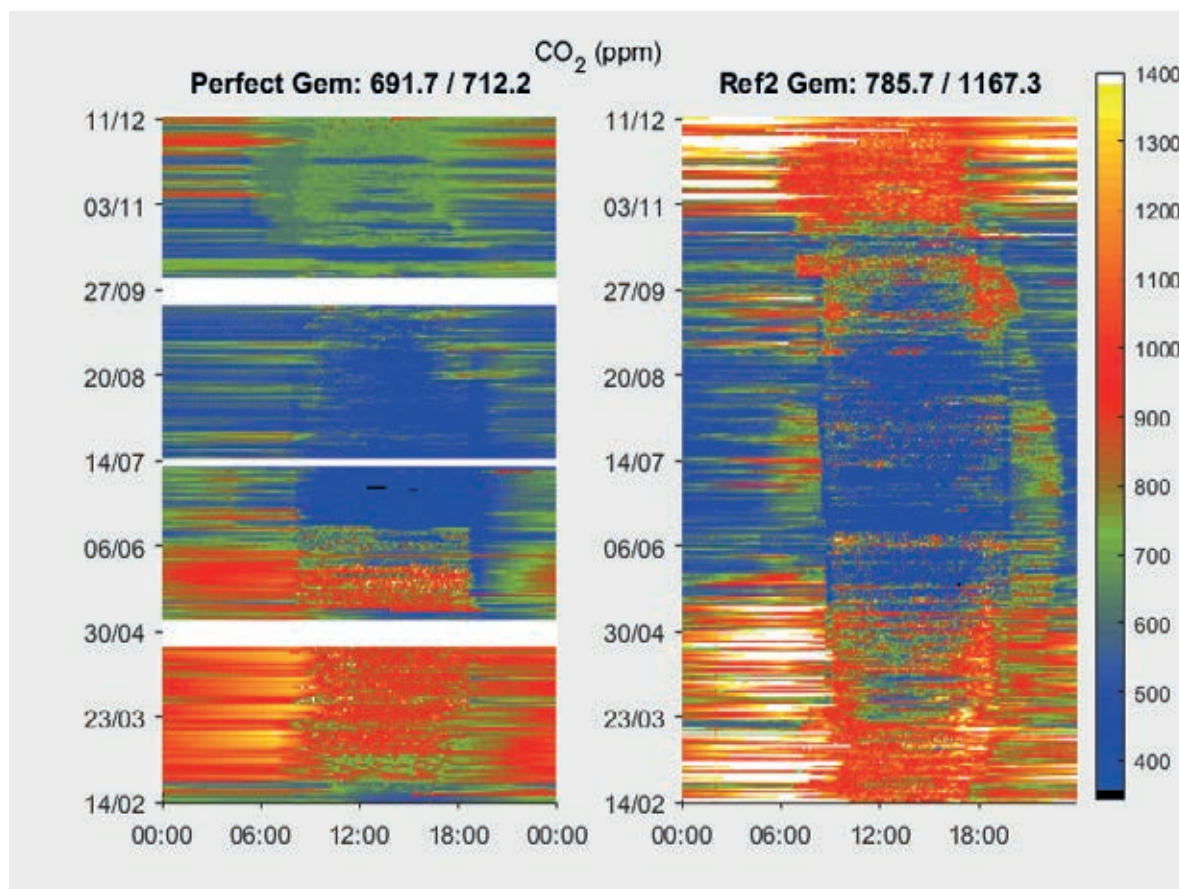
Figuur 8 geeft de gemiddelde CO₂ concentratie overdag aan ten opzichte van referentiebedrijf 2. Daaruit blijkt dat de gewenste CO₂ concentratie van minimaal 750 ppm na half juni niet meer is gerealiseerd. Opvallend is verder dat de hogere dosering in teelt 4 (zie Figuur 1), niet heeft gerealiseerd in een hogere CO₂-concentratie. Dit kan zijn veroorzaakt door meer raamstand of lekkage dan bij het referentiebedrijf.

Bij de tweede helft van teelt 1 en vooral de eerste helft van teelt 2 was de CO₂-concentratie juist hoger. Dit kan te maken hebben met de hierboven genoemde afwijking in de CO₂-doseringsmeting. De gemiddelde dagconcentratie is bij het referentiebedrijf hoger dan bij DPC, maar op de momenten met veel licht realiseert DPC een minstens zo hoge CO₂-concentratie als het referentiebedrijf. Hierdoor is het berekend fotosyntheseverlies door een te lage CO₂-concentratie bij DPC (10,1%) lager dan bij referentiebedrijf 2 (10,6%) (zie Bijlage 1).



Figuur 8 CO₂-concentratie (ppm) per etmaal gemiddeld overdag.

In Figuur 9 valt op dat bij DPC 's nachts een lagere CO₂-concentratie is gerealiseerd dan bij referentiebedrijf 2. Dit geeft aan dat bij DPC 's nachts (bij gesloten luchtramen) meer ventilatie heeft plaatsgevonden, waardoor de door het gewas geproduceerde CO₂ weer snel is afgevoerd. De ventilatie kan zijn veroorzaakt door meer lekkage in het kasdek van DPC. Ook kan het zijn dat de schermen bij referentiebedrijf 2 de CO₂ binnenhouden terwijl bij DPC de schermventilatoren voor meer CO₂-afvoer hebben gezorgd.

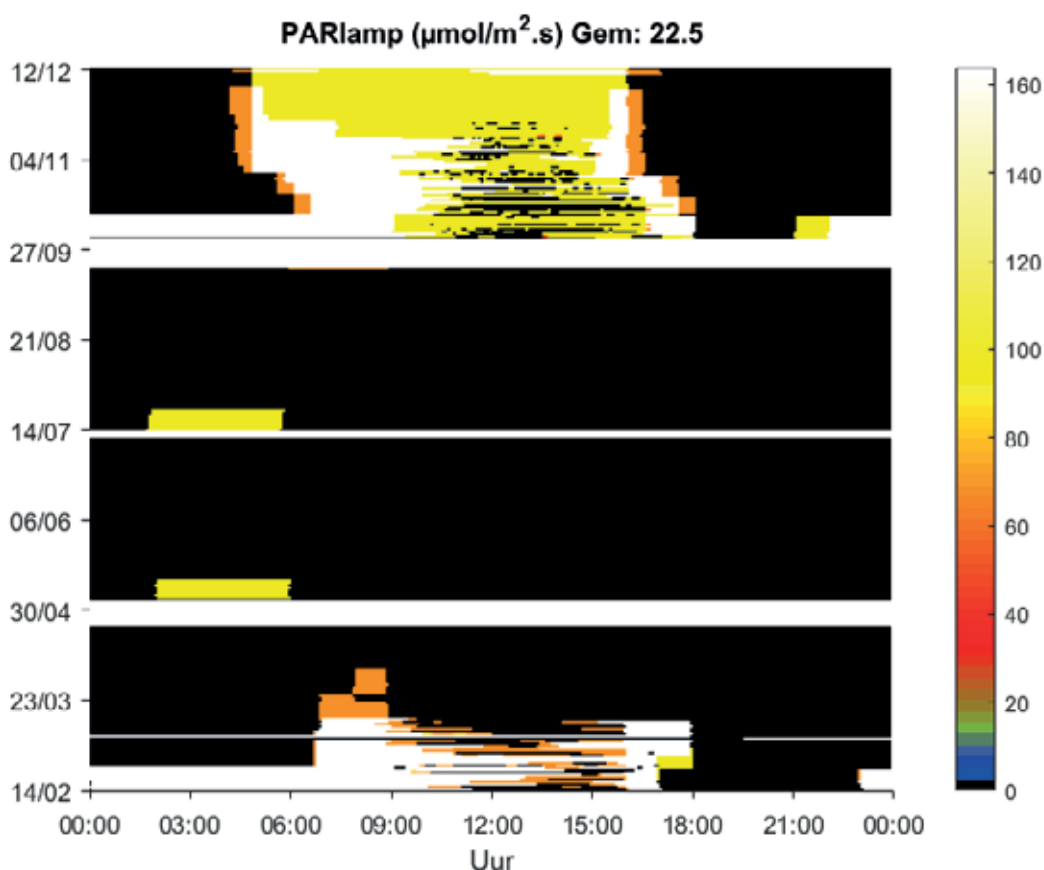


Figuur 9 5-minuutsoverzicht van de CO₂-concentratie (ppm) bij DPC en referentiebedrijf 2.

2.5 Belichting

Bij DPC is 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$ aan LED lampen geïnstalleerd en 70 $\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$ aan SON-T lampen. Na meting bleek de opbrengst iets lager te zijn, namelijk 96 respectievelijk 68 $\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$. In dit rapport wordt gerekend met de gemeten waarden.

De belichting is zodanig ingesteld, dat ondanks een hogere belichtingsintensiteit (164 ten opzichte van 128 $\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$ bij referentiebedrijf 2) er toch minder elektriciteit zou worden gebruikt dan de praktijk. Aangezien het elektrisch vermogen van de lampen van DPC vrijwel vergelijkbaar is met die van referentiebedrijf 1, kan alleen nog worden bespaard op het elektriciteitsverbruik door minder uren te belichten. Dat is gedaan door overdag af te schakelen bij een globale straling van meer dan 100-200 W/m^2 . In Figuur 10 is de hoeveelheid PAR van de lampen weergegeven. Wit geeft aan dat alle lampen branden, geel geeft aan dat de LED-lampen branden, oranje geeft aan dat alleen de SON-T lampen branden en bij zwart wordt er niet belicht. De teeltwisselingen zijn ook als wit weergegeven. Tijdens teelt 1 is de kas verdeeld in een vak waar de SON-T lampen eerder afschakelden en een vak waar de LED-lampen eerder afschakelen. Omdat dit slechts een paar branduren verschil gaf en dus ook niet heeft geleid tot meetbare verschillen in de groei, is dit onderscheid bij latere teelten niet meer gemaakt. Omdat SON-T meer stralingswarmte en verrood geeft dan LED, is bij teelt 4 iedere dag begonnen en geëindigd met 0,5 tot 1 uur SON-T. Dit heeft als reden dat naar verwachting 's ochtends het gewas meer fotosynthese geeft als het wordt opgewarmd en het gewas, tijdens de KD-periode voor het de nacht ingaat, verrood nodig heeft. Hoewel het niet noodzakelijk is om tijdens de LD periode van teelt 2 en 3 te belichten (het verduisteringsdoek is open gebleven en de benodigde daglengte wordt ook zonder belichting bereikt), hebben de LED lampen 's nachts conform de praktijkbedrijven 4 uren per etmaal gebrand. Dit betreft minder dan 1% van de totale hoeveelheid PAR tijdens deze teelten en heeft daardoor geen meetbaar effect op de groei opgeleverd.



