



# De Perfecte Chrysant teelt 1-9

Energiezuinige demonstratieteelten bij Delphy Improvement Centre

Marcel Raaphorst<sup>1</sup>, Anne Elings<sup>1</sup>, Arie de Gelder<sup>1</sup>, Lisanne Schuddebeurs<sup>2</sup> en Paul de Veld<sup>3</sup>

1. Wageningen Plant Research, 2. Delphy Improvement Centre, 3. Delphy

Rapport WPR-939

## Referaat

Bij het Delphy Improvement Centre zijn in 2017 en 2018 met financiering van Kas als Energiebron, ChrIP en leveranciers, negen chrysantenteelten uitgevoerd met de volgende doelstellingen:

- Een warmtegebruik van maximaal  $15 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{jaar})$  aan aardgasequivalenten (ae).
- Deze warmte dient volledig te worden onttrokken uit warmteoogst (koeling) en de elektriciteit voor de warmtepomp.
- Een  $\text{CO}_2$ -gebruik van  $25 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{jaar})$ .
- Een elektriciteitsgebruik voor belichting van  $121 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{jaar})$ .
- 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, luchtbehandelingskasten, een warmtepomp en bronpompen. De teelten zijn uitgevoerd onder de naam 'De Perfecte Chrysant' (DPC). De gerealiseerde gebruiken van warmte blijken lager te zijn dan de doelstelling. De hoeveelheid geoogste warmte (koeling) is juist veel hoger en de belichting is in de loop van het project steeds vaker ingezet. Verneveling heeft de hoeveelheid warmteoogst verhoogd. De 5% hogere productie is slechts bij drie van de negen teelten gelukt en na aanvankelijke kritiek is de kwaliteit van de takken in de loop van het project steeds beter beoordeeld. Geconcludeerd wordt dat het technisch mogelijk is om met een investering in luchtbehandelingskasten, warmtepomp en bronpompen, een extra scherm en hybride belichting chrysanten te telen zonder gas (behalve voor het stomen).

## Abstract

With funding from 'Kas als Energiebron', ChrIP and suppliers, nine chrysanthemum crops have been carried out at the Delphy Improvement Centre in 2017 and 2018. These crops had the following targets:

- A heat use up to  $475 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{yr})$ .
- This heat must be extracted from harvesting heat (cooling) and the electricity for the heat pump.
- A  $\text{CO}_2$ -use of  $25 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{yr})$ .
- A yearly electricity usage for lighting of  $121 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{yr})$ .
- 5% more production than professional growers.

The most important means to achieve this objective are hybrid lighting, diffuse glass with 2 AR-coatings, an additional energy screen, air handling units, well pumps and a heat pump. The crops are run under the name 'The Perfect Chrysanthemum' (DPC). The realised use of heat, turned out to be lower than the target. The amount of heat (cooling) harvested is much higher and the amount of lighting is has exceeded the target during the project. Fogging has increased the amount of harvested heat significantly. A 5% higher production has been succeeded only during three crops out of nine. At first, the growers rated the quality of the crop low, but that improved during the project. It is concluded that an investment in air handling units, heat pump and well pumps, an additional screen and hybrid lighting makes it technically possible to grow chrysanthemums without gas, if an alternative is found for disinfection by steaming.

## Rapportgegevens

Rapport WPR-939

DOI nummer: 10.18174/520620

Projectnummer: 3742258500

Thema: Energie en klimaat

Dit project is gefinancierd vanuit het programma Kas als Energiebron, het innovatie- en actieprogramma voor energiebesparing en verduurzaming in de glastuinbouw van Glastuinbouw Nederland en het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit. Verder hebben bijgedragen ChrIP, de stekleveranciers Deliflor, Dümmer Orange, Van Zanten, Dekker en Floritec, en de participanten Philips, Koppert, Horticoop en LetsGrow.com. Daarnaast is het project veel dank verschuldigd aan de telers die de proeven hebben begeleid.

## Disclaimer

© 2020 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](http://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

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
|          | <b>Samenvatting</b>                                       | <b>5</b>  |
| <b>1</b> | <b>Inleiding</b>  | <b>7</b>  |
|          | 1.1 Probleemstelling                                      | 7         |
|          | 1.2 Doelstelling  | 7         |
|          | 1.3 Methode   | 7         |
|          | 1.4 Teelten   | 9         |
| <b>2</b> | <b>Inzet van middelen</b>                                 | <b>11</b> |
|          | 2.1 Verwarming  | 13        |
|          | 2.2 Koeling   | 14        |
|          | 2.2.1 Inzet warmtepomp                                    | 15        |
|          | 2.2.2 Warmteogst in de winter                             | 16        |
|          | 2.3 Verneveling   | 16        |
|          | 2.4 Ventilatie  | 17        |
|          | 2.5 CO <sub>2</sub>                                       | 20        |
|          | 2.6 Belichting  | 22        |
|          | 2.7 Schermen  | 23        |
|          | 2.8 Druppelslangen en beregening                          | 26        |
|          | 2.9 Bodem en bemesting                                    | 28        |
|          | 2.10 Gewasbescherming                                     | 29        |
| <b>3</b> | <b>Kasklimaat</b>   | <b>31</b> |
|          | 3.1 Temperatuur   | 31        |
|          | 3.2 RV  | 32        |
|          | 3.3 Netto straling  | 34        |
|          | 3.4 Licht   | 35        |
| <b>4</b> | <b>Gewasgroei en productie</b>                            | <b>37</b> |
|          | 4.1 Teeltplan en uitvoering                               | 37        |
|          | 4.2 Tussentijdse plantmetingen                            | 37        |
|          | 4.3 Teeltduur   | 38        |
|          | 4.4 Plantmeting bij oogst                                 | 39        |
|          | 4.5 Houdbaarheid  | 41        |
| <b>5</b> | <b>Fotosynthesemetingen</b>                               | <b>43</b> |
|          | 5.1 Fotosynthese  | 43        |
|          | 5.2 Lichtonderschepping en bedekkingsgraad van de bloemen | 44        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>6</b> | <b>Conclusies en discussie</b>                    | <b>45</b> |
| 6.1      | Conclusies  | 45        |
| 6.1.1    | Teelt en gewas                                    | 45        |
| 6.1.2    | Energie   | 45        |
| 6.2      | Discussie   | 46        |
| 6.2.1    | Gewas   | 46        |
| 6.2.2    | Middelen  | 47        |
|          | <b>Literatuur</b>                                 | <b>49</b> |
|          | <b>Bijlage 1 Fotosynthesemetingen</b>             | <b>51</b> |
|          | <b>Bijlage 2 Grondmonsters</b>                    | <b>59</b> |
|          | <b>Bijlage 3 Communicatie</b>                     | <b>61</b> |
|          | <b>Bijlage 4 Warmtebeelden 14 maart 2018</b>      | <b>63</b> |
|          | <b>Bijlage 5 Verhouding temperatuur en PARsom</b> | <b>65</b> |



# Samenvatting

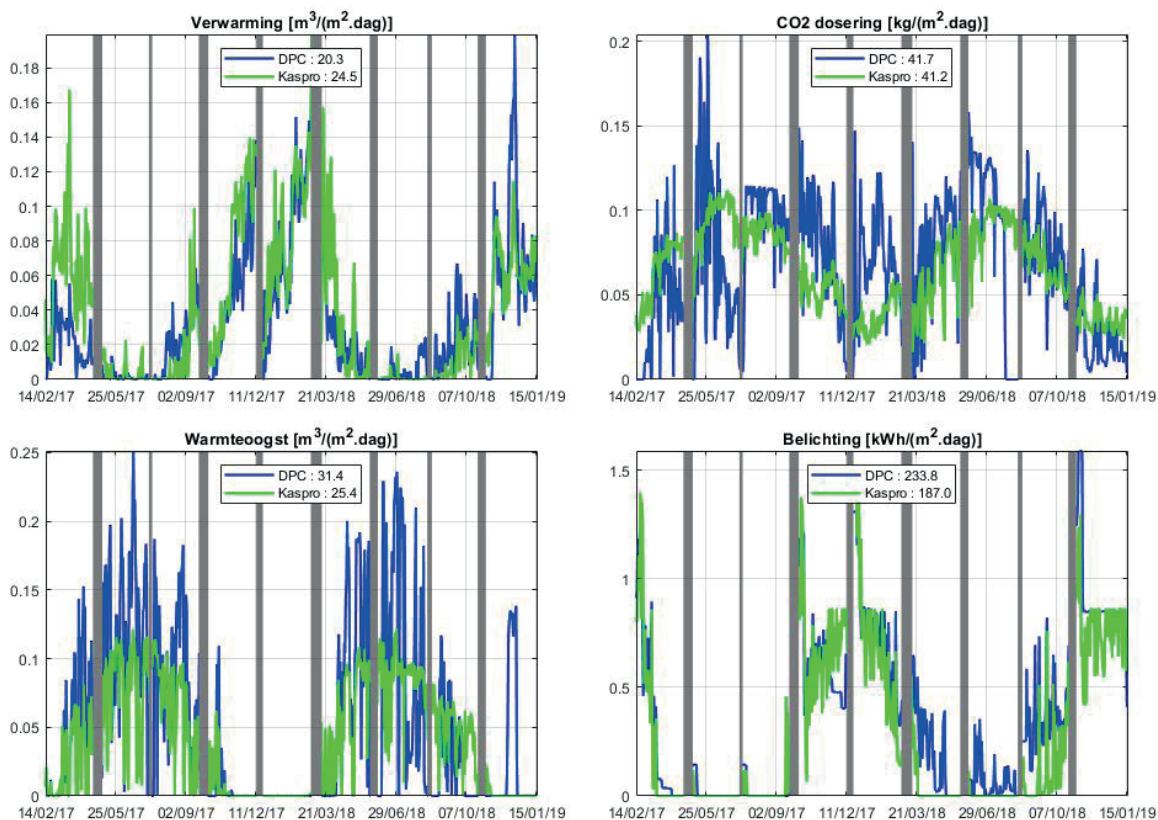
Bij het Delphy Improvement Centre zijn in 2017-2018 met financiering van Kas als Energiebron, ChrIP, stekleveranciers, Philips, Koppert, LetsGrow.com en Horticoop negen chrysantenteelten uitgevoerd. Deze teelten hadden de volgende doelstellingen, geëxtrapoleerd op jaarbasis:

- Een warmtegebruik van maximaal  $15 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{jaar})$  aan aardgasequivalenten (ae).
- Deze warmte dient volledig te worden geproduceerd uit warmteoogst (koeling) en elektriciteit voor een warmtepomp.
- Een  $\text{CO}_2$ -gebruik van  $25 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{jaar})$ .
- 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:  $70 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  SON-T en  $100 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  LED.
- Diffuus glas met 2 AR-coatings: 80% haze, 95,5% loodrechte en 85% hemisferische transmissie.
- Verduisteringsdoek met witte onderzijde.
- Een extra energiedoek.
- 8 (en na vijf teelten 6) 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 het gebruik van warmte,  $\text{CO}_2$ , elektriciteit en koude gesimuleerd. In Figuur a zijn de gesimuleerde verbruiken weergegeven met het gerealiseerde buitenklimaat. Dit is vergeleken met de gerealiseerde verbruiken van DPC. Hieruit blijkt dat de gerealiseerde gebruiken van  $\text{CO}_2$  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 in het eerste jaar vrijwel gelijk aan de simulatie. In het tweede jaar is meer belicht.



**Figuur a** Inzet van de verwarming,  $\text{CO}_2$ , koeling (warmteoogst) en belichting in vergelijking met een simulatie met Kaspro. De getallen in de kaders zijn de totaal gebruiken van 9 teelten.

Als deze negen teelten worden omgerekend naar een bedrijf met 5,1 teelten per jaar, dan zou het warmtegebruik uitkomen op  $12 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ ae. per jaar}$  en de warmteopstoot op  $17 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ ae. per jaar}$ . Er is dus minder warmte gebruikt dan in de doelstelling ( $15 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{jaar})$ ) en veel meer warmte opstoot dan wat er gebruikt is. Voor het produceren van  $12 \text{ m}^3$  aan aardgasequivalenten warmte door een warmtepomp met een COP van 4, is namelijk slechts  $9 \text{ m}^3$  aan aardgasequivalenten warmteopstoot nodig en is  $(12/4) \cdot (32/3.6) = 27 \text{ kWh}$  elektriciteit nodig voor de aandrijving van de warmtepomp.