Figuur 10 5-minuutsoverzicht van de hoeveelheid belichting ($\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$) bij DPC.

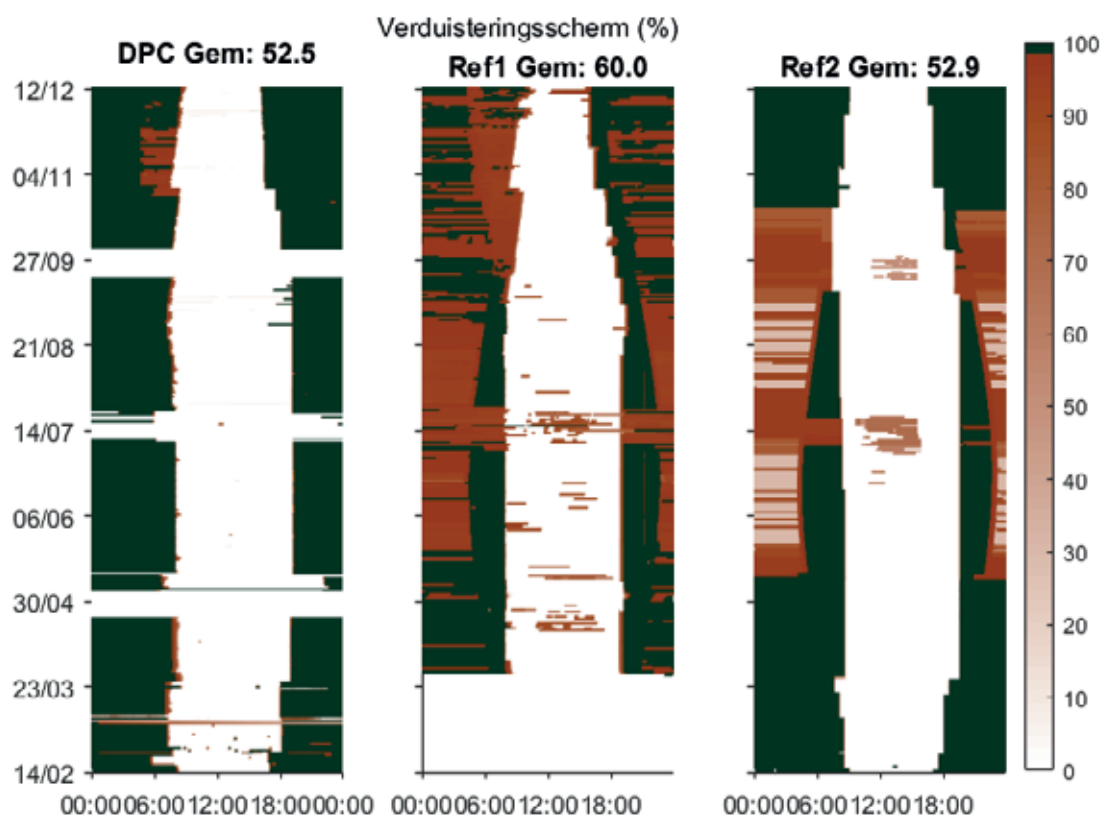
2.6 Schermen

Het verduisteringsdoek is anders ingezet dan bij de referentiebedrijven (zie Figuur 11).

Tijdens de LD-perioden is het verduisteringsdoek alleen ingezet om de warmtevraag te beperken. Tijdens LD-perioden van teelt 2 en 3 is het verduisteringsdoek dus niet ingezet.

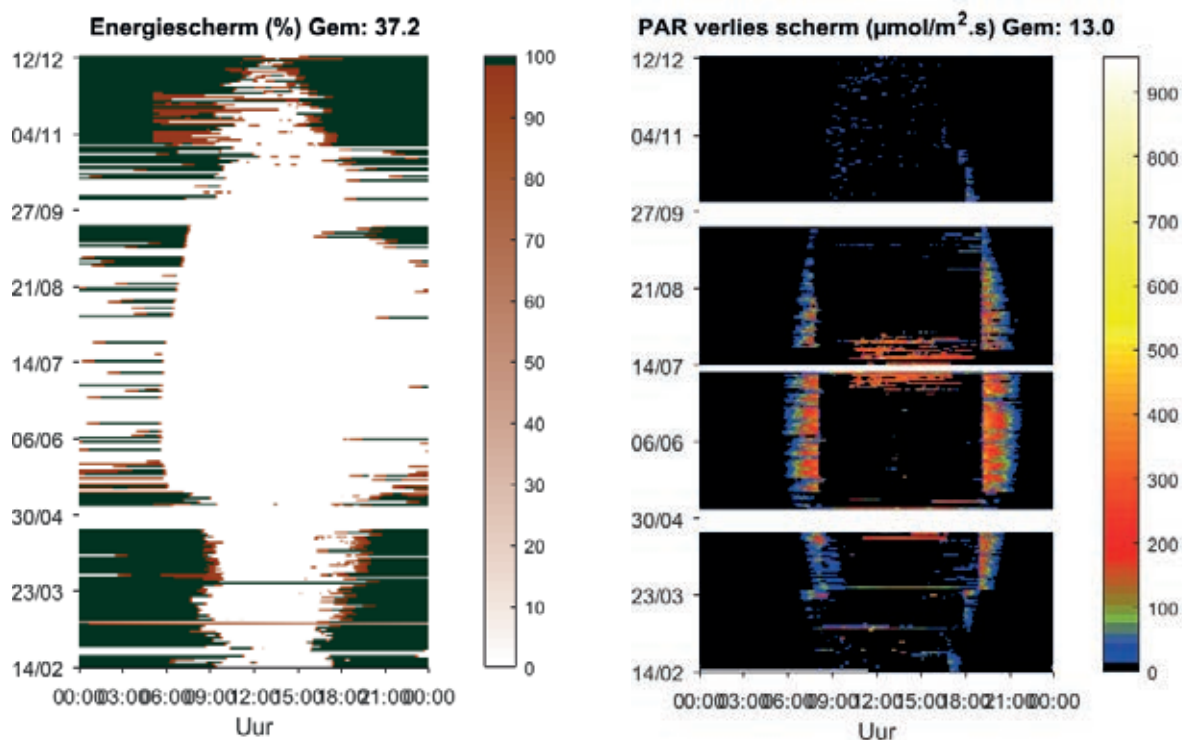
Schermkieren zijn nauwelijks gebruikt. Alleen tijdens teelt 4 is 's ochtends, als de lampen gaan branden, wel een kier getrokken.

Het verduisteringsdoek is overdag niet gebruikt om fel zonlicht te dempen. Hiervoor is een schaduw scherm geïnstalleerd. Dit schaduw scherm is overigens slechts 137 uren ingezet.



Figuur 11 5-minuutsoverzicht van de stand van het verduisteringsdoek bij DPC en de twee referentiebedrijven.

Het energiescherm is 37% van de tijd (2700 uren) gebruikt. Het energiescherm is gesloten bij een buitentemperatuur lager dan 15°C, welke grens wordt verlaagd met 1°C per 10 W/m² straling. De drie schermen hebben gedurende de vier teelten samen gemiddeld 13 µmol/m².s, ofwel 7% van het totale PAR-licht tegengehouden. Dat is voor het grootste gedeelte veroorzaakt door het verduisteringsscherm en het schaduw scherm. Tijdens teelt 4, waarin niet meer is verduisterd, maar de schermdoeken alleen zijn gebruikt voor energiebesparing, hebben de schermen slechts 1,1% van de totale PAR weggenomen.



Figuur 12 5-minuutsoverzicht van de stand van het energiedoek bij DPC (links) en de hoeveelheid PAR-licht die door de drie schermdoeken is tegengehouden.

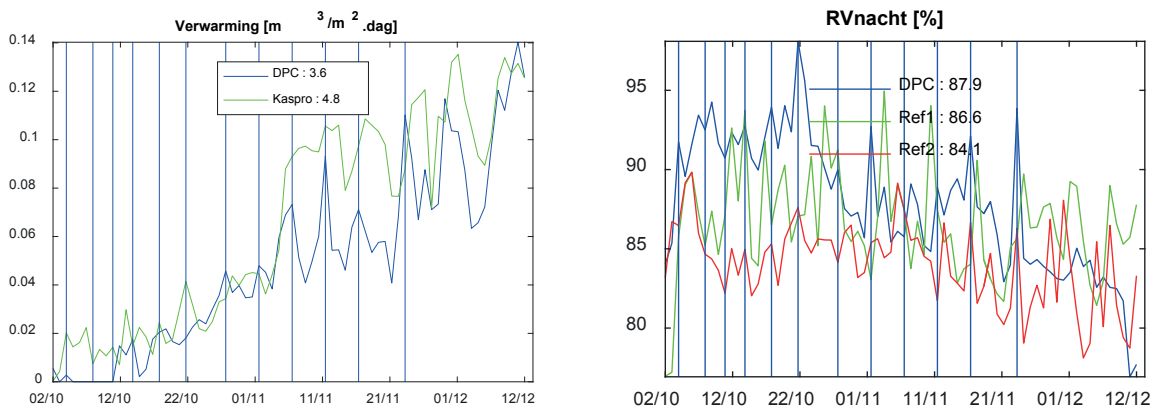
Uit de gegevens is niet te op te maken hoeveel warmte is bespaard dankzij het energiescherm. Dat komt doordat naast de inzet van het energiescherm ook andere maatregelen zijn toegepast, zoals het aanhouden van een hogere RV en het minder inzetten van een minimumbuis.

2.7 Druppelslangen en beregening

Bij de eerste drie teelten zijn druppelslangen ingezet bij de helft van de kas, 4 à 5 weken na het planten, nadat de planten voldoende diep hadden geworteld. Iedere dag is dan gedruppeld tot een week voor de oogst, terwijl de andere helft met tussenpozen van 3-6 dagen is beregend. Bij de eerste teelt heeft dat niet geleid tot verschillen in productie of houdbaarheid. Bij de tweede teelt is ook geen verschil in takgewicht gemeten, maar wel bleek dat de takken uit het gedruppelde vak 3 dagen langer houdbaar waren dan de takken uit het vak dat tot twee weken voor de oogst werd beregend.