De onbenutte warmteopstoot ( $17 - 9 = 8 \text{ m}^3$ ) die hoofdzakelijk is ingezet voor koeling tijdens de zomer, zal moeten worden afgevoerd, bijvoorbeeld met een chiller of een koeltoren. Omdat de warmtepomp moet zorgen voor koelwater, is voor de extra koeling nog  $24 \text{ kWh}$  extra elektriciteit nodig.

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. Bij de laatste teelten is een lagere RV aangehouden. Dit heeft mede geleid tot een 43% hoger warmtegebruik dan bij de eerste teelten, terwijl de simulatie met Kaspro in de tweede helft een 6% lager warmtegebruik liet zien.

De productie per  $\text{m}^2$  lag alleen tijdens teelten 1, 2 en 9 meer dan 5% boven dat van het praktijkbedrijf. Het is niet altijd duidelijk waarom de ene teelt beter en de andere teelt minder goed presteert dan de praktijk. Soms lijkt de oorzaak van groeiachterstand te liggen in een droog kasklimaat of een voorzichtige watergift vlak na het planten.

Dankzij plantmetingen is bevestigd dat de cumulatieve groei van de chrysanten, uitgezet tegen de cumulatieve hoeveelheid PAR een S-curve vormt. Van week 3 t/m 9 wordt het licht het meest effectief omgezet in versgewicht, waarschijnlijk omdat dan het meeste licht wordt geabsorbeerd door de bladeren. Bij de fotosynthesemetingen tijdens teelt 9 is een groot verschil gevonden tussen metingen bij 400 en 800 ppm  $\text{CO}_2$ -concentratie.

De takkwaliteit is niet objectief gemeten, maar werd door de BCO niet altijd als positief gewaardeerd. In de loop van het project werden de reacties wel positiever.

Geconcludeerd wordt dat het technisch mogelijk is om met een investering in luchtbehandelingskasten, warmtepomp en bronpompen, een extra scherm en hybride belichting chrysanten kunt telen zonder gas (behalve voor het stomen). Een neutrale warmtebalans voor de aquifer is nog niet bereikt. Bij een halvering van de nominale koelcapaciteit heeft verneveling de werkelijke koelcapaciteit weer verhoogd.

# 1 Inleiding

## 1.1 Probleemstelling

De glastuinbouwsector zoekt naar middelen om de teelten klimaatneutraal uit te voeren, om hiermee minder afhankelijk te zijn van aardgas. De chrysantentelers hebben daarom met financiering door Kas als Energiebron onderzoek laten uitvoeren met de vraagstelling: Is het mogelijk is om *all electric* te telen door minder gebruik van warmte, en door het onttrekken (oogsten) van warmte uit de kas? In 2017 is dit gedurende vier teelten op het Delphy Improvement Centre getest (Raaphorst *et al.* 2018).<sup>1</sup> Hieruit bleek dat ruim voldoende warmte kan worden geoogst, zeker indien de minimum buistemperatuur wordt uitgeschakeld. Echter, de meeste warmte wordt geoogst in het zomerseizoen, terwijl de grootste warmtebehoefte in het winterseizoen ligt. Bovendien werd ondanks de hoge gerealiseerde productie, de takkwaliteit door de telers niet altijd positief beoordeeld.

Om een klimaatneutrale teelt voor de chrysantenteelt ook economisch interessant te maken, moet eerst worden aangetoond dat dezelfde energiedoelen kunnen worden behaald en toch een betere takvorm kan worden verkregen.

## 1.2 Doelstelling

Aantonen dat jaarrond een perfecte chrysant is te telen met een warmtegebruik van  $15 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{jaar})$  aan aardgasequivalenten (50% besparing ten opzichte van praktijk), een  $\text{CO}_2$ -gebruik van  $25 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{jaar})$  (50% besparing ten opzichte van de praktijk) en een elektriciteitsgebruik voor belichting van  $121 \text{ kWh}/\text{m}^2$  (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  $100 \text{ W}/\text{m}^2$  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  $1000 \text{ m}^2$  is speciaal voor chrysantenteelt ingericht met de volgende energiebesparende investeringen:

- Hybride belichting:  $70 \text{ } \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  SON-T en  $100 \text{ } \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  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).
- 5 druppelslangen per bed aan het gaas bevestigd.
- 8 luchtbehandelingskasten (OPAC) met een koelend vermogen van  $100 \text{ W}/\text{m}^2$ .
- Een schaduwdoek (Harmony 2315 O FR).
- Een gedeelte met  $5 \text{ } \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  aan verrood lampen.

Na de teelten 1 tot en met 4 (beschreven in Raaphorst *et al.* 2018) is in deze kasfaciliteit is tot begin maart 2018 de vijfde teelt uitgevoerd.

---

<sup>1</sup> In het rapport De Perfecte Chrysant teelt 1-4, (Raaphorst *et al.* 2018) worden de resultaten van teelt 1 tot en met 4 beschreven. In dit rapport worden die nogmaals meegenomen in de beschrijving van het geheel van de resultaten, omdat de teelten 5 tot en met 9 een logische voortzetting waren van dat onderzoek.

Daarna is het schaduwdoek verwijderd om de lichttransmissie van de kas iets te verbeteren. Het schaduw scherm is in 2017 namelijk nauwelijks ingezet. Ook zijn de verrood lampen verwijderd omdat deze geen effect bleken te hebben op de groei of de reactietijd. De vernevelingsinstallatie is gereviseerd, zodat deze kon worden ingezet om de luchtvochtigheid in de zomer te verhogen en zo de ventilatiebehoefte te verminderen. Het koelvermogen is gehalveerd door het demonteren van twee luchtbehandelingskasten en het beperken van de ventilatorstand. De lichttransmissie van de kas is na de aanpassingen nogmaals gemeten. Vanaf maart 2018 zijn nog 4 chrysantenteelten uitgevoerd met ten opzichte van 2017 de volgende aanpassingen:

- Een plantdichtheid die gelijk is aan het gemiddelde van de referentiebedrijven.
- Minder luchtbeweging bij de start van de teelt.
- Een hogere RV (max 96%) bij de start van de teelt.
- Een hogere ventilatietemperatuur (tot 25°C) bij de start van de teelt.
- Gebruik van druppelslangen alleen in de tweede helft van de teelt.
- Een lagere RV (max 88%) tijdens het einde van de teelt.
- Om te monitoren of de gehanteerde strategie alleen positief uitwerkt voor de cultivar Baltica of dat het ook bij andere cultivars kan worden toegepast, zijn acht in plaats van vier andere cultivars (600 planten per cultivar) bijgeplant. Deze cultivars zijn aan het einde van iedere teelt beoordeeld op bloem- en bladkwaliteit.

Het energiedoek is zodanig ingezet dat een optimale afweging wordt gemaakt tussen besparing op warmte en verlies van zonlicht:

- De schermstrategie is gemonitord met een netto-stralingsmeter.
- Ook is het kasklimaat onder het scherm gemonitord op het voldoende afvoeren van vocht via de schermventilatoren.

Aan het einde van iedere teelt is de kwaliteit van het gewas en het energiegebruik vergeleken met een prognose en de realisatie van 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/m<sup>2</sup> 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 heeft telkens de teelt beoordeeld en adviezen gegeven over de verdere voortgang.

Een lagere koelcapaciteit kan leiden tot meer verlies van CO<sub>2</sub>. In 2018 is onderzocht of de lagere koelcapaciteit kan worden gecompenseerd door verneveling, waardoor de luchtramen niet verder hoeven te worden geopend en voldoende CO<sub>2</sub> in de kas kan blijven.

De invloed van LED-belichting op de planttemperatuur ten opzichte van de kastemperatuur is gedurende enkele weken gemonitord met behulp van een warmtebeeld-camera.



Gezien de moeizame teeltstarten in 2017 is nu bij de start van elke teelt bijzondere aandacht gegeven aan de grondbewerking en bemesting, zodat de start direct na het planten goed verloopt en het gewas uniform ontwikkelt.

De resultaten (teeltsnelheid, takgewicht, bloemkwaliteit, energiegebruik) van één cultivar (Baltica) worden vergeleken met een prognose voor energiegebruik en productie per teelt. Ook zijn gedurende de teelt tussentijds plantmetingen uitgevoerd om per teeltfase te bepalen hoe efficiënt het gewas met licht is omgegaan. Daarnaast zijn gegevens verzameld van twee praktijkbedrijven met dezelfde cultivar geteeld in dezelfde periodes. Omdat een van deze praktijkbedrijven halverwege 2018 is gestopt met de proef, zijn in dit rapport de resultaten van slechts één praktijkbedrijf als referentie gebruikt.

In het kader van de fysiologische verdieping, een onderzoek dat bij meerdere gewassen wordt uitgevoerd, zijn bij De Perfecte Chrysant tijdens teelt 9 intensieve metingen aan het gewas gedaan met de nadruk op de fotosynthese en de lichtonderschepping (zie hoofdstuk 5).

## 1.4 Teelten

Enkele uitgangspunten van de eerste vier teelten van De Perfecte Chrysant (DPC), zoals deze zijn beschreven in [Raaphorst *et al.* 2018] en van teelt 5 t/m 9 zijn weergegeven Tabel 1.

Tabel 1

*Plantdatum, plantdichtheid en aantal dagen LangeDag van de eerste vier teelten (boven) en van teelt 5 t/m 9 (onder).*

| Teelt          |                  | 1                |      | 2          |    | 3            |      | 4              |    |
|----------------|------------------|------------------|------|------------|----|--------------|------|----------------|----|
| plantdatum     |                  | 14 februari 2017 |      | 4 mei 2017 |    | 14 juli 2017 |      | 2 oktober 2017 |    |
|                | wk.dag           | Wk7 dag2         |      | Wk18 dag4  |    | Wk28 dag5    |      | Wk40 dag1      |    |
|                |                  | DPC              | PB   | DPC        | PB | DPC          | PB   | DPC            | PB |
| plantdichtheid | #/m <sup>2</sup> | 60               | 52.5 | 67         | 60 | 59           | 56.5 | 52.5           | 50 |
| LD             | dagen            | 9                | 9    | 8          | 8  | 8            | 10   | 10             | 9  |

| Teelt          |                  | 5           |    | 6           |    | 7          |    | 8           |      | 9          |
|----------------|------------------|-------------|----|-------------|----|------------|----|-------------|------|------------|
| plantdatum     |                  | 19 dec 2017 |    | 13 mrt 2018 |    | 1 jun 2018 |    | 17 aug 2018 |      | 2 nov 2018 |
|                | wk.dag           | Wk51 dag2   |    | Wk11 dag2   |    | Wk22 dag5  |    | Wk33 dag5   |      | Wk44 dag5  |
|                |                  | DPC         | PB | DPC         | PB | DPC        | PB | DPC         | PB   | DPC        |
| plantdichtheid | #/m <sup>2</sup> | 50          | 43 | 62          | 63 | 62         | 51 | 58          | 56.5 | 50         |
| LD             | dagen            | 11          | 11 | 10          | 11 | 10         | 10 | 10          | 10   | 10         |



## 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, CO<sub>2</sub>, koeling en belichting kunnen worden ingezet. Na afloop van de negen teelten zijn de simulaties herhaald voor het buitenklimaat van 2017 en 2018 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 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 van 20,6 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> voor negen teelten (exclusief het warmtegebruik tijdens de teeltwisselingen) is ver beneden verwachting. Als dit warmtegebruik wordt vertaald naar het teeltschema van een praktijkbedrijf (met 5,1 teelten per jaar) dan zou dit neerkomen op ongeveer 12 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>.jaar). Dit is veel lager dan de 28 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>.jaar) die in de praktijk gebruikelijk is. Dit verschil heeft de volgende oorzaken