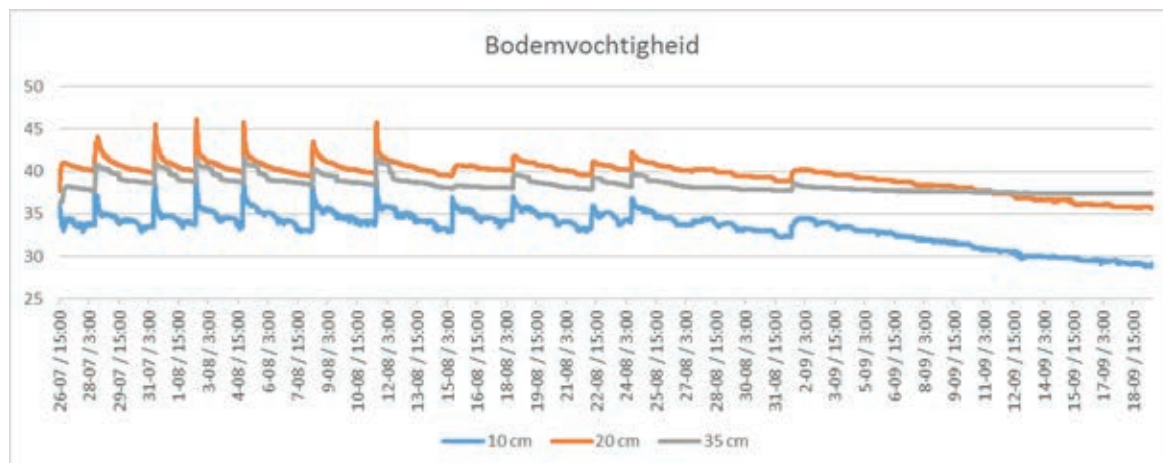
Bij het gedruppelde vak was te zien dat de grond onder de druppelslang veel natter was dan tussen de slangen in. Omdat de matige weggroei bij de derde teelt (zie hoofdstuk 4) deels werd geweten aan de ongelijkmatige bodemgesteldheid, is besloten om de laatste watergift van teelt 3 met de beregeningsinstallatie uit te voeren. Mogelijk is mede hierdoor geen verschil in productie en houdbaarheid gezien tussen het gedruppelde en het beregende vak.

Bij teelt 4 zijn de druppelslangen helemaal niet gebruikt. Hierdoor is de impact van beregening op het energiegebruik te berekenen. In Figuur 13 is links het warmtegebruik per dag van DPC vergeleken met dat wat is gesimuleerd met Kaspro. Een dag duurt hierbij van 6:00 uur 's ochtends tot 5:55 uur 's ochtends. De dagen met beregening zijn weergegeven met een verticale blauwe lijn. Duidelijk is te zien dat bij een meer volgroeid gewas meer warmte is ingezet op de dagen met beregening dan op de omringende dagen. Door deze getallen met elkaar te vergelijken is berekend dat tijdens de laatste 6 beregeningsbeurten 0,11 m³/m² meer aardgasequivalenten zijn gebruikt dan op dagen dat er niet is beregend. Dat is 3% van het totale warmtegebruik in teelt 4. Bovendien ligt de gemiddelde RV tijdens de nachten na het beregenen 3,8 procentpunten hoger.



Figuur 13 Ingezette verwarming (links) en gemiddelde nachtRV (rechts) per etmaal tijdens teelt 4 waarbij de etmalen met berekening zijn gemarkeerd met een blauwe verticale lijn.

De bodem bij DPC bevat veel zware klei en houdt daarmee makkelijk vocht vast. De diepere lagen zijn echter licht. Dit is te zien aan een meting met FD-sensoren tijdens teelt 3 in het beregende vak (Figuur 14). Na iedere gietbeurt geven de sensoren tijdelijk een hoog vochtgehalte aan. Dit zakt snel weg, wat aangeeft dat het overtollige water snel wordt gedraineerd. In de laatste drie weken van teelt 3 is niet meer geïrrigeerd. Dat is duidelijk te zien aan de afnemende vochtigheid van de bodem. Omdat teelt 3 al last had van een moeilijke teeltstart is het moeilijk te zeggen of het gewas ook aan het einde van de teelt last heeft gehad van de lage bodemvochtigheid. Opvallend is wel dat de diepste bodemlaag aan het einde van de teelt veel minder snel opdroogt dan de bovenliggende lagen.



Figuur 14 Bodemvochtigheid gemeten met FD-sensoren op drie diepten, tijdens teelt 3 in het beregende vak.

2.8 Bemesting

De eerste teelt is uitgevoerd op een grond waarin minstens 10 jaar niet is geteeld. Het bevatte daardoor niet of nauwelijks organische stof. Daarom is voor aanvang 5 cm compost in de grond gemengd en bij iedere teelt een voorraadbemesting met o.a. ± 9 kg/are Horizon (een organische NPK meststof) ingebracht, soms aangevuld met Tripelsuperfosfaat of Magnesamonsalpeter. Via berekening of druppelaars is aanvullend bemest. Op basis van grondmonsters (zie Bijlage 2) is de samenstelling van de bemesting telkens aangepast om dichterbij de streefwaarden te komen.

Desondanks zijn de pH en de Ca^{2+} concentratie aan de hoge kant gebleven en is het lastig gebleken om het Mg^{2+} cijfer op niveau te krijgen. Om de opname van P te verhogen in een grond met hoge pH zijn bij de start van de teelt fulvine- en huminezuren bijgegoten.

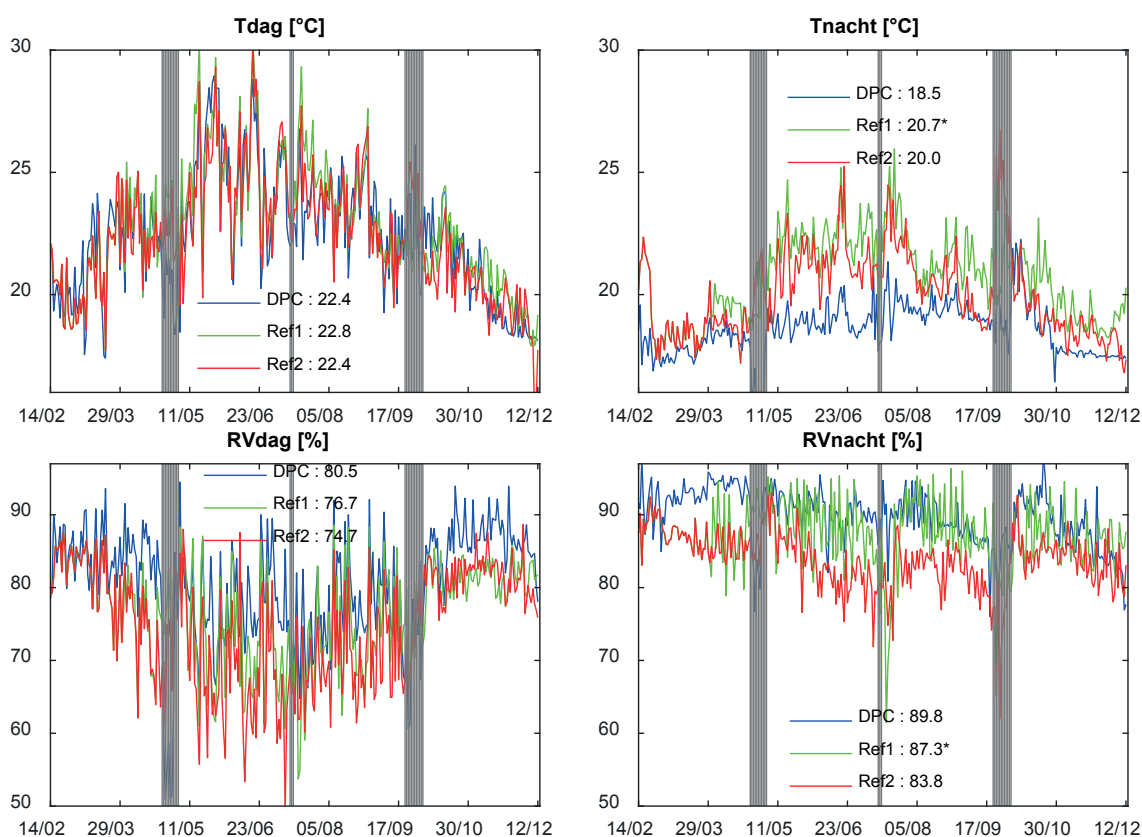
2.9 Gewasbescherming

Voor de eerste teelt is de grond gestoomd en zijn op voorhand geen gewasbeschermingsmiddelen gebruikt. Bij aanvang van teelt 2, 3 en 4 zijn de planten behandeld met Hicure, Trianum, Fenomenal, Ridomil en/ of Rizolex. Verder zijn geen fungiciden gebruikt. De plagen zijn zo veel mogelijk met biologische bestrijders behandeld, met name Trips is bestreden met *Steinernema feltiae* (aaltjes) en *Amblyseius montdorensis* of *A. swirskii* of *Neoseiulus cucumeris*. Soms is chemisch ingegrepen (Plenum, Teppeki, Actara, Vertimec, Winner en slakkenkorrels).

3 Kasklimaat

In Figuur 15 zijn de kasttemperatuur en RV per etmaal vergeleken met de twee referentiebedrijven. Hieruit blijkt dat de dagtemperatuur van DPC nauwelijks is afgeweken, en dat vooral een lagere nachttemperatuur is gerealiseerd. De RV lag zowel overdag als 's nachts 2-6 procentpunten hoger dan bij de referentiebedrijven. De nachtRV bij Ref1 wisselt veel meer dan bij DPC en Ref2, omdat bij Ref1 vaak 's avonds wordt berekend, terwijl bij DPC en Ref2 meestal 's ochtends wordt berekend.

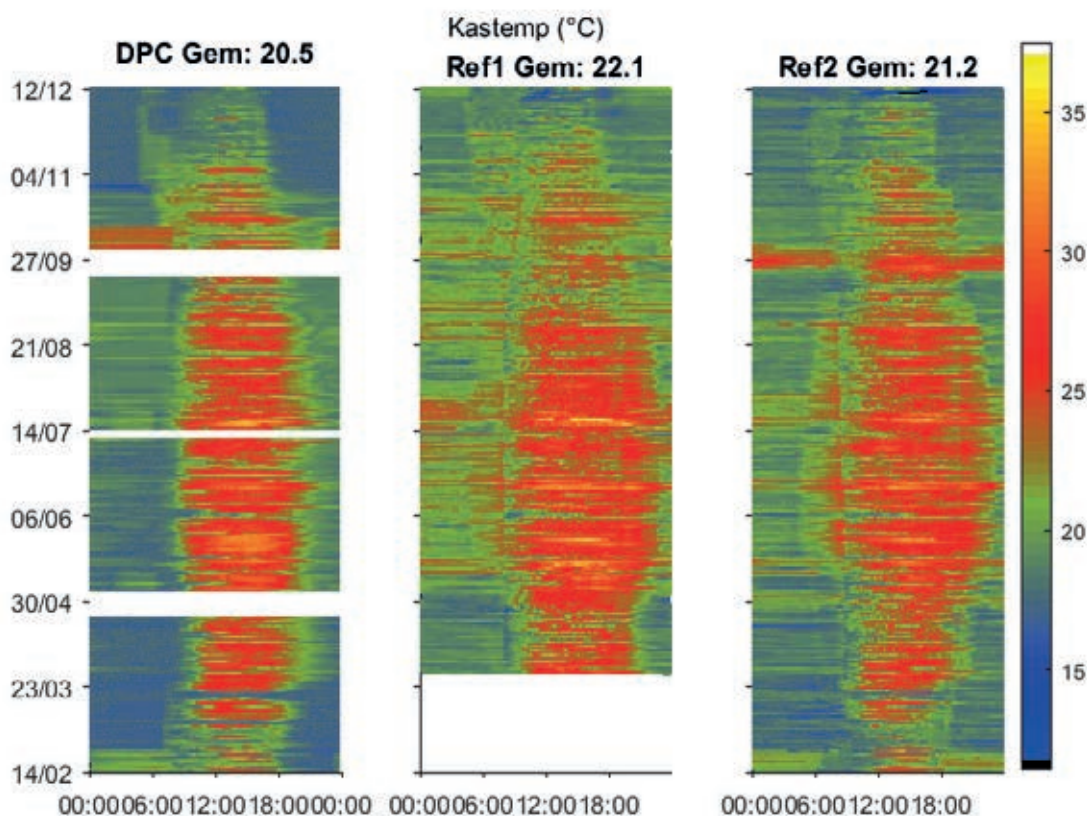
In de volgende paragrafen wordt dieper ingegaan op het verloop van de kasttemperatuur en RV.



Figuur 15 Verloop van de etmaalgemiddelden van de kasttemperatuur en RV overdag en 's nachts bij DPC en de twee referentiebedrijven (Jaargemiddelden die gebaseerd zijn op reeksen met missende etmalen, of etmalen waarin perioden zonder nacht voorkomen, zijn gemarkeerd met een '*').

3.1 Temperatuur

Uit Figuur 16 komt de lagere nachttemperatuur bij DPC ten opzichte van de referentiebedrijven ook naar voren. 's Zomers, in de perioden 's ochtends voor het openen en 's avonds na het sluiten van het verduisteringsscherm blijkt dat het sterkst. Voor wat betreft de avond is dat deels te verklaren door de koeling (Figuur 3), maar die speelde in de ochtend nauwelijks een rol. Dan wordt de lagere kasttemperatuur verklaard door de inzet van de schermventilatoren (Figuur 5) en het ontbreken van verwarming (Figuur 1) onder het gesloten verduisteringsdoek (Figuur 11).



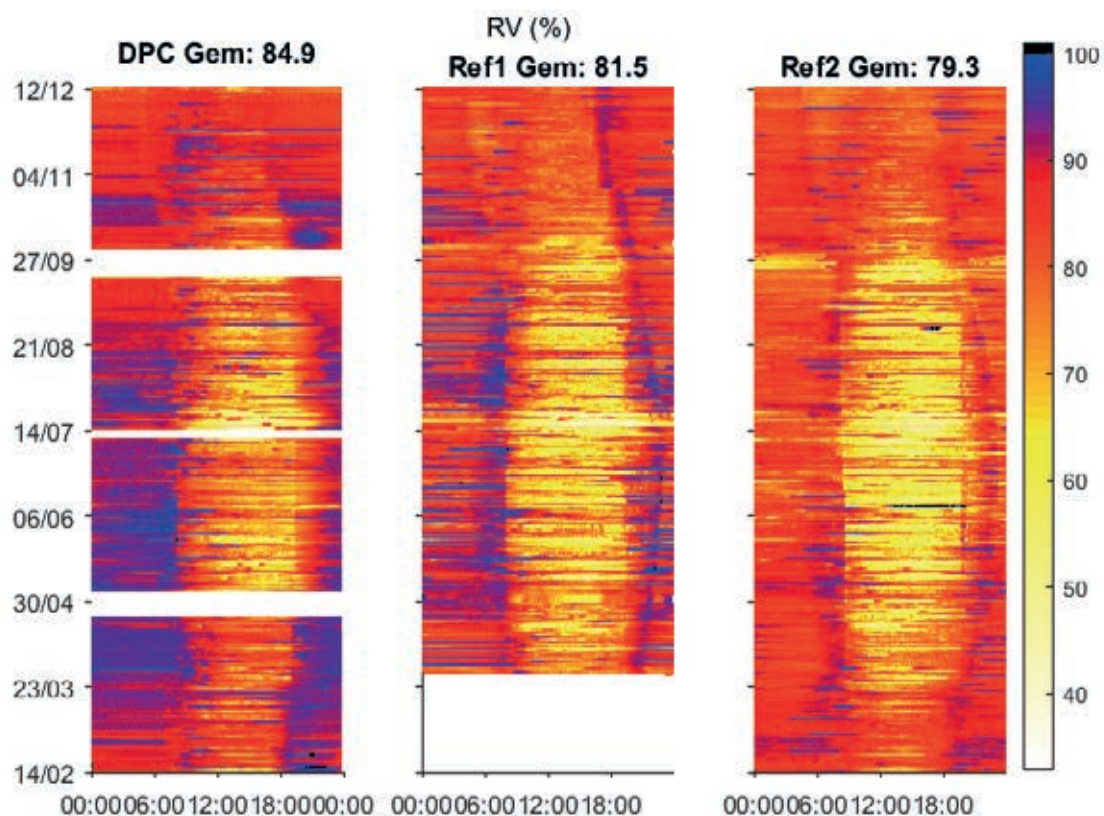
Figuur 16 5-minuutsoverzicht van de kasttemperatuur bij DPC en de twee referentiebedrijven.

3.2 RV

Uit Figuur 17 blijkt dat de RV bij DPC 's nachts niet alleen gemiddeld hoger is dan bij de referentiebedrijven, maar dat het verloop gedurende de nacht ook anders is. Bij DPC neemt de RV in de loop van de nacht geleidelijk toe tot daarvoor actie wordt ondernomen (schermventilatoren aan, luchtramen open). Daarna blijft deze veelal stabiel op de streefwaarde. Bij de referentiebedrijven stijgt de RV 's avonds direct als het verduisteringsdoek op een kier gaat, of de lampen worden uitgeschakeld, waardoor de temperatuur daalt en de RV stijgt. Door vochtafvoer via de schermkieren (en aanvoer van warmte via het ondernet) daalt de RV vervolgens tot een niveau dat veel lager is dan bij DPC, totdat het verduisteringsdoek moet worden gesloten. Dan stijgt de RV weer, met name bij referentiebedrijf 1, terwijl de RV bij DPC niet verder stijgt doordat de schermventilatoren daar vocht blijven afvoeren.

Als er is beregend is het lastig om de RV weer op het gewenste niveau te krijgen. Dat geldt vooral bij referentiebedrijf 1 die vaak 's avonds beregend en daardoor voor de ontvochtiging geen gebruik kan maken van de zonnewarmte.

De RV kan overdag soms wegzakken naar minder dan 50%. Dat komt met name voor bij zonnig weer, in de eerste weken na planting, en het gewas zichzelf nog niet goed kan koelen. Daar komt nog bij dat bij het begin van de teelt wordt gevreesd voor wortelziekten zoals *Pythium* en *Rhizoctonia*. Deze ziekten gedijen bij afstervende wortels en een hoge bodemvochtigheid. De eerste weken van de teelt wordt dus heel voorzichtig beregend en komen lage RV's geregeld voor. Voorbeelden hiervan zijn 17 mei en 18 juli. De jonge planten hangen dan slap, wat betekent dat de fotosynthese verre van optimaal kan zijn.

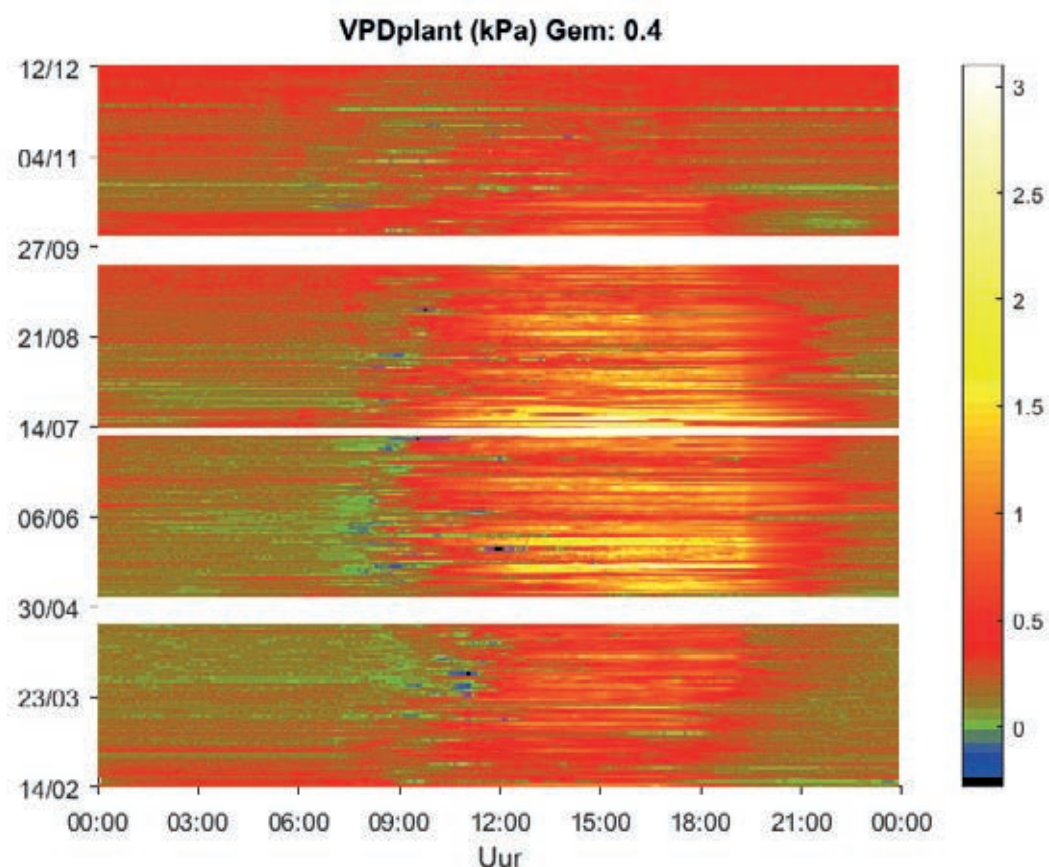


Figuur 17 5-minuutsoverzicht van de RV bij DPC en de twee referentiebedrijven.