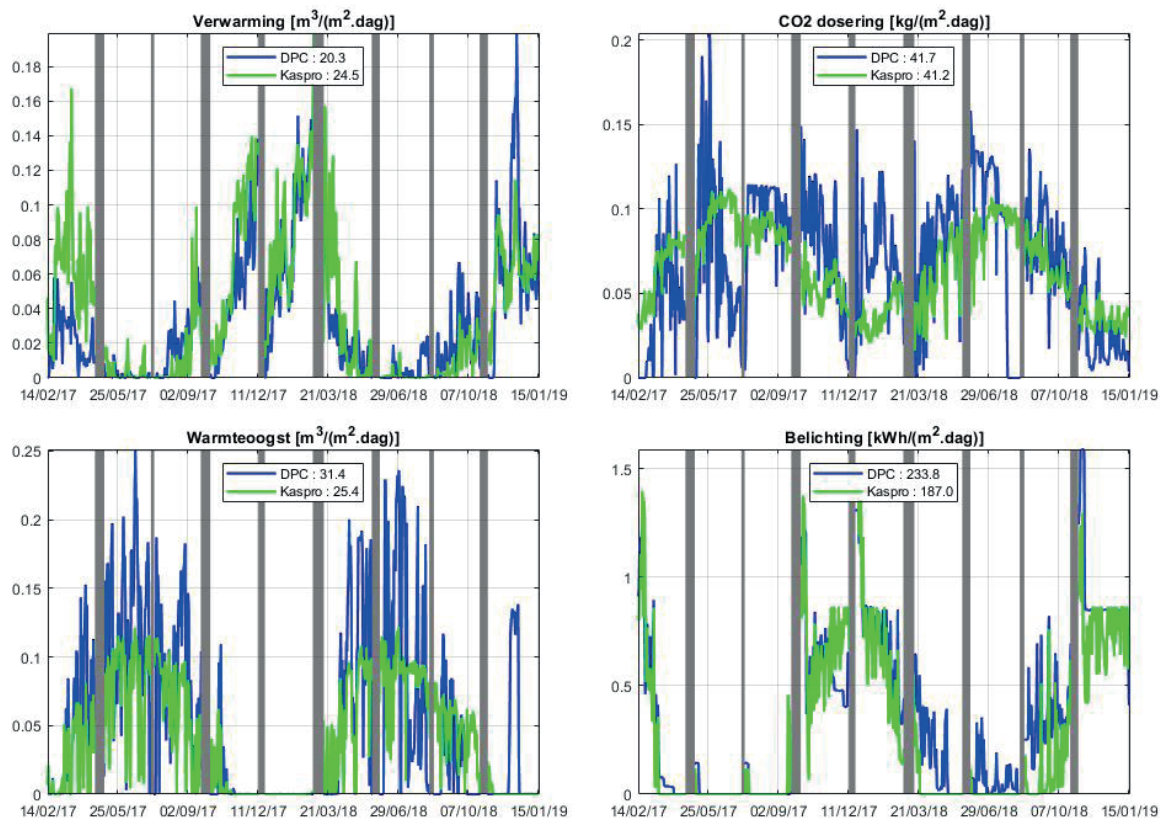
- In de praktijk wordt de minimumbuis gebruikt als verzekeringspremie tegen schimmelziekten en voor een betere houdbaarheid van het eindproduct. Bij De Perfecte Chrysant (DPC) kan meer risico worden genomen, mede doordat de luchtvochtigheid worden beheerst doordat droge lucht kan worden ingeblazen van boven het scherm.
- In de praktijk wordt de WKK ingezet voor de productie van elektriciteit en CO<sub>2</sub>. Ook op momenten dat er geen warmtevraag is, wordt de vrijkomende warmte toch in de kas ingebracht.
- Het energiescherm zorgt voor extra isolatie, met name gedurende de schemeruren en de nacht.

De koelingsinstallatie heeft een grotere capaciteit dan verwacht, waardoor de totale warmteogst van negen teelten uitkomt op 31,7 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> aan aardgasequivalenten. Als de eerste helft van de negen teelten wordt omgerekend naar een bedrijf met 5,1 teelten per jaar zou de warmteogst neerkomen op ongeveer 18,8 en voor de tweede helft 17,1 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>.jaar) aan aardgasequivalenten, terwijl 9.9 respectievelijk 14,1 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>.jaar) nodig is om in de warmtevraag te voorzien. Opvallend is, dat ondanks de verlaging van de nominale koelcapaciteit in 2018, de warmteogst nauwelijks lager is geworden. Dit is te verklaren door de inzet van verneveling. Met een hoge luchtvochtigheid in de kas kan namelijk ook met een klein luchtdebiet nog veel (latente) warmte worden geoogst.

Halverwege teelt 9 is de koeling extra ingezet om te onderzoeken hoeveel warmte tijdens een winterdag kan worden geoogst.

De totale CO<sub>2</sub>-dosering komt met 41,7 kg/m<sup>2</sup> redelijk overeen met wat gesimuleerd is in Kaspro. Omgerekend naar een bedrijf met 5,1 teelten per jaar zou de totale CO<sub>2</sub>-dosering neerkomen op 24,6 respectievelijk 22,7 kg/(m<sup>2</sup>.jaar).

De totale belichting is tijdens de eerste vijf teelten vrijwel gelijk aan de berekeningen in Kaspro. Daarna zijn de instellingen zodanig gewijzigd, dat de belichting pas wordt afgeschakeld bij 300 W/m<sup>2</sup> globale straling in plaats van 200 W/m<sup>2</sup>. Dat heeft vooral invloed gehad op de hoeveelheid belichtingsuren van teelten 6 t/m 8. Bij teelt 9 komt de globale straling maar zelden boven 200 W/m<sup>2</sup> en wordt de belichting dus sowieso zelden afgeschakeld. De totale hoeveelheid elektriciteit voor de belichting van 9 teelten is 240 kWh/m<sup>2</sup> geweest. Omgerekend naar een bedrijf met 5,1 teelten zou dat voor de eerste helft van de negen teelten neerkomen op ongeveer 122 kWh/(m<sup>2</sup>.jaar) en voor de tweede helft 165 kWh/(m<sup>2</sup>.jaar). In de tweede helft is dit dus veel meer dan wat als doel is gesteld (121 kWh).

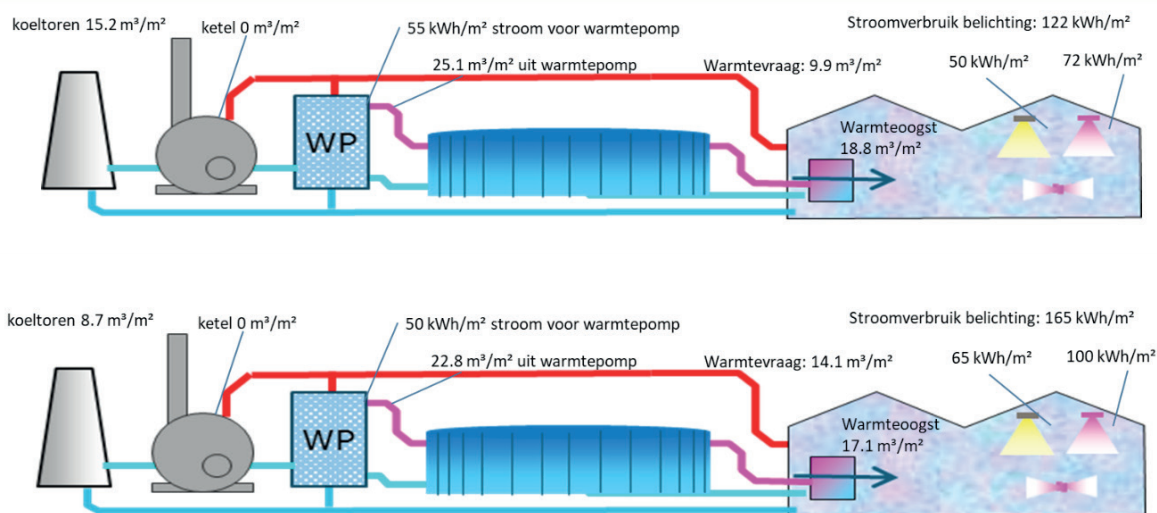


**Figuur 1** Inzet van de verwarming, CO<sub>2</sub>, koeling (warmteogst) en belichting in vergelijking met een simulatie met Kaspro. De getallen in de kaders zijn de totaal gebruiken van negen teelten.

In Figuur 2 is voor twee opeenvolgende jaren schematisch weergegeven hoe de warmtestromen in zouden kunnen lopen indien er voldoende seizoensbuffering zoals een aquifer aanwezig is. In de kas kan 18,8 respectievelijk 17,1 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> aan aardgasequivalenten worden geoogst. Om voldoende koude te kunnen maken moet er 55 respectievelijk 50 kWh/m<sup>2</sup> aan elektriciteit in de warmtepomp worden gestopt, waardoor er in totaal 25,1 respectievelijk 22,8 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> warmte beschikbaar is. Ervan uitgaande dat alle warmte en koude kan worden gebufferd, is de ketel niet meer nodig. Er is nog wel een koeltoren nodig om het overschot aan warmte af te voeren.

Overigens is in Figuur 2 een dagbuffer getekend, maar een dagbuffer (± 300 m<sup>3</sup>/ha) is te klein om over een heel seizoen voldoende warmte op te slaan. Over de negen teelten kan met een dagbuffer slechts 5,1 m<sup>3</sup> worden gebufferd. Dat betekent dat in deze situatie de ketel over 9 teelten alsnog 20,3-5,1=15,2 m<sup>3</sup> zou moeten verbranden en dat de koeltoren een gelijke hoeveelheid warmte op andere momenten zou moeten afvoeren. Om volledig zonder ketel te kunnen telen is een seizoensbuffer nodig, zoals een aquifer.





**Figuur 2** Schematische weergave van de energiestromen van de eerste (boven) en de tweede (onder) helft van de 9 teelten, geëxtrapoleerd naar 2 teeltjaren voor een situatie met seizoensbuffering (bijv. aquifer).

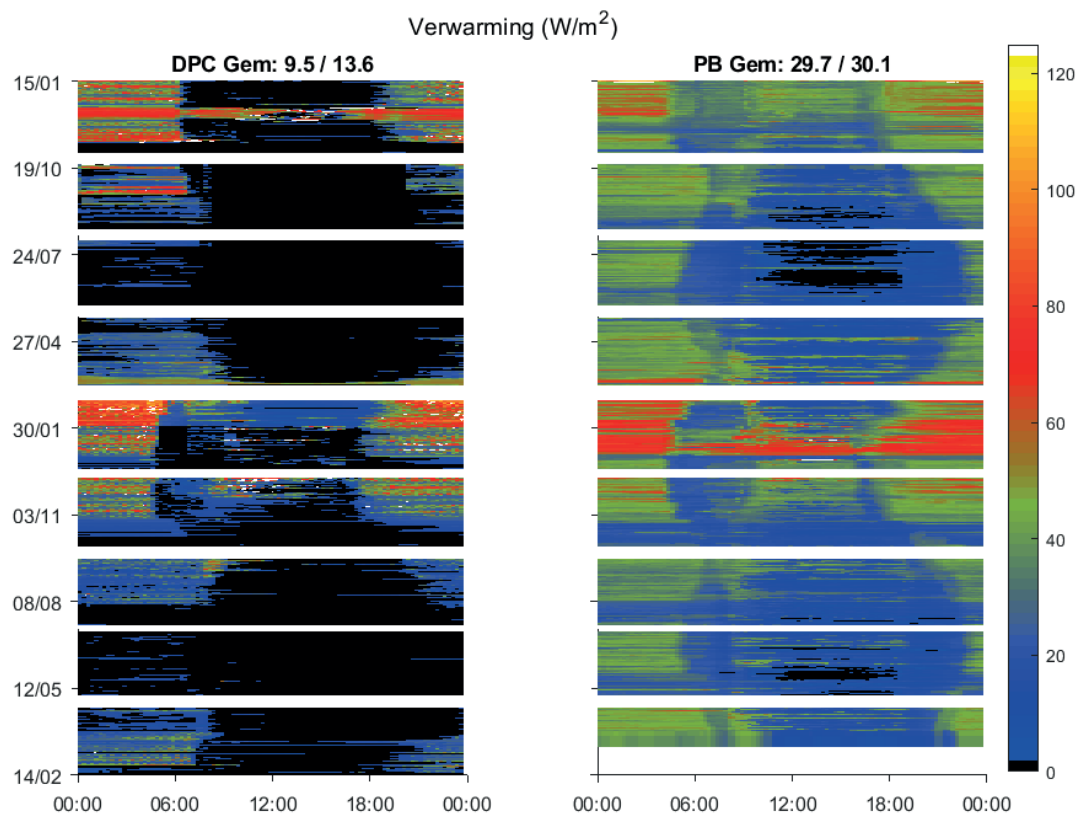
## 2.1 Verwarming

De verwarming is bij De Perfecte Chrysant veel minder vaak ingezet dan bij het praktijkbedrijf. In Figuur 3 is te zien dat bij het praktijkbedrijf bedrijf vrijwel altijd een minimum buistemperatuur is aangehouden, terwijl bij De Perfecte Chrysant alleen warmte is ingezet als de temperatuur lager werd dan de stooktemperatuur. Deze stooktemperatuur was over het algemeen  $18^\circ\text{C}$  (D/N). In de eerste weken wordt de onderbuis niet gebruikt en werd verwarmd met de bovenbuis en/of de OPAC's. Daarna werd primair gestookt met de onderbuis.

Overdag is dan zelden extra warmte nodig omdat de zon of de lampen dan voldoende warmte leveren om boven de stooktemperatuur te blijven. De minimum buis wordt in de praktijk vooral ingezet om de verdamping te stimuleren, of om de warmte van de WKK (die elektriciteit en  $\text{CO}_2$  moet produceren) te kunnen afvoeren. Bij DPC werd primair vocht afgevoerd met de schermventilatoren en werd er pas gestookt als de temperatuur te laag werd.

In teelt 9 van DPC is te zien dat ook overdag warmte is ingezet. Deze warmte was nodig omdat de OPAC's in die periode warmte uit de kas hebben geoogst. Hierbij is de kaslucht gekoeld om het vocht uit de kaslucht te kunnen condenseren. De vrijkomende latente warmte wordt dan geoogst, maar de voelbare warmte moet weer in de kas worden teruggebracht om de kasluchttemperatuur op peil te houden. Deze herverwarming komt in de figuur bij teelt 9 naar voren.

De gemiddelde verwarming tijdens de eerste helft van de 9 teelten was  $9,5 \text{ W}/\text{m}^2$  bij DPC en  $29,7 \text{ W}/\text{m}^2$  bij het praktijkbedrijf. Vanaf halverwege teelt 5 tot het einde van teelt 9 is de gemiddelde verwarming bij DPC gestegen naar  $13,6 \text{ W}/\text{m}^2$  terwijl die bij het praktijkbedrijf  $30,1 \text{ W}/\text{m}^2$  is. De 43% verhoging bij DPC is veroorzaakt door het oogsten van warmte tijdens teelt 9, het nastreven van een lagere RV en doordat de tweede helft van teelt 5 meer energie vergde dan de eerste helft.



**Figuur 3** 15-minuutsoverzicht van het warmtegebruik van DPC en Praktijkbedrijf (PB) (Gemiddelde waarden betreffen de eerste en de tweede helft van de weergegeven periode).

## 2.2 Koeling

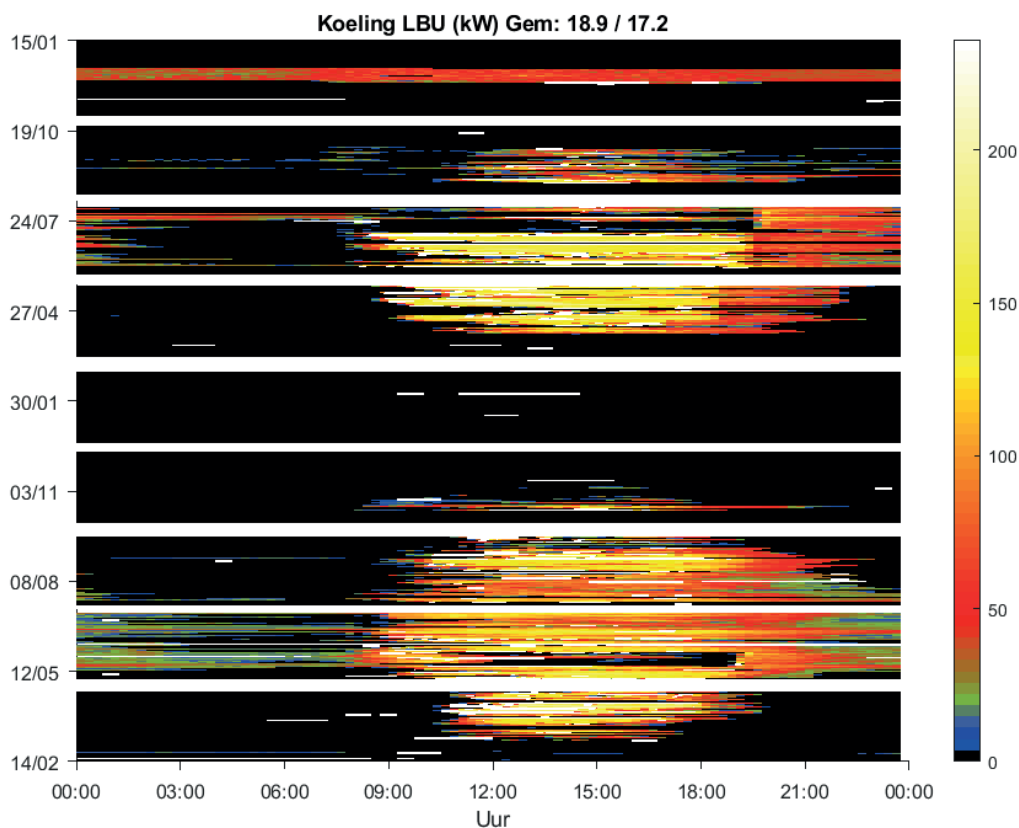
De koelinstallatie is bij aanleg gedimensioneerd op 100 W/m<sup>2</sup>, maar in werkelijkheid kan de koelcapaciteit oplopen tot meer dan 200 W/m<sup>2</sup>. Dit wordt bereikt bij een kasttemperatuur van 28°C, een aanvoertemperatuur van 7°C en een ventilatorstand van 95%. Door deze hoge koelcapaciteit is op jaarbasis meer warmte geoogst dan noodzakelijk. Bij de teelten 5-9 is de capaciteit van de OPAC's verlaagd door 2 van de 8 LBU's uit te schakelen en bij de 6 resterende LBU's hooguit een 80% ventilatorstand aan te houden. Doordat na teelt 5 ook verneveling is ingezet, bleef de koelcapaciteit echter hoog. De gemiddelde koelcapaciteit over de eerste helft van de 9 teelten was 18,9 kW en over de tweede helft was dat nog steeds 17,2 kW.

Naast warmteoogst heeft koeling twee doelen:

1. Door te koelen kunnen de ramen dicht blijven en kan er meer CO<sub>2</sub> in de kas worden gehouden. Berekend is dat als er in 2017 niet zou zijn gekoeld, er 5,5 kg meer CO<sub>2</sub> per m<sup>2</sup> zou moeten worden gedoseerd om dezelfde CO<sub>2</sub>-concentratie te bereiken. Dit is overigens minder dan wat uit eerdere berekeningen is gebleken, maar die oude berekeningen zijn uitgegaan van een te lage meetwaarde van de buitenlucht-CO<sub>2</sub>. Met de nieuwe berekening is uitgegaan van een buitenlucht CO<sub>2</sub>-concentratie van 410 ppm. In 2018 is dankzij het koelen 4,5 kg/m<sup>2</sup> in de kas gebleven, waarvan 2 kg/m<sup>2</sup> is gestimuleerd door het vernevelen.
2. Door te koelen kan de kasttemperatuur worden verlaagd. Met name als het verduisteringsdoek moet worden gesloten is het 's zomers lastig om zonder koeling de kasttemperatuur te verlagen. Een te hoge kasttemperatuur 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 kasttemperatuur te verlagen. Aan Figuur 4 is te zien dat de ingezette koelcapaciteit bij gesloten schermen (dus na 19:00 uur) in de zomer (teelten 2, 3 en 7) veelal tussen 50 en 100 W/m<sup>2</sup> lag. Daarna zakt het koelvermogen. Na 24:00 uur wordt nog nauwelijks gekoeld. Ook bij een jong gewas wordt nauwelijks gekoeld. Overdag kan het koelvermogen oplopen tot 200 W/m<sup>2</sup>. Aan het einde van teelt 7 wordt wel alleen 's nachts gekoeld. Dit had het belangrijkste doel om de kaslucht te ontvochtigen. Achteraf gezien was deze actie niet altijd even geslaagd.

De luchtbeweging wordt niet gezien als positief voor planten met onvoldoende beworteling.



**Figuur 4** 15-minuutsoverzicht van de koeling (kW/1000 m<sup>2</sup>, of W/m<sup>2</sup>) bij DPC (Gemiddelde waarden betreffen de eerste en de tweede helft van de weergegeven periode).

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 met hun ventilatoren 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.

### 2.2.1 Inzet warmtepomp

In het project is de inzet van de warmtepomp niet gemeten. De beschikbare warmtepomp is namelijk gebruikt voor meerdere afdelingen. De benodigde inzet van de warmtepomp om zonder gas chrysanten te kunnen telen is wel goed te berekenen.

Voor het produceren van 12 m<sup>3</sup> aan aardgasequivalenten warmte door een warmtepomp met een COP van 4, is 9 m<sup>3</sup> aan aardgasequivalenten warmteoogst nodig en  $(12/4) \cdot 32/3.6 = 27$  kWh elektriciteit nodig voor de aandrijving van de warmtepomp.

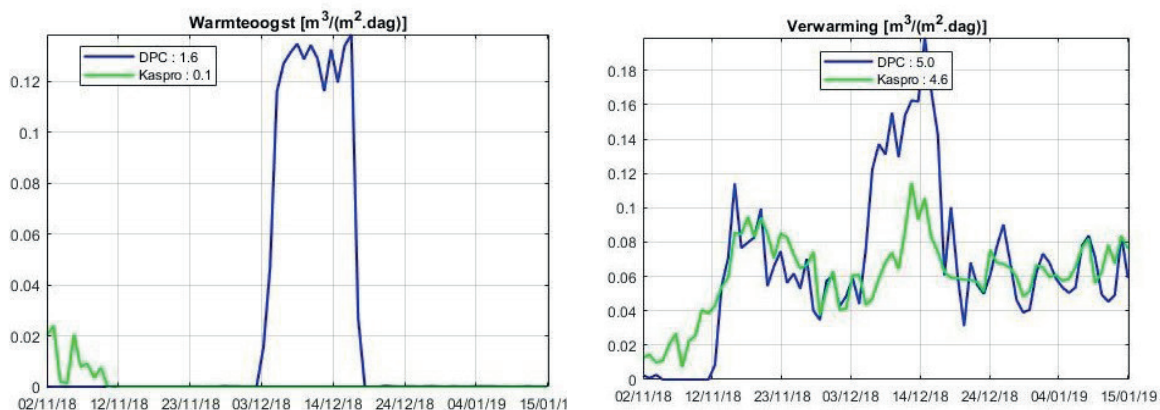
De onbenutte warmteoogst ( $17-9=8\text{ m}^3$ ) die hoofdzakelijk het gevolg is van koeling tijdens de zomer, zal moeten worden afgevoerd, bijvoorbeeld met een chiller of een koeltoren. Omdat de warmtepomp moet zorgen voor koelwater, is voor de extra koeling nog 24 kWh elektriciteit nodig.

### 2.2.2 Warmteoogst in de winter

Tijdens teelt 9 is gedurende twee weken de koeling ingezet zonder dat er koelbehoefte is. Dit had het doel om te onderzoeken of er overdag met koeling voldoende warmte kan worden geoogst om op winterdagen in de volledige warmtebehoefte te kunnen voorzien. De buitentemperatuur lag in die weken tussen  $-1$  en  $11^\circ\text{C}$ . Op de koudste dagen was er relatief veel zonlicht (tot  $250\text{ W/m}^2$ ).

In Figuur 5 Warmteoogst en verwarming bij DPC tijdens teelt 9, vergeleken met de simulatie van Kaspro. Figuur 5 is weergegeven dat de dagelijkse warmteoogst gedurende de 2 weken op hetzelfde niveau bleef, ondanks de wisselende buitenomstandigheden. Dit komt doordat de koeling op een constante capaciteit van  $50\text{--}60\text{ W/m}^2$  is gezet en de temperatuur wordt geregeld door de verwarming. Door dagelijks  $0,12\text{ m}^3/\text{m}^2$  aan aardgasequivalenten te oogsten, stijgt de warmtevraag van  $\pm 0,06$  naar  $\pm 0,16\text{ m}^3/(\text{m}^2.\text{dag})$ . Omdat  $3/4^e$  deel van de warmte voor de warmtepomp afkomstig is uit warmteoogst (de andere  $1/4^e$  deel komt uit de elektrische aandrijving) zou hiermee in deze periode all-electric kunnen worden geteeld.

Daarbij dient wel te worden aangetekend dat de winterse omstandigheden kouder kunnen zijn dan in de betreffende periode, en dat nog niet bekend is hoe een jong of bijna bloeiend gewas zich gedraagt als er koude lucht wordt ingeblazen.