3.3 VPD_{plant}

Omdat de kas van DPC in kortere tijd opwarmt richting dagtemperatuur ontstaat het risico dat de onderste delen van het gewas nog koud zijn terwijl de bovenste delen al volop aan het verdampen zijn. Dit geeft een risico op condensatie onderin het gewas. Dit risico komt het duidelijkst naar voren door de VPD_{plant} weer te geven. De VPD_{plant} is het drukverschil tussen waterdamp in het blad en waterdamp in de kaslucht. Het geeft dus aan met hoeveel druk het water uit de plant is getrokken. De waterdampdruk (Vapour Pressure, weergegeven in kPa) wordt berekend uit de temperatuur en de luchtvochtigheid. De temperatuur van de plant is gemeten met een infrarood camera en de RV van de plant is gesteld op 100%. Als de planttemperatuur lager wordt dan het dauwpunt dan heeft de VPD_{plant} een negatieve waarde en ontstaat condensatie. Uit Figuur 18 blijkt aan de blauwe gebieden, dat dit verscheidene malen bij het stijgen van de kastemperatuur in de ochtend en tijdens beregening is opgetreden. Toch heeft dit niet zichtbaar geleid tot gewasproblemen.

Een kanttekening bij de bepaling van de VPD_{plant} is, dat de gemeten planttemperatuur een gemiddelde is van de zichtbare plantendelen. Het is aannemelijk dat de planttemperatuur 's ochtends onderin het gewas lager is dan onderin. Het condensatierisico is daar dus groter dan wat met de VPD_{plant} berekening wordt weergegeven.



Figuur 18 5-minuutsoverzicht van de VPDplant bij DPC.

3.4 Licht

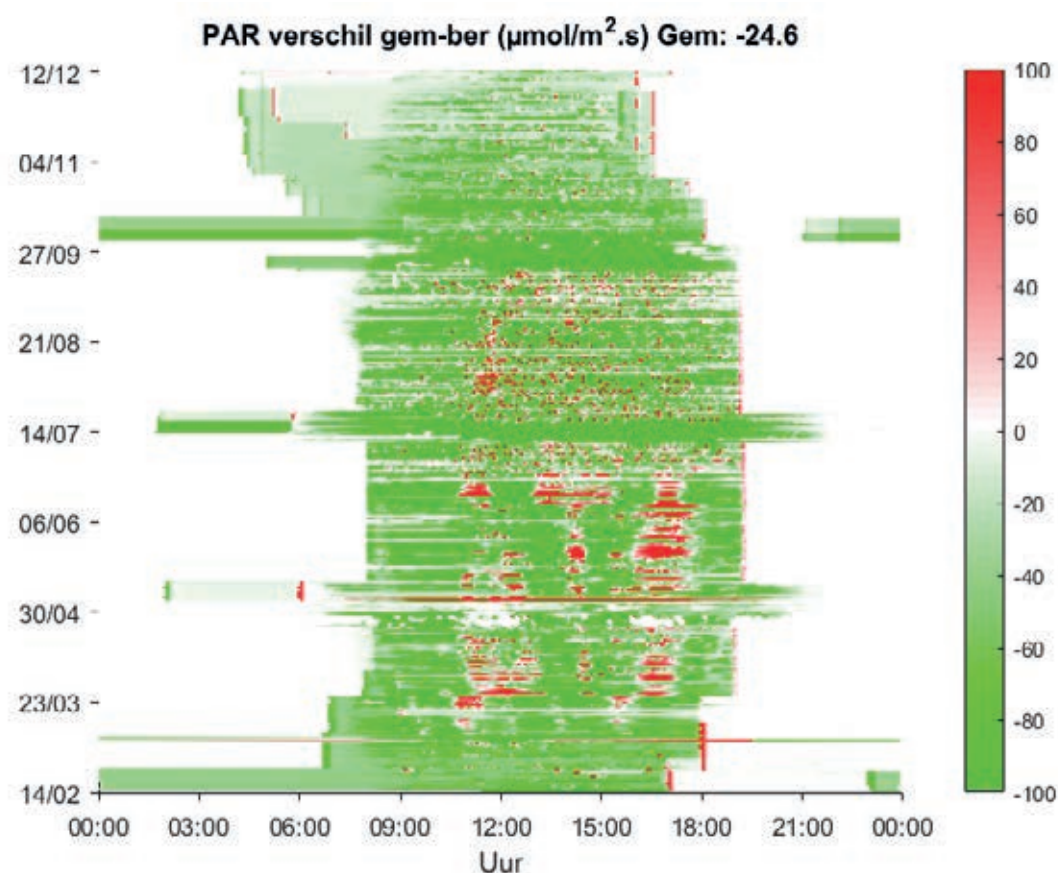
Hoewel de kas is voorzien van diffuus glas dat van beide zijden is voorzien van AR-coatings (Albarino® High Haze 2AR), viel het na meting tegen hoeveel licht er op het gewas terecht komt. Bij een bewolkte hemel was de lichttransmissie 59%, terwijl op praktijkbedrijven een lichttransmissie van 67% is gemeten. Dit verschil wordt geweten aan

- De schaalgrootte van de kas:
 - Relatief meer schaduw van de hoge gevels.
 - De kabelgoot en aandrijfstangen voor scherm en ramen geven hun schaduw aan een kleinere oppervlakte.
- de installaties in de kas:
 - 3 scherminstallaties in plaats van 1.
 - 6 buizen bovenverwarming per kap in plaats van 4.
 - Aparte kabelgoten voor LED en SON-T.
 - Acht luchtbehandelingskasten langs de gevel.

Bij de berekeningen van de hoeveelheid PAR op het gewas (zie Tabel 1 van hoofdstuk 4) is gerekend met een transmissie van 59% bij DPC en 67% bij de referentiebedrijven. Deze transmissies zijn bij DPC en bij een chrysantenteler gemeten tijdens bewolkte hemel. Doordat er minder licht door het kasdek komt krijgt het gewas bij DPC minder daglicht.

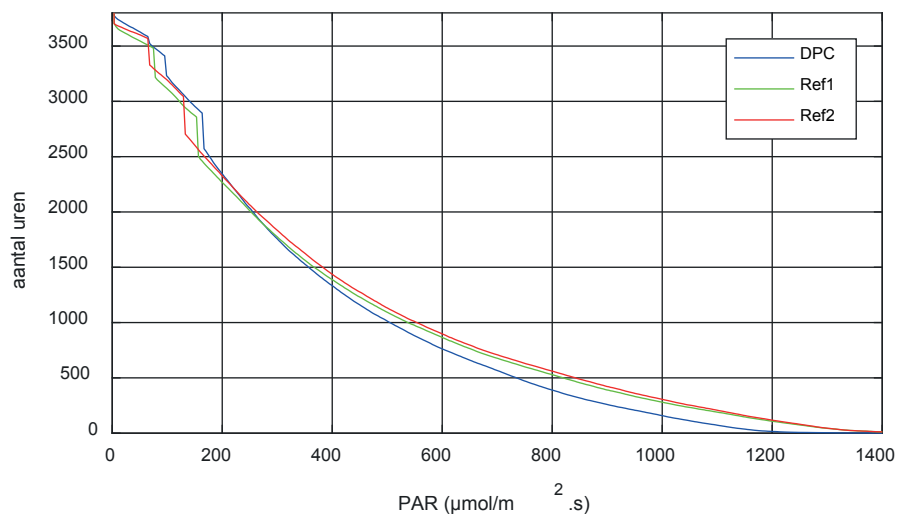
De hoeveelheid belichting van de referentiebedrijven is niet iedere teelt per 5-minuten geregistreerd. Bij referentiebedrijf 2 was dat alleen het geval bij teelt 4 en voor referentiebedrijf 1 is voor teelt 4 alleen het aantal uren per week bekend. Op basis hiervan is de totale hoeveelheid PAR door belichting bij de referentiebedrijven voor de teelt 1 (bij teelten 2 en 3 is nauwelijks belicht) geschat op 20% meer belichtingsuren dan bij DPC en de geïnstalleerde lichtintensiteit bij de referentiebedrijven (respectievelijk 128 en 110 $\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$).

De berekende hoeveelheid PAR in de kas bij DPC is gecontroleerd met twee PAR sensoren vlak boven het gewas. Het verschil tussen de berekende en het gemiddelde van de gemeten hoeveelheid PAR kan behoorlijk zijn (zie Figuur 19). Gemiddeld is er minder PAR gemeten dan berekend. Dit kan verklaard worden door de plaats van de sensoren, doordat deze niet volledig horizontaal staan, of vervuild zijn na berekening of bespuiting. De afwijkingen die 's nachts optreden kunnen daar goed mee worden verklaard. De hoeveelheid belichting is niet helemaal egaal verdeeld. Dit wordt mede veroorzaakt doordat sommige regenleidingen parallel aan en schuin onder de rij LED lampen loopt, waardoor een beschaduwde strook op het gewas ontstaat. Als de sensoren toevallig op een donkere plek staan, wordt minder PAR gemeten. Overdag kan ook meespelen dat de lichttransmissie van het kasdek is gemeten bij bewolkte hemel en bij een droog kasdek. Bij zonnig weer komt het zonlicht gemiddeld bij een lagere invalshoek binnen en kan de lichttransmissie lager zijn. Op sommige momenten van de dag is de gemeten PAR hoger dan berekend. Dit is te verklaren doordat de zon op die momenten van de dag een kleine invalshoek heeft op het schuine kasdek en/of zich geen constructiedelen tussen de zon het de PAR-sensor bevinden. Per saldo zal de berekende waarde van het invallende zonlicht een overschatting zijn van de werkelijke hoeveelheid licht, maar geeft een meer representatieve waarde aan dan het gemiddelde van twee PAR-sensoren.