**Figuur 5** Warmteoogst en verwarming bij DPC tijdens teelt 9, vergeleken met de simulatie van Kaspro.

## 2.3 Verneveling

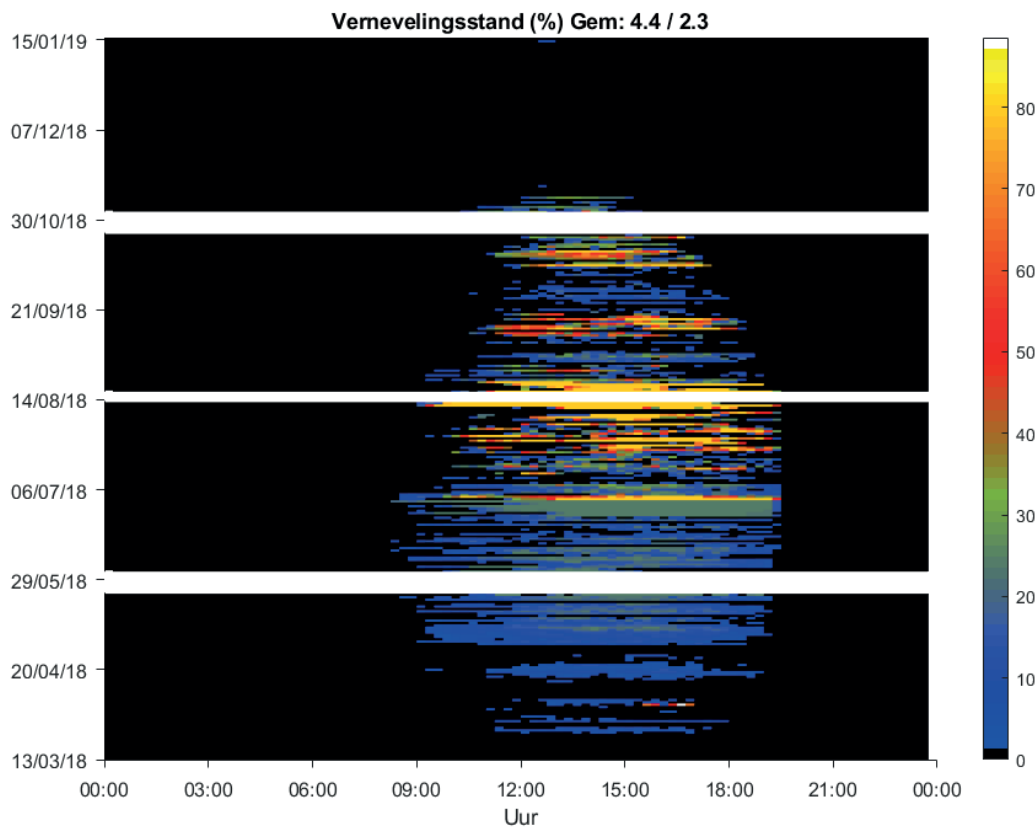
De verneveling is alleen ingezet in teelten 6-9. Gemiddeld heeft deze gedurende deze teelten 3,1% van de tijd de lucht bevochtigd. Dat komt neer op 210 uren per jaar. Bij een dosering van  $500\text{ g}/(\text{m}^2.\text{uur})$  is dat  $105\text{ l}/(\text{m}^2.\text{jaar})$ , wat veel lager is dan de geschatte gewasverdamping.

De hoeveelheid voelbare warmte die dankzij verneveling is omgezet in latente warmte is daarmee  $240\text{ MJ}/(\text{m}^2.\text{jaar})$  wat overeenkomt met  $7,6\text{ m}^3/(\text{m}^2.\text{jaar})$  aan aardgasequivalenten.

Bij alle teelten is tot het einde toe verneveld. Bij de houdbaarheidstest bleek dat de bloemen van teelt 6 na een transportsimulatie van 7 dagen zozeer waren verdroogd, dat deze op de vaas niet meer helemaal bijtrokken. Dit zou kunnen zijn veroorzaakt doordat de bloemen in de kas nauwelijks stressmomenten hebben ondervonden, en daardoor niet bestand waren tegen het stressmoment na de oogst (onder warme en vochtige omstandigheden). In ieder geval werd sindsdien de verneveling vanaf 2 weken voor de oogst niet meer volop ingezet.

Bij teelt 9 (plantweek 44) is alleen de eerste week verneveld. Daarna steeg de gewasverdamping en daalde de hoeveelheid instraling dusdanig, dat verneveling niet meer nodig was.





**Figuur 6** 15-minuutsoverzicht van de vernevelingsstand (%) bij teelten 6-9 bij DPC (Gemiddelde waarden betreffen de eerste en de tweede helft van de weergegeven periode).

Het koelen en het vernevelen verlagen het verlies aan  $\text{CO}_2$  via de luchtramen. Door het koelvermogen voor iedere 15 minuten te delen door enthalpieverschil tussen de binnenlucht en de buitenlucht, is de vermeden luchtuitwisseling berekend. Door deze vermeden luchtuitwisseling te vermenigvuldigen met het verschil in  $\text{CO}_2$ -concentratie, is het vermeden  $\text{CO}_2$  verlies berekend.

Voor 2017 is berekend dat de koeling  $5,5 \text{ kg CO}_2/(\text{m}^2\cdot\text{jaar})$  heeft binnengehouden. Dat is minder dan berekend in het vorige rapport [Raaphorst *et al.* 2018] omdat daar is uitgegaan van de gemeten buitenwaarde die vanwege een defect veel lager bleek te liggen dan de verwachte 408 ppm (zoals die in 2018 door de officiële Nederlandse meteostations is gemeten). In dit rapport is gerekend met een vaste buitenwaarde van 410 ppm (de  $\text{CO}_2$ -concentratie van de buitenlucht stijgt nu ieder jaar met meer dan 2 ppm).

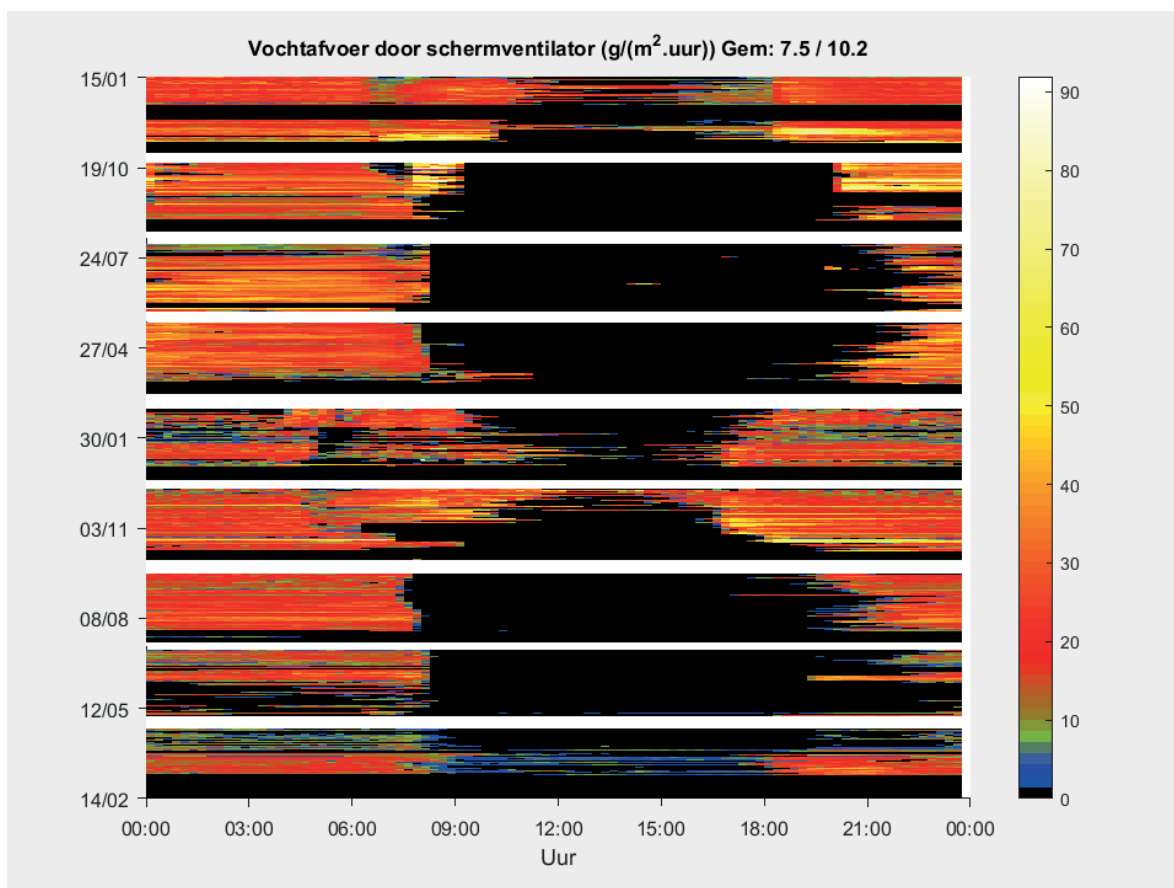
In 2018 heeft de koeling  $4,5 \text{ kg CO}_2/(\text{m}^2\cdot\text{jaar})$  binnengehouden. Zonder verneveling zou dat 2 kg minder zijn.

## 2.4 Ventilatie

De schermventilatoren zijn vaak ingezet om droge lucht van bovenin de kas naar onder een of twee gesloten schermen te blazen.

Door het AV-verschil tussen de kaslucht en de lucht boven het scherm te meten, is berekend dat tijdens de eerste helft respectievelijk de tweede helft van de negen teelten gemiddeld  $7,5$  respectievelijk  $10,2 \text{ g}/(\text{m}^2\cdot\text{uur})$  aan vocht is verdreven (zie Figuur 7).

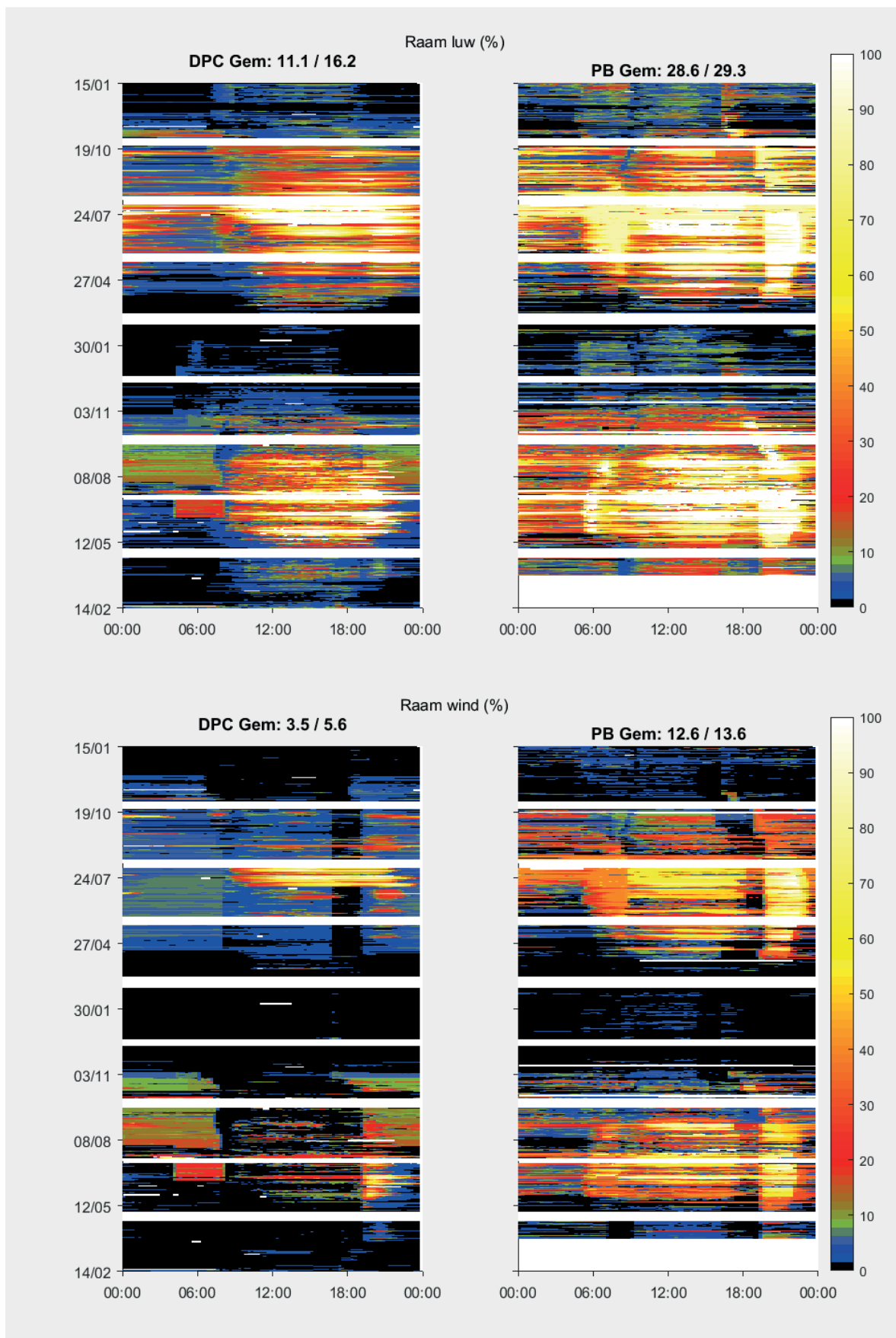
De berekende vochtafvoer in Figuur 7 dient slechts te worden bekeken als een indicatie. De lucht die door de ventilatoren wordt aangezogen, hoeft niet gelijk te zijn aan de lucht bij de meetbox boven het scherm.



**Figuur 7** 15-minuutsoverzicht van de hoeveelheid vocht die via de schermventilatoren is afgevoerd. (Gemiddelde waarden betreffen de eerste en de tweede helft van de weergegeven periode).

In Figuur 8 zijn de raamstanden van DPC vergeleken met die van het praktijkbedrijf. Daarin valt op dat de raamstanden gemiddeld meer dan de helft lager zijn dan bij het praktijkbedrijf. Dit is overdag deels veroorzaakt door de koeling en de verneveling en 's nachts door de mogelijkheid om lucht door de schermen te blazen. Vooral als de zon schijnt en het verduisteringsdoek dicht ligt, valt op dat bij DPC een veel lagere raamstand wordt aangehouden dan bij het praktijkbedrijf.

Als de eerste helft van de negen teelten wordt vergeleken met de tweede helft, dan blijkt de gemiddelde raamstand bij DPC is toegenomen. Dit is te verklaren door de iets lagere inzet van koeling en door het lagere setpoint van de RV. In de tweede helft is dus meer geventileerd om de temperatuur te verlagen en vocht af te voeren.

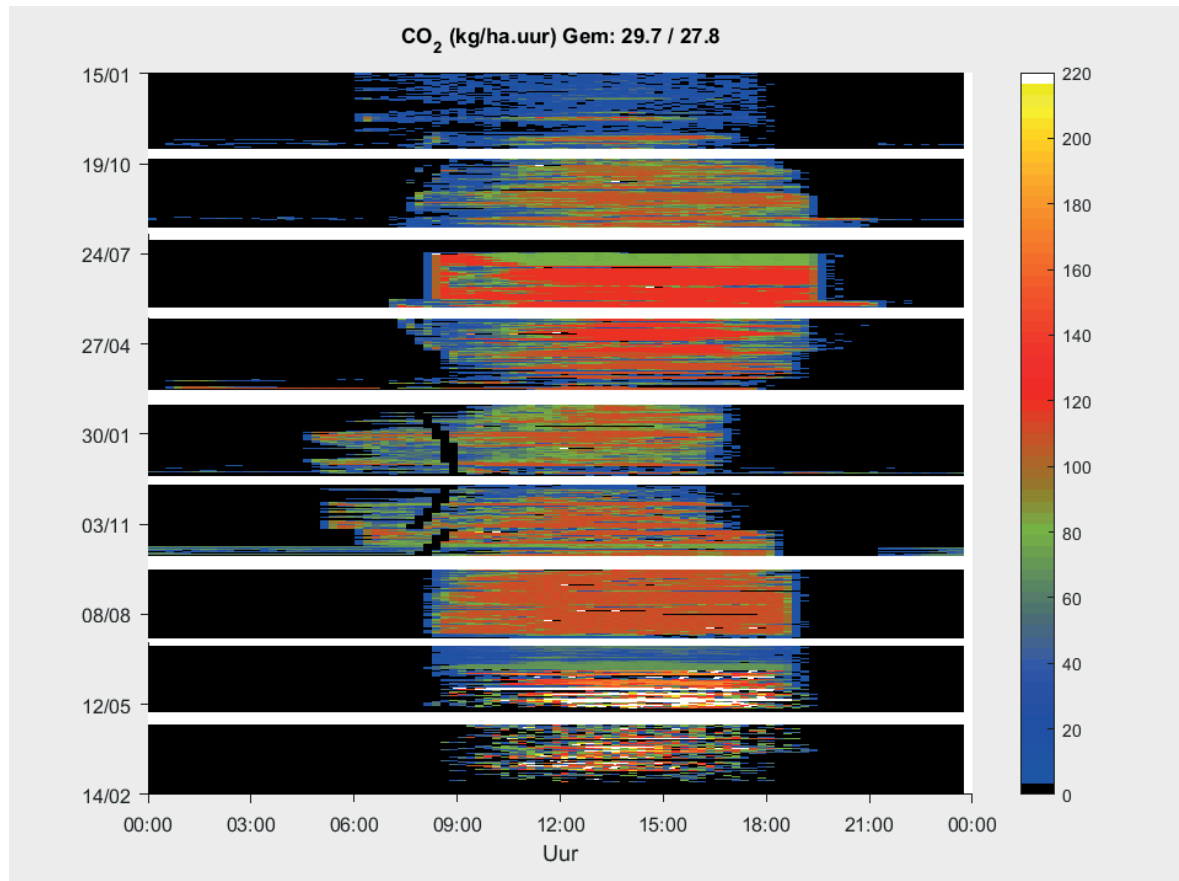


**Figuur 8** 15-minuutsoverzicht van de raamstanden aan de luwe zijde (boven) en de windzijde (onder) van DPC en het praktijkbedrijf (Gemiddelde waarden betreffen de eerste en de tweede helft van de weergegeven periode).

## 2.5 CO<sub>2</sub>

Het verloop van de CO<sub>2</sub>-dosering is redelijk voorspelbaar: alleen doseren als er licht is, en meer doseren bij een hoge raamstand. Verder nog de volgende opmerkingen:

- Bij de start van de teelt is de CO<sub>2</sub>-dosering niet juist gemeten. De werkelijke dosering kan afwijken van wat in Figuur 9 is weergegeven.
- Enkele weken voor het einde van teelt 7 is gestopt met CO<sub>2</sub>-doseren omdat het gewas te zwaar dreigde te worden.

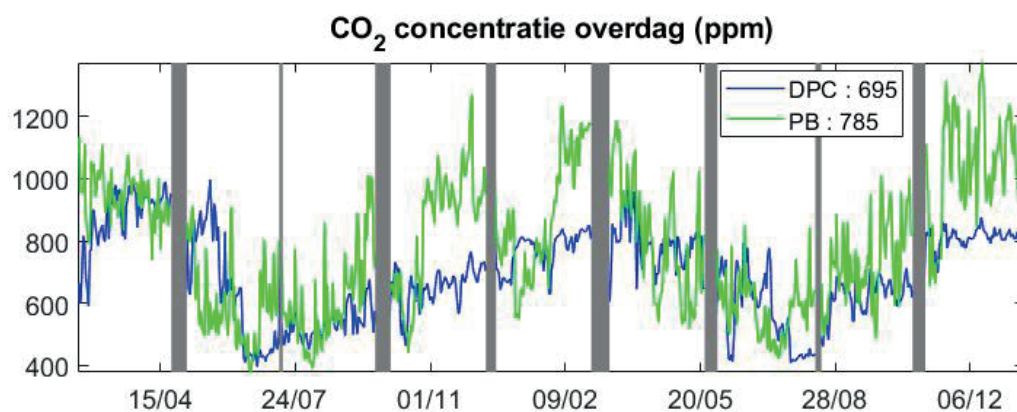


**Figuur 9** 15-minuutsoverzicht van de CO<sub>2</sub>-dosering bij DPC (Gemiddelde waarden betreffen de eerste en de tweede helft van de weergegeven periode).

Figuur 10 geeft de gemiddelde CO<sub>2</sub> concentratie overdag van DPC aan ten opzichte van PB. Hierbij dient te worden aangetekend dat de CO<sub>2</sub> sensor van PB niet precies bij het referentievak is geplaatst en dus de CO<sub>2</sub> concentratie van een andere teeltfase aangeeft.

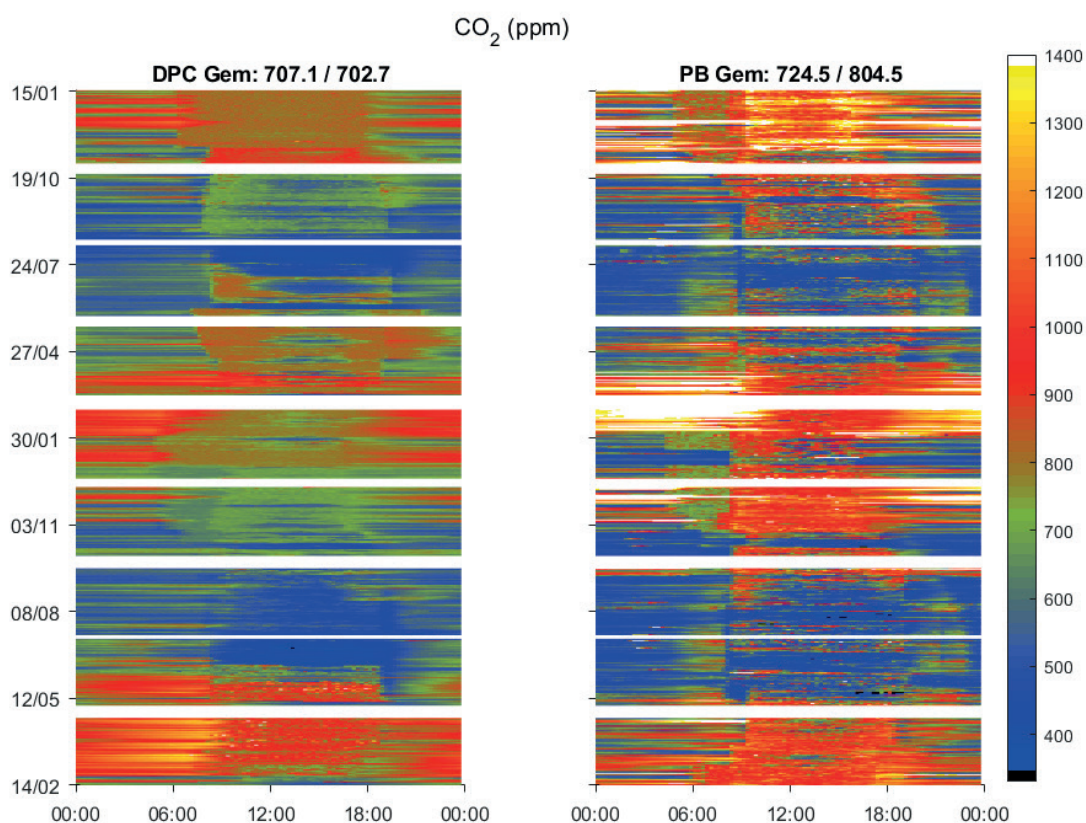
Uit de figuur blijkt dat de gewenste CO<sub>2</sub> concentratie van minimaal 750 ppm in de zomerperiode in beide kassen niet is gerealiseerd, en dat bij PB gemiddeld een hogere concentratie is gerealiseerd. Door de perioden met een hoge lichtintensiteit zwaarder te laten wegen dan die met een lage lichtintensiteit is berekend dat het totale productieverlies door een lagere CO<sub>2</sub>-concentratie bij DPC vrijwel gelijk was aan het productieverlies bij PB.





**Figuur 10**  $\text{CO}_2$ -concentratie (ppm) per etmaal gemiddeld overdag.

In Figuur 11 is de  $\text{CO}_2$ -concentratie per 15 minuten weergegeven. Daarin valt op dat in de winterperioden de  $\text{CO}_2$ -concentratie hoog kan oplopen. Met name als PB de luchtramen sluit wordt de  $\text{CO}_2$ -concentratie hoger dan 1400 ppm. Halverwege teelt 9 van DPC werden de luchtramen ook dicht gehouden en de schermventilatoren stilgelegd, maar werd de  $\text{CO}_2$ -concentratie niet hoger dan 1150 ppm. Dit geeft aan dat de kas van DPC meer lekkage geeft dan bij PB.



**Figuur 11** 15-minuutsoverzicht van de  $\text{CO}_2$ -concentratie (schaal gemaximeerd op 1400 ppm) bij DPC en PB (Gemiddelde waarden betreffen de eerste en de tweede helft van de weergegeven periode).