Figuur 19 5-minuutsoverzicht van het verschil tussen de gemeten en berekende hoeveelheid PAR bij DPC (tussen -100 en + 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$).

Door de berekende hoeveelheid van de drie kassen uit te zetten in een belastingduurkromme (zie Figuur 20) komt naar voren dat de lagere lichttransmissie en de hogere belichtingsintensiteit bij DPC heeft geleid tot een gelijkmatiger verdeling van PAR door de tijd heen. De belastingduurkromme laat zien hoeveel uren een bepaalde hoeveelheid PAR minimaal is voorgekomen. Zo blijkt dat een intensiteit van meer dan 1200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$ bij DPC niet voorkwam, maar bij de referentiebedrijven kwam dat 120 uren voor. Omdat een hoge PAR-intensiteit minder efficiënt wordt omgezet in assimilaten dan een lage PAR-intensiteit, kan dit leiden tot een positievere LBE (lichtbenuttings-efficiëntie) bij DPC.



Figuur 20 Belastingduurkromme van de hoeveelheid PAR bij DPC en de twee referentiebedrijven tijdens 4 teelten.

4 Gewasgroei en productie

4.1 Teeltplan en uitvoering

De vier teelten zijn vrijwel alle op dezelfde dag geplant als die van de referentiebedrijven (zie Tabel 1). De plantdichtheid betreft het aantal planten per m² grondoppervlak exclusief betonpaden. Als per m² gaas zou worden gerekend dan zou de plantdichtheid 11% hoger zijn uitgekomen. Ten opzichte van de referentiebedrijven ligt de plantdichtheid bij DPC 4-14% hoger. Bij teelt 2 waren alle mazen bij DPC vol, wat heeft geresulteerd in 67 planten/m² grondoppervlak.

4.2 Plantmeting jong gewas

10 tot 12 dagen na het planten, dus rond de start van de kortedagfase, is het jonge gewas gemeten en vergeleken met de referentiebedrijven. Bij de eerste teelten en vooral de derde teelt, bleek het versgewicht en het bladoppervlak van DPC lager te liggen dan bij de referentiebedrijven. Over het algemeen is dat een teken dat het jonge gewas te koud of te schraal (luchtbeweging door ventilatoren) is opgekweekt, of onvoldoende water heeft kunnen opnemen. Dat laatste kan te maken hebben met de zware kluitige grond, waar de jonge planten moeilijk of ongelijkmatig aansluiting op vonden. Vooral tijdens teelt 3 zijn planten gevonden met Rhizoctonia of Pythium. Bij deze planten is het perspotje blijkbaar onvoldoende opgedroogd voordat is beregend. Door deze constatering is daarna (veel) minder beregend dan voor de gemiddelde plant optimaal is. Bij de start van teelt 4 is meer aandacht gegeven aan de grondbewerking en de watergift. Dit heeft geleid tot resultaat, want het versgewicht en het bladoppervlak bleken na 11 dagen hoger te zijn dan bij referentiebedrijf 2 (van referentiebedrijf 1 is bij teelt 4 een verkeerd gewasmonster gemeten), en ook hoger dan bij de eerste drie teelten.

Het drogestofgewicht en het drogestofpercentage gaven grote verschillen te zien. Bij teelt 1 waren deze laag voor zowel DPC als de referentiebedrijven. Teelten 2, 3 en 4 lieten een veel hoger drogestofpercentage zien dan de referentiebedrijven. Bij teelt 2 en 3 kan dat hebben gelegen aan de voorzichtige berekening bij het begin van de teelt. Ook kan hebben meegespeeld dat het verduisteringsdoek bij DPC open is gebleven, waardoor de planten langer gebruik hebben kunnen maken van het daglicht. Bij teelt 4 kan de intensieve belichting tot 21 uren met 164 µmol/m².s een rol hebben gespeeld bij het hoge drogestofpercentage.

4.3 PAR en teeltduur

De hoeveelheid PAR (de som van assimilatielicht en daglicht) is meestal hoger bij de referentiebedrijven dan bij DPC. Alleen bij teelt 4 heeft DPC meer PAR gehad. Dit komt door het belichten. In teelt 4 heeft daglicht nog maar 47% aandeel in de totale hoeveelheid PAR. Belichting heeft dan meer impact op de totale hoeveelheid PAR. De belichtingsintensiteit bij DPC is 38% hoger dan bij de referentiebedrijven. Ondanks de 20% lagere hoeveelheid belichtingsuren heeft DPC meer PAR licht gekregen.

De reactietijd van DPC bleef ondanks de lage nachttemperatuur niet achter bij de referentiebedrijven. Bij teelten 2 en 3 was de reactietijd zelfs 3 en 1 dag korter. Dit wordt verklaard doordat bij DPC een te hoge nachttemperatuur is voorkomen. Ook kan de luchtbeweging, veroorzaakt door de luchtbehandelingskasten, de reactietijd hebben verkort.

Het deel van DPC dat tijdens de KD-periode iedere nacht is begonnen met 1 uur verrood licht, liet geen kortere reactietijd zien.

4.4 Plantmeting bij oogst

Behalve bij teelt 3 waren de takken bij DPC iets langer dan bij de referentiebedrijven. Hier kan echter weinig over worden geconcludeerd omdat de taklengte grotendeels afhankelijk is van de hoeveelheid remstof die het gewas in ieder groeistadium heeft gekregen. Deze hoeveelheden zijn niet geregistreerd.

Het aantal bladeren zegt iets over de gewasontwikkeling van de planten tot de start van de KD-periode. Deze blijkt bij teelt 1, 2 en 3 lager en bij teelt 4 hoger te liggen dan bij de referentiebedrijven. Bij teelt 1, 2 is dit te verklaren door de 1-2°C lagere etmaaltemperatuur tijdens de LD-periode. Bij teelt 3 geldt bovendien 2 dagen kortere LD periode en wellicht hebben de droge klimaatomstandigheden bij teelt 3 ook bijgedragen aan de langzamere bladafplitsing. Bij de LD periode van teelt 4 is 1 tot 1,5 hogere etmaaltemperatuur gedurende de 1 dag langere LD-periode aangehouden. Dit heeft geleid tot 2 bladeren extra ten opzichte van de referentiebedrijven.

Het versgewicht van de geoogste takken is gemeten zonder perspot. Dit is dus zwaarder dan het geveilde gewicht. Elke teelt waren de takken van DPC minder zwaar dan van de referentiebedrijven. Dat is te verklaren door de hogere plantdichtheid. Bij teelt 1, 2 en 4 was de productie in kg per m² dan ook hoger dan bij de referentiebedrijven. Teelt 3, liep in de eerste twee weken van de teelt een grote groeiachterstand op en is daarna nog maar matig blijven groeien. De LBE, ofwel de hoeveelheid versgewicht per mol licht, is bij teelten 1, 2 en 4 ook hoger dan bij de referentiebedrijven.

Over de takvorm zijn veel opmerkingen gekomen vanuit de begeleidingscommissie onderzoek (BCO). Het gewas werd te generatief genoemd, waarmee werd bedoeld dat de takken klein blad en weinig zijscheuten hadden. Het kleine blad is bij teelt 1, 2 en 3 meetbaar gemaakt, omdat het 23-30% lagere bladgewicht of het 29-38% kleinere bladoppervlak veel meer verschil gaven te zien dan het 8-17% lagere aantal bladeren. Bij teelt 4 werd het gewas nog steeds generatief genoemd, al bleek dat niet uit de gewasmetingen. Mogelijk heeft de rood-blauwe LED-belichting de beoordeling van het gewas dusdanig beïnvloed, dat het een te donkere indruk gaf. Het aantal en de grootte van de zijscheuten is niet gemeten. De verschillen in het aantal bloemen zijn bij teelt 1, 2 en 3 niet dusdanig groot dat daaruit de 'generativiteit' kan worden aangetoond.

Het bloemgewicht is vooral bij teelt 3 en 4 lager dan het gemiddelde van de referentie. Dit is bij teelt 4 te verklaren met de hogere plantdichtheid ten opzichte van een van de referentiebedrijven. Verder is opvallend dat het aantal open bloemen het grootst was bij teelt 1 en 4, terwijl in die perioden het minste licht is verkregen. Het drogestofpercentage is bij teelt 1 en 4 lager dan bij de referentiebedrijven. Dit heeft niet of nauwelijks geleid tot een verminderde houdbaarheid. Wel was de houdbaarheid van teelt 2 en 3 minder goed dan van de referentiebedrijven. Opvallend bij teelt 2 is, dat de houdbaarheid van het gedruppelde vak 3 dagen langer was dan van het beregende vak.

Tabel 1

Teeltdata en gewasmetingen van DPC en het gemiddelde van de twee referentiebedrijven.