## 2.6 Belichting

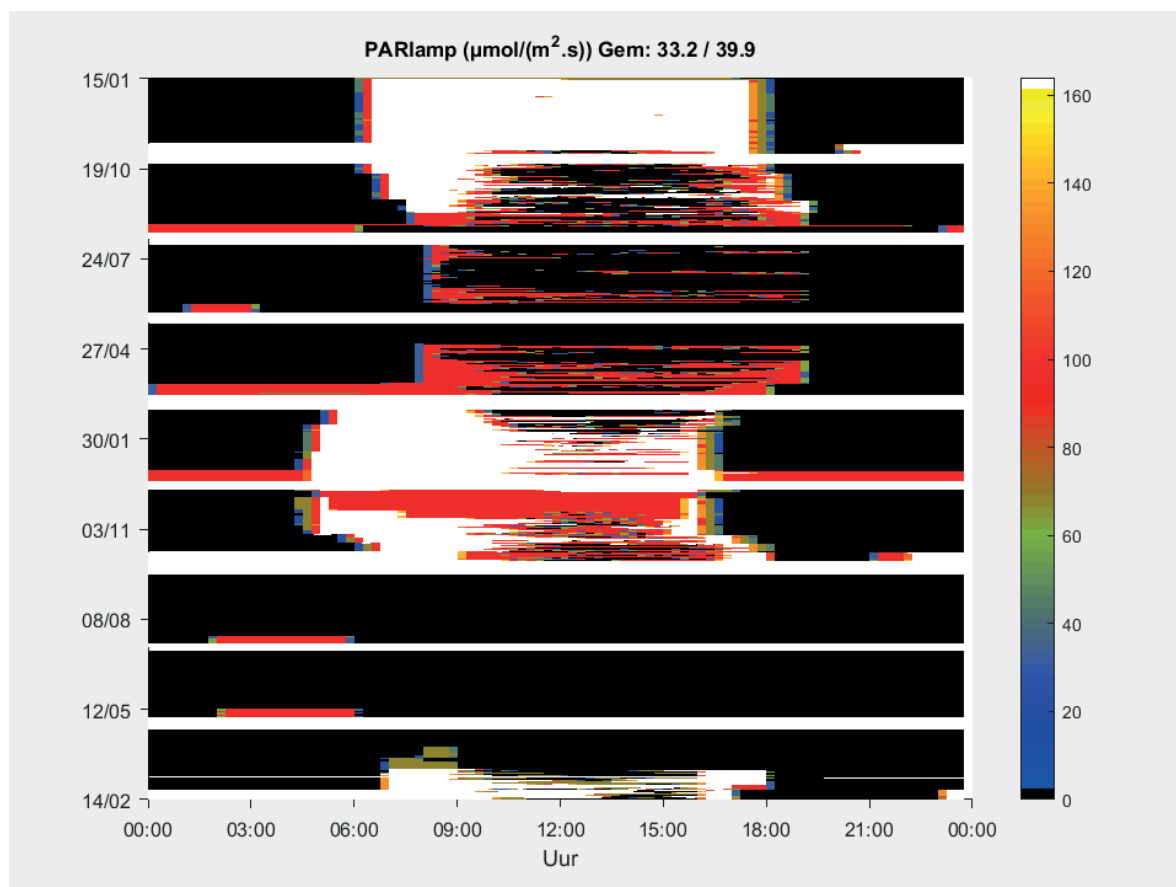
Bij DPC is  $100 \mu\text{mol}/(\text{m}^2.\text{s})$  aan LED lampen geïnstalleerd en  $70 \mu\text{mol}/(\text{m}^2.\text{s})$  aan SON-T lampen. Na meting bleek de opbrengst iets lager te zijn, namelijk 96 respectievelijk  $68 \mu\text{mol}/(\text{m}^2.\text{s})$ . In dit rapport wordt gerekend met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

De belichting is in eerste instantie zo ingesteld, dat ondanks een hogere belichtingsintensiteit ( $164$  ten opzichte van  $128 \mu\text{mol}/(\text{m}^2.\text{s})$  bij het praktijkbedrijf (PB)) 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 het praktijkbedrijf, 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  $100\text{--}200 \text{ W}/\text{m}^2$ . Omdat het niet logisch is om energiezuinige lampen minder uren te laten branden dan reguliere lampen, is vanaf teelt 8 van deze instellingen afgeweken en hebben de LED lampen vaker gebrand en werd pas afgeschakeld bij een globale straling van meer dan  $300 \text{ W}/\text{m}^2$ .

In Figuur 12 is de hoeveelheid PAR van de lampen weergegeven. Wit geeft aan dat alle lampen branden, rood geeft aan dat de LED-lampen branden, groen geeft aan dat alleen de SON-T lampen branden en bij zwart wordt er niet belicht. De teeltwisselingen zijn ook als wit weergegeven. Aan de figuur is te zien dat de LED vaker is ingezet dan de SON-T. Alleen bij de start en het einde van de dag is tijdelijk alleen met SON-T belicht. Bij het begin van de dag is dat gedaan om gebruik te maken van de stralingswarmte van de SON-T lampen en aan het einde van de dag om met het verrood in de SON-T lampen de nacht in te gaan. Gevreesd werd namelijk dat het ontbreken van verrood in LED tot bloeivertraging zou leiden. Die vertraging is niet gevonden, al is niet zeker te stellen of dat ook het geval zou zijn als er alleen met LED zou zijn afgesloten.

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 net als het praktijkbedrijf 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.

In de praktijk wordt 's winters vaak vroeg belicht (van 4:00 uur tot 16:00 uur) om gebruik te maken van voordeliger elektriciteit. Dat is ook bij teelten 4 en 5 gedaan, maar om praktische redenen (demonstraties en bezoek) is bij de teelten 8 en 9 belicht van 6:00 uur tot 18:00 uur.

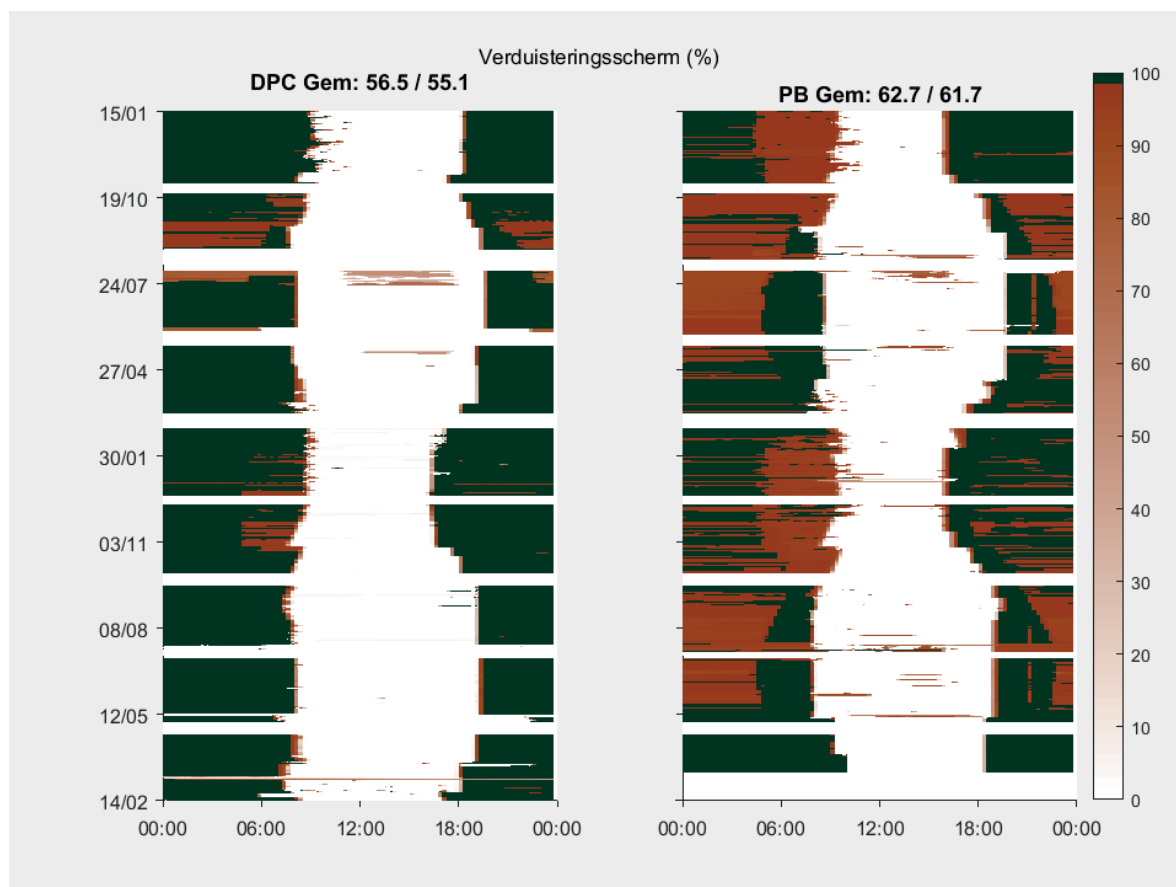


**Figuur 12** 15-minuutsoverzicht van de hoeveelheid belichting ( $\mu\text{mol}/(\text{m}^2.\text{s})$ ) bij DPC (Gemiddelde waarden betreffen de eerste en de tweede helft van de weergegeven periode).

## 2.7 Schermen

Het verduisteringsdoek is bij DPC anders ingezet dan bij het praktijkbedrijf (PB, zie Figuur 13).

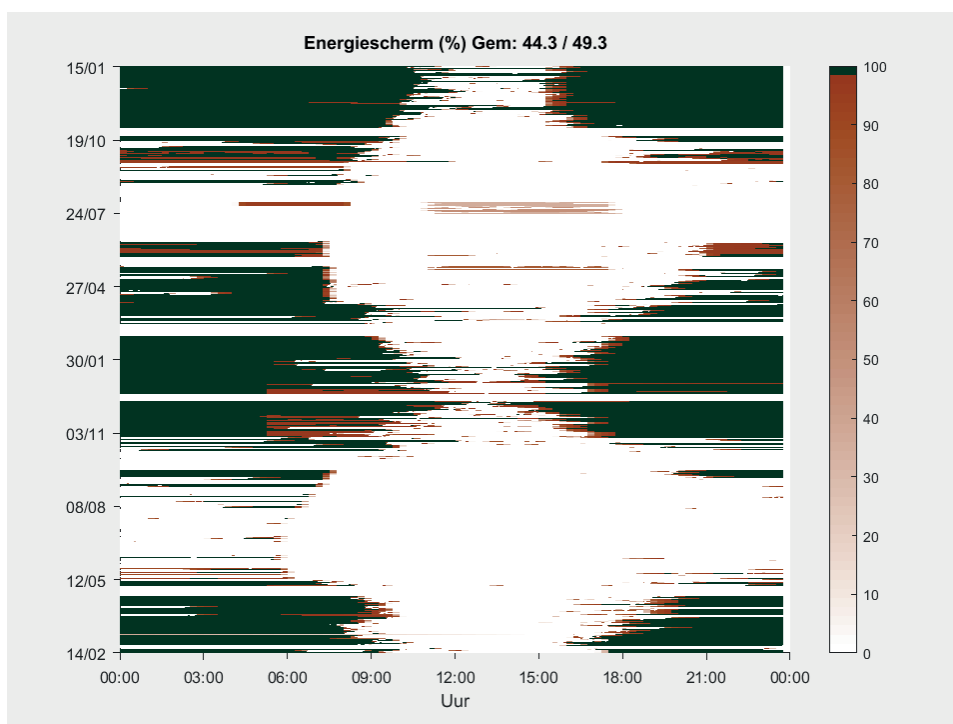
- Tijdens de LD-perioden is het verduisteringsdoek alleen ingezet om de warmtevraag te beperken. Tijdens LD-perioden van teelt 2, 3, 7 en 8 is het verduisteringsdoek dus niet ingezet.
- Schermkieren zijn minder vaak gebruikt. Tijdens teelt 4 is 's ochtends, als de lampen gaan branden, een kier getrokken. Ook is een enkele keer bij teelt 5, aan het einde van teelt 7 en tijdens teelt 8 een kier getrokken.
- Het verduisteringsdoek is in de zomer van 2017 bij DPC overdag niet gebruikt om fel zonlicht te dempen. Hiervoor is het schaduw scherm 137 uren ingezet. In 2018 is het schaduwdoek verwijderd en is wel bij beide kassen het verduisteringsdoek overdag gebruikt.