		Teelt 1		Teelt 2		Teelt 3		Teelt 4	
		DPC	Ref	DPC	Ref	DPC	Ref	DPC	Ref
Plantdatum	wk.dag	7.2	7.2	18.4	18.4	28.5	28.55	40.1	40.1
Plantdichtheid	#/m ²	60	52.5	67	60	59	56.5	52.5	43-50
Ld	dagen	9	9	8	8	8	10	10	9
Tussenmeting na	dagen	10	10	11	11	12	12	11	11
Vers	g/tak	6.1	6.8	6.5	7.7	5.1	9.5	9.0	7.7
Bladoppervlakte	cm ² /tak	117	124	142	160	108	182	158	142
Drogestofgewicht	g/5-tak	3.6	4.0	5.2	4.7	4	4.7	5.9	4.2
Drogestof	%	11.7	11.9	15.9	12.1	16.1	10.7	13.2	10.9
Par	mol	1078	1221	1626	1778	1231	1330	722	700
Reactietijd	dagen	60	60	59	62	60	61	61	61
Teeltduur	dagen	69	69	67	70	68	71	71	70
Lengte	cm	83	83	88	80	81.5	84.2	81.2	79.6
Aantal bladeren	#	30.2	32.7	26.6	30.9	25.3	30.6	28.3	26.4
Vers gewicht	g	98	105	98	104	72.7	108.7	89.8	95.2
Blad vers	g	22.9	29.9	26.4	35.2	20.5	35.9	27.7	27.6
Bloemen vers	g	40.9	40.5	30.6	32.8	26.6	35.8	26.3	31.0
Stengel vers	g	34.2	34.6	41.0	36.0	25.6	36.9	35.8	36.6
Open bloemen	#	8.3	9.4	5	5	5.8	6.7	12.2	11.4
Dichte bloemen	#	3.5	2.8	2	4.1	3.4	3	1.6	2.8
Bladoppervlakte	cm ²	569	801	581	833	580	929	808	777
Drooggewicht	g	11.8	14	12	12.7	9.0	12.4	9.6	10.4
Droge stof totaal	%	12.0%	13.3%	12.2%	12.2%	12.4%	11.4%	10.0%	10.4%
Productie	kg/m ²	5.9	5.5	6.6	6.2	4.3	6.1	4.7	4.4
Lbe	g/mol	5.5	4.5	4.0	3.5	3.5	4.6	6.5	6.4
Houdbaarheid	dagen	18	18	21-24	27	19	21	21	21-23

5 Conclusies en discussie

5.1 Conclusies

Bij vier teelten is $7 \text{ m}^3/\text{m}^2$ aan aardgasequivalenten warmte gebruikt en $17 \text{ m}^3/\text{m}^2$ aan warmte geoogst. Geëxtrapoleerd naar een warmtegebruik van $11 \text{ m}^3/\text{m}^2$ per jaar is hiervoor slechts ruim $8 \text{ m}^3/\text{m}^2$ aan aardgasequivalenten warmteoogst nodig om klimaatneutraal te kunnen tellen. Indien de hoeveelheid koeling zodanig wordt beperkt tot deze warmteoogst van 8 m^3 , zijn de elektriciteitskosten voor koelen en verwarmen van de chrysantenteelt berekend op $31 \text{ kWh}/\text{m}^2$.jaar. Om helemaal zonder aardgas te telen zullen nog wel alternatieven moeten worden gevonden voor het stomen en voor de dosering van CO_2 uit rookgassen.

Ten opzichte van een standaard chrysantenbedrijf zal voor het beperken van de warmtevraag moeten worden geïnvesteerd in een extra energiescherm en schermventilatoren. Ook zal hiervoor de gewasverwarming (onderbuis) tot een minimum moeten worden beperkt en een nacht-RV tot soms 95% moeten worden geaccepteerd.

Om de benodigde warmte te oogsten en her te gebruiken zijn luchtbehandelingskasten met $\pm 50 \text{ W}/\text{m}^2$ koelvermogen, een warmtepomp met buffer en een doublet (bronpomp van en naar aquifer) nodig.

Dankzij de warmte-oogst (koeling) van $17 \text{ m}^3/\text{m}^2$ aan aardgasequivalenten, is bloeivertraging voorkomen en hoefde bovendien $20 \text{ kg}/\text{m}^2$ minder CO_2 te worden gedoseerd. Voor het voorkomen van bloeivertraging is tijdens de KD-periode van teelt 2 een nachttemperatuur van gemiddeld 19°C gerealiseerd. Mogelijk heeft deze lagere temperatuur ook geleid tot minder bloemen.

Het gegeven dat ondanks de $\pm 20\%$ lagere elektriciteitskosten voor belichting geen lagere productie is gerealiseerd, is grotendeels te danken aan de inzet van LED-lampen in plaats van SON-T lampen.

Op dagen waarop is berekend op een gewas van meer dan 4 weken oud, is een zichtbaar hoger warmtegebruik en $\pm 4\%$ hogere RV te zien. In teelt 4 heeft de berekening geleid tot 3% meer warmte-inzet.

Het schaduw scherm is in de huidige configuratie met diffuus glas en koeling, te weinig uren nodig geweest om als rendabele investering te gelden.

Het belichten met 1 uur $5 \mu\text{mol}/\text{m}^2$.s verrood tijdens de start van de nacht in de KD-periode, heeft geen effect op de reactiesnelheid.

5.2 Discussie

Meestal was bij DPC de RV hoger dan bij de referentiebedrijven. Dit heeft niet geleid tot ziekten zoals Japanse roest of Botrytis. Hoewel gevreesd werd voor een te welige groei bij een hoge RV bleek het gewas juist generatiever of minder welig te groeien dan bij de referentiebedrijven.

De houdbaarheid was tijdens teelten 2 en 3 een paar dagen minder lang dan bij de praktijkbedrijven, maar bij teelt 1, waarin tot het einde toe met hoge RV's is geteeld, was de houdbaarheid gelijk aan die van de praktijkbedrijven. Dit geeft aan dat er geen verband is aangetoond tussen RV en weligheid, en ook geen negatief verband tussen RV en houdbaarheid. Mogelijk heeft de geforceerde luchtbeweging door de luchtbehandelingskasten een grotere invloed op houdbaarheid en weligheid dan de gehanteerde RV. Bij teelt 2 waarin onderscheid is gemaakt tussen beregening en druppelen, is de houdbaarheid van het gedruppelde vak drie dagen beter dan die van het beregende vak. Dit betekent dat beregening in een laat teeltstadium nadelig kan zijn voor de houdbaarheid.

Door te voorzichtig te gieten tijdens de start van teelt 3 is de productie 30% achtergebleven ten opzichte van de praktijk. Ook tijdens teelten 1 en 2 bleek het versgewicht per tak bij de start van de KD lager te liggen dan bij de referentiebedrijven. Bij teelt 4 is veel meer aandacht gegeven aan de structuur van de grond en aan de watergift tijdens de LD-periode. Dit heeft geleid tot een hoger versgewicht dan bij de referentiebedrijven. Hieruit blijkt dat de uniformiteit van de grond en de beschikbaarheid van water tijdens het begin van de teelt een zeer belangrijke productiefactor is.

De RV kon met behulp van schermventilatoren jaarrond meestal goed worden beheerst. De maximum capaciteit is slechts gedurende 370 uren toegepast. De hoeveelheid vochtafvoer is berekend, uitgaande van een luchtuitwisseling die op basis van de ventilatorstand lineair oploopt naar een maximum van $10 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{uur}$, en van het gemeten AV-verschil tussen boven en onder de schermdoeken.

De LBE was bij teelten 1, 2 en 4 van DPC hoger dan bij de referentiebedrijven. De oorzaak daarvan kan worden gezocht in:

- Een hogere plantdichtheid, waardoor in het begin van de teelt meer licht door het gewas wordt geabsorbeerd.
- Een lagere lichttransmissie van het kasdek, waardoor ook de maximale (en dus minder effectieve) lichtintensiteit bij DPC lager lag dan bij de referentiebedrijven.
- De diffusiteit van het kasdek, waardoor het licht gelijkmatiger wordt verdeeld. Anderzijds kan diffusiteit van het kasdek bij bepaalde posities van de zon leiden tot grote verschillen in lichtintensiteit van de kas (Figuur 19).
- De grondsoort kan invloed hebben op de productiviteit. In de praktijk lijken nieuwbouwbedrijven op verse grond ook beter te presteren dan bestaande bedrijven.
- Een $1,5\text{-}2^\circ\text{C}$ lagere nachttemperatuur geeft minder onderhoudsademhaling. Hoe groot dit effect op het versgewicht van chrysant kan zijn, is niet bekend. Ook leidt een hogere DIF tot meer strekkingsgroei, waardoor meer moet worden geremd.
- Op de momenten met veel licht is de CO_2 -concentratie bij DPC hoger geweest dan bij de referentiebedrijven. Dit zou volgens berekening tot $\pm 0,5\%$ meer fotosynthese hebben geleid.

De hoge variaties in LBE (3.5-6.5) geven aan dat de productiviteit van chrysant niet altijd optimaal is. Dit geldt zowel voor de proef bij DPC als bij de referentiebedrijven. Oorzaken van een te lage LBE kunnen worden gezocht in een te lage CO_2 -concentratie tijdens hoge lichtintensiteiten, of een te hoge of lage temperatuur ten opzichte van de hoeveelheid aangemaakte assimilaten. Ook een lage frequentie van de watergift of de te lage luchtvochtigheid tijdens de start van de teelt, kunnen de LBE hebben verlaagd.

Teelt 2 van DPC had de kortste reactietijd (59 dagen), terwijl die toen bij de referentiebedrijven het langst was (62 dagen). Het aantal bloemen per tak was echter lager. De gemiddelde nachttemperatuur tijdens de KD-periode van teelt 2 was $18,9^\circ\text{C}$ bij DPC en $\pm 22^\circ\text{C}$ bij de referentiebedrijven. De dagtemperatuur was tijdens teelt 2 bij alle afdelingen gemiddeld 25°C . Mogelijk heeft de lage nachttemperatuur ook geleid tot minder bloemen per tak. Tijdens de andere teelten was de reactietijd met ± 60 dagen vrijwel gelijk aan die van de praktijk.

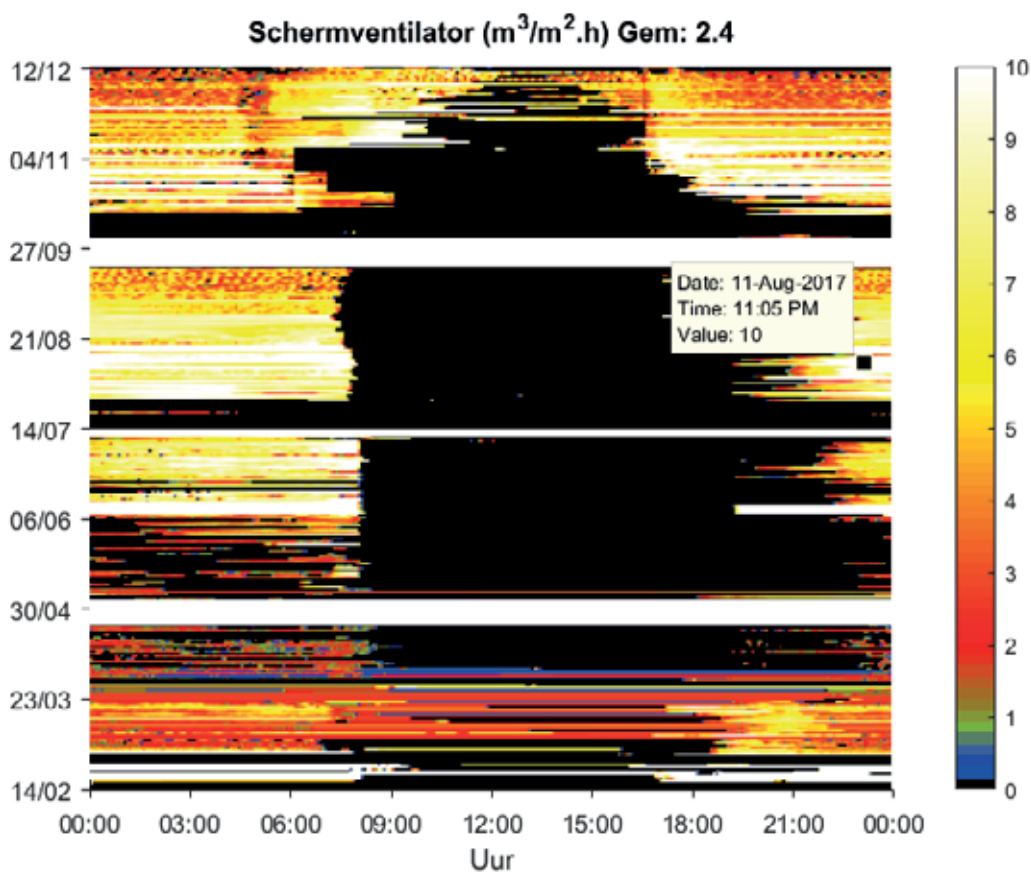
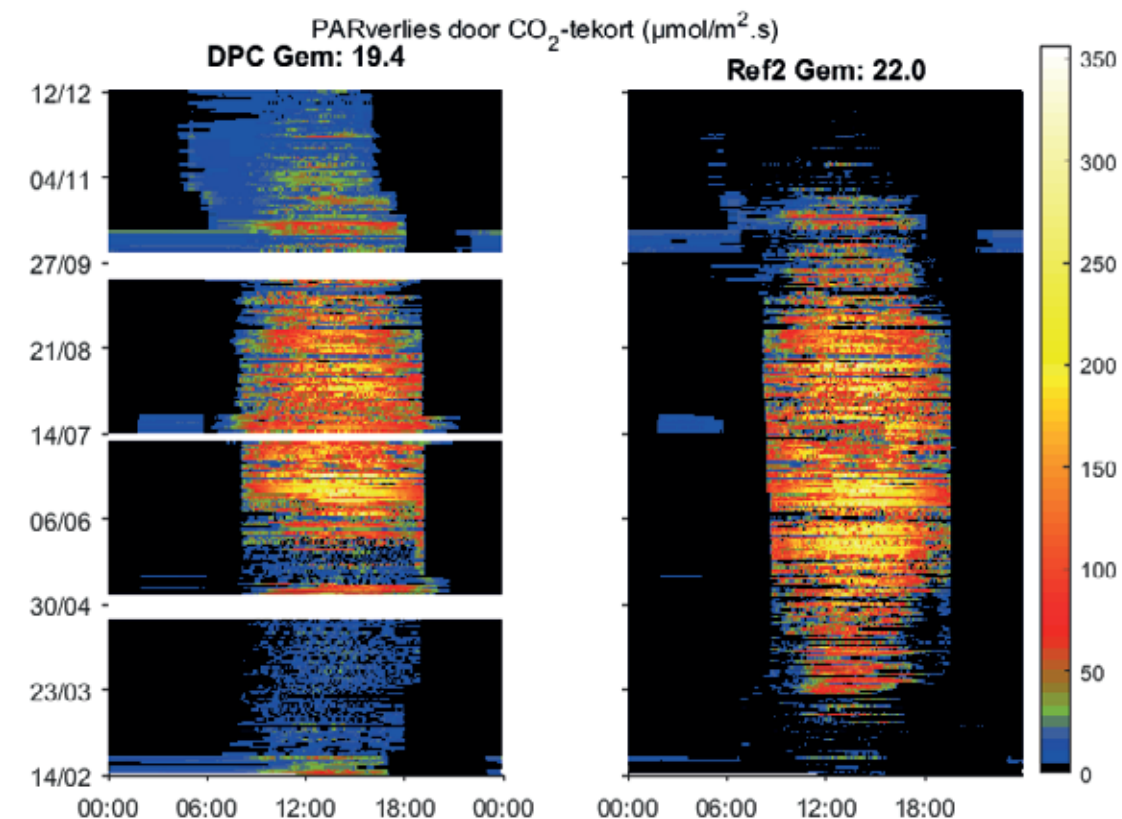
Hoewel in de kas met PAR-sensoren is gemeten, bleken de gemeten waarden niet voldoende betrouwbaar. Daarom is voor de hoeveelheid PAR op het gewas uitgegaan van de hoeveelheid zonlicht en de lamplicht, waarbij een vaste lichttransmissie van het kasdek, een vaste omrekeningsfactor van zonlicht naar PAR en een vaste PAR-opbrengst van de lampen. Met deze methode is bovendien een vergelijking met referentiebedrijven (waar geen PAR-sensoren zijn geplaatst) praktischer uit te voeren.

Doordat op jaarbasis meer warmte is geoogst dan nodig, moet de koeling worden beperkt om de buffer (aquifer) in balans te houden. Dit kan door het beperken van het koelvermogen en/of het aantal koeluren. Nu is de vraag op welke uren er minder of niet hoeft te worden gekoeld. Gedurende de nacht (15% van de totale koeling in 2017) heeft koeling zijn nut bewezen om bloeivertraging te voorkomen, al lijkt dat met minder koeling ook te behalen te zijn. Overdag is het belangrijkste nut dat koeling ervoor zorgt dat CO_2 in de kas blijft. CO_2 heeft het meeste nut als er ook veel licht is, maar bij veel licht komt er ook veel warmte in de kas. Als die warmte met de luchtramen wordt afgevoerd gaat de CO_2 -concentratie omlaag. Vooral als de buitentemperatuur hoog is, is hiervoor veel lucht nodig. Daarom heeft koeling met OPAC's het meeste nut als de buitentemperatuur hoog is.

Een MJ koeling vermijdt dan de meeste luchtuitwisseling en houdt dan dus de meeste CO₂ binnen. Als er echter al zo veel luchtuitwisseling nodig is, dat de CO₂-concentratie niet meer hoog kan worden gehouden, heeft het geen nut meer om koeling in te zetten om de luchtuitwisseling te beperken. Afhankelijk van de beschikbare hoeveelheid CO₂ en koeling, zal een strategie moeten worden opgesteld, waarin deze het meeste effectief kunnen worden ingezet. In hoofdlijnen zal dit inhouden:

- Dosering van CO₂ tot een concentratie van 700-800 ppm.
- Doseringcapaciteit van CO₂ wordt gelimiteerd tot een hoeveelheid die oploopt met de hoeveelheid PAR op het gewas.
- Inzet van koeling bij een buitentemperatuur hoger dan 12-14°C en zo lang de CO₂-concentratie hoger is dan 500-600 ppm.
- Aanvullend aan de koeling kan ook verneveling worden ingezet om de hoeveelheid luchtuitwisseling te beperken.

Bijlage 1 5-minuuts overzichten



Bijlage 2 Grondmonsters

EC	pH	NH ₄ ⁺	K ⁺	Na ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Si	NO3 ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	HCO ₃ ⁻	P	Fe	Mn	Zn	B	Cu	Mo	
Advies chryasant	0.8	6	1	1.5	0.8	2	1.5												
10-10-2017	1.2	7	0.1	1.4	1.1	4.6	0.7	0.6	3.5	0.9	3.4	0.7	0.2	7.1	0.1	2.4	40	0.6	0.45
7-9-2017	0.94	7.5	0.1	1.3	0.9	3.2	0.5	0.5	2	0.9	2.5	1	0.05	4.4	0.1	1.7	30	0.6	0.72
8-8-2017	0.72	7.5	0.1	0.9	0.8	2.5	0.4	0.5	1.9	0.6	1.8	0.8	0.05	5.2	0.2	1.7	22	0.9	0.56
3-8-2017	0.7	7.2	0.1	1.1	0.6	2.5	0.4	0.6	2	0.5	1.5	0.8	0.1	6.9	0.1	1.8	30	0.8	0.82
20-7-2017	1	7.2	0.1	1.6	1.1	3.9	0.6	0.6	2.4	0.9	2.9	0.9	0.05	7.7	0.2	2.7	32	0.8	0.7
31-5-2017	0.75	7.3	0.1	0.6	0.8	2.9	0.3	0.6	1.7	0.7	2	0.9	0.05	6.3	1.3	2.4	25	1	0.54
23-5-2017	0.65	7.4	0.1	0.6	0.6	2.4	0.3	0.5	1.6	0.5	1.6	0.8	0.05	6.9	2.9	1.6	27	0.9	0.8
16-5-2017	0.81	7.5	0.1	0.7	0.5	2.9	0.3	0.6	2.4	0.5	1.6	0.8	0.05	6.4	6.5	1.3	24	1	1
3-4-2017	0.62	8	0.2	1.3	0.7	2	0.2	0.4	0.5	0.7	1.3	1.8	0.05	3.3	8.6	0.5	19	0.4	0.78
30-3-2017	0.47	7.4	0.1	1	0.3	1.5	0.2	0.6	1.5	0.2	0.5	1.2	0.15	8.3	5.6	4.2	22	1.1	1.1
16-3-2017	1.1	7.2	0.1	0.9	0.8	4.3	0.5	0.4	3.5	0.9	2.5	1	0.05	3	12.2	0.3	31	0.5	0.9
14-3-2017	0.8	7.4	0.1	0.7	0.7	2.7	0.4	0.5	2.9	0.6	1.5	0.9	0.05	3	10.7	0.6	25	0.4	0.7
1-3-2017	1	7.5	0.2	0.8	1	4.2	0.3	0.5	1.7	1.6	3.2	0.9	0.05	1.3	5.9	0.4	19	0.5	0.6

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-752

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.