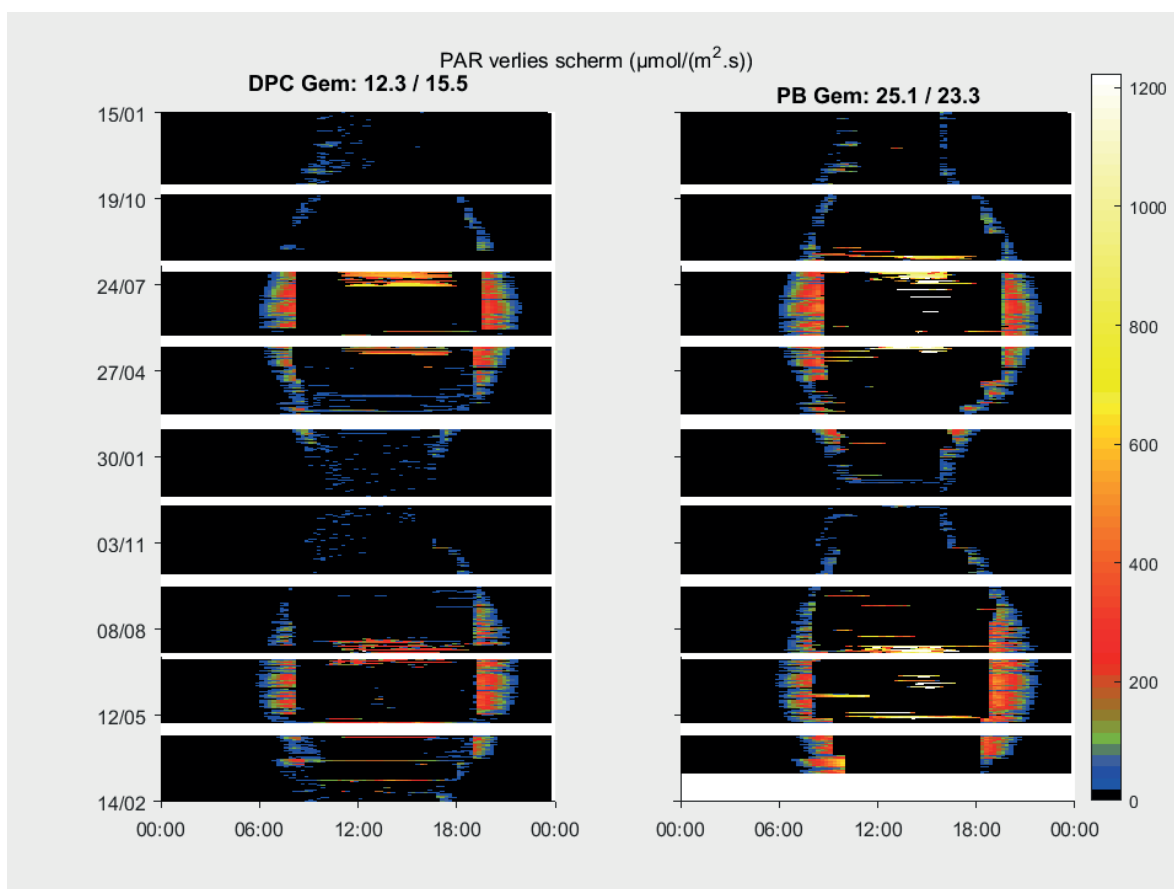
**Figuur 13** 15-minuutsoverzicht van de stand van het verduisteringsdoek bij DPC en het praktijkbedrijf (Gemiddelde waarden betreffen de eerste en de tweede helft van de weergegeven periode).

Het energiescherm is 44,3 tot 49,3% van de tijd gebruikt. De schermen hebben gedurende de negen teelten samen gemiddeld 12,3 tot 15,5  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2.\text{s})$ , ofwel 8% tot 9% van het zonlicht tegengehouden. Dit is 7% tot 7% van het totale PAR-licht. Dat is voor het grootste gedeelte veroorzaakt door het verduisteringsscherm en het schaduw scherm. Zelfs tijdens teelt 9 (waarin relatief veel is geschermd) heeft het gesloten energiescherm slechts 5% van het zonlicht tegengehouden, wat  $\pm 1,5\%$  is van de totale hoeveelheid PAR.

Bij PB heeft het schermdoek meer zonlicht tegengehouden. Dit is vooral in de zomerperiode, doordat het verduisteringsscherm overdag is gebruikt om het oogstbare gewas of de jonge planten niet aan het volle zonlicht bloot te stellen. Tijdens teelt 9 was het lichtverlies door schermen bij PB vergelijkbaar met die van bij DPC, en nam het bij beide afdelingen 7% van het zonlicht weg.



**Figuur 14** 15-minuutsoverzicht van de stand van het energiedoek bij DPC (Gemiddelde waarden betreffen de eerste en de tweede helft van de weergegeven periode).



**Figuur 15** 15-minuutsoverzicht van de hoeveelheid PAR-licht die door de drie schermdoeken is tegengehouden (Gemiddelde waarden betreffen de eerste en de tweede helft van de weergegeven periode).

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.

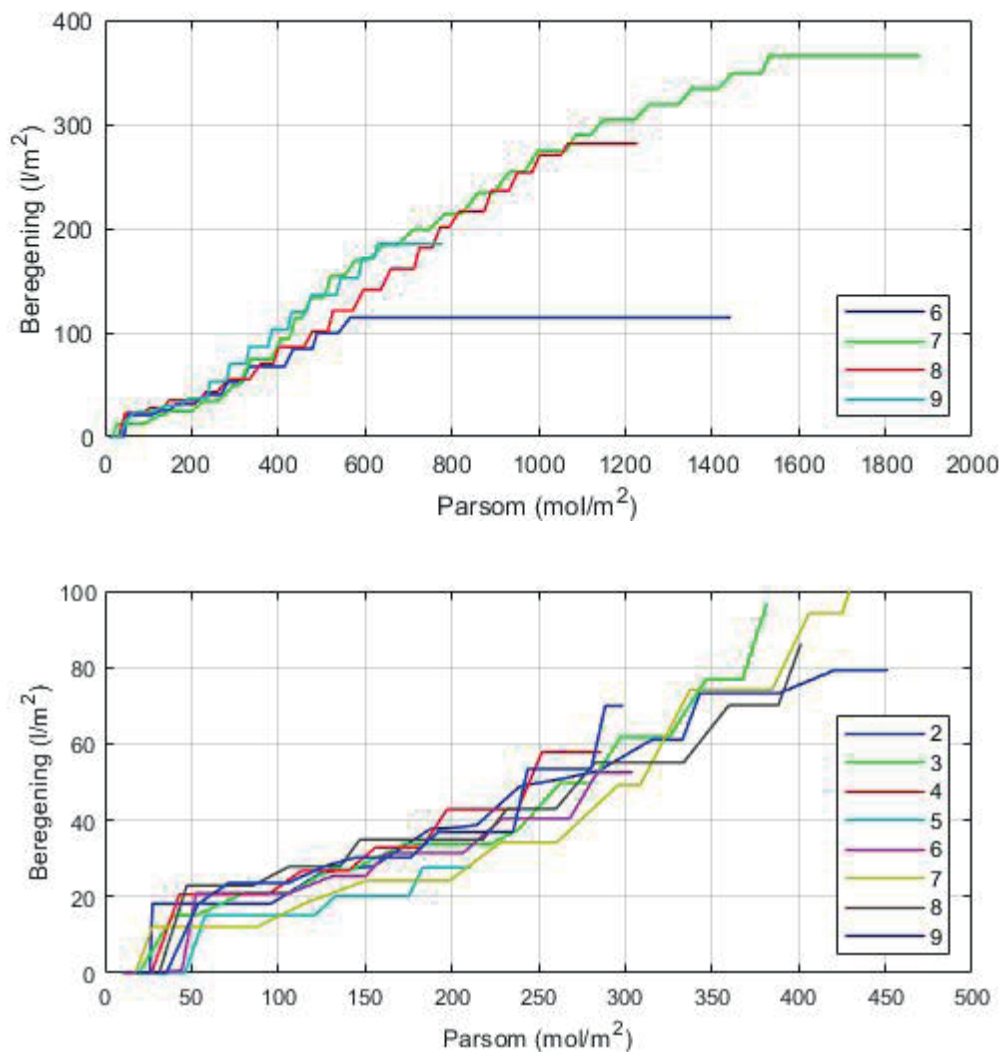
## 2.8 Druppelslangen en beregening

Hoewel het gebruik van druppelslangen tijdens de eerste teelten heeft geleid tot een duidelijk lagere relatieve luchtvochtigheid en een lichte besparing op het energiegebruik [Raaphorst *et al.* 2018], wordt dit door de telers niet gezien als een zinvolle investering. Aan beregening wordt meestal de voorkeur gegeven boven druppelen omdat het gewas ervan zou 'opfrissen', waarmee stof, residu of bijvoeder restanten (zemelen) van het gewas afspoelen. Het voordeel van een 3 dagen langere houdbaarheid van de takken uit het gedruppelde vak tijdens teelt 2, werd niet zwaarwegend bevonden.

Tijdens teelt 5 is gebleken dat een dagelijkse druppelbeurt een negatief effect heeft op de bladkwaliteit onderin. Door dagelijks te druppelen krijgen de grond en de onderste bladeren geen gelegenheid om op te drogen. Tijdens teelt 6 is daarom minder frequent gedruppeld. Daarna is helemaal niet meer gedruppeld.

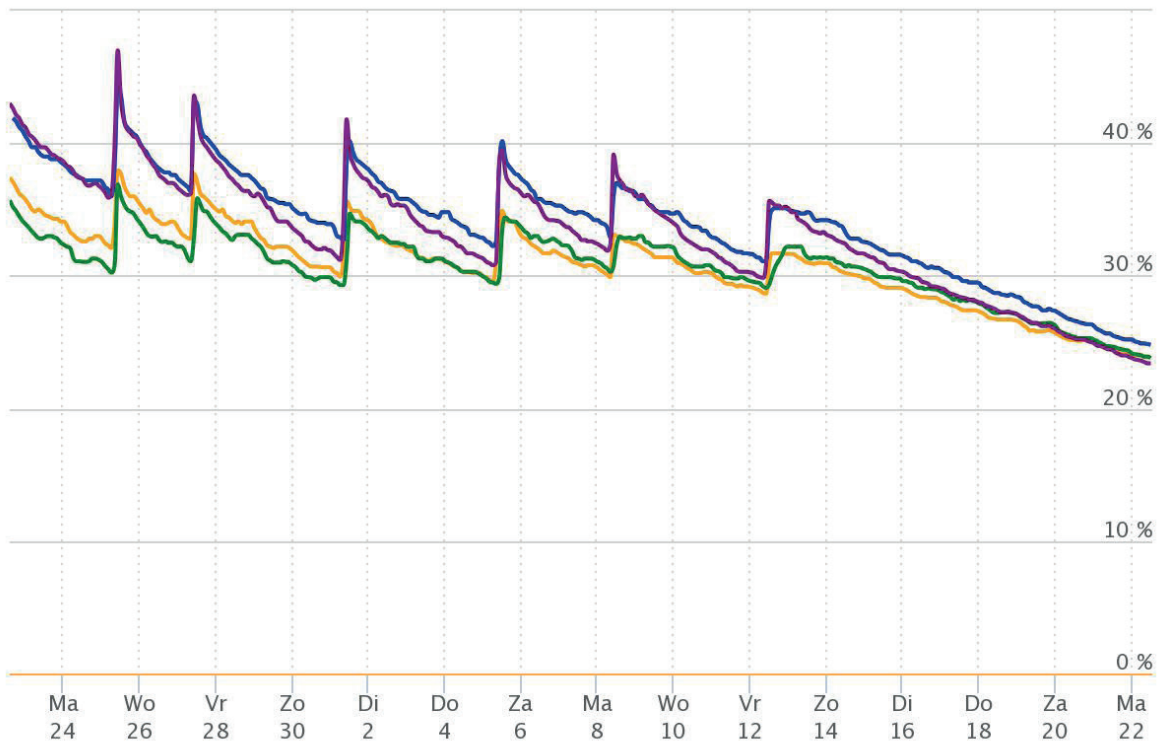
De cumulatieve watergift is in Figuur 16 uitgezet tegen de cumulatieve hoeveelheid PAR die het gewas heeft gehad. De verschillen tussen de teelten zijn niet groot. De lijnen volgen een S-curve: in het begin wordt voorzichtig beregend (wat uitvergroet is weergegeven in de onderste grafiek). Als na een paar weken het risico op *Pythium* kleiner wordt, wordt er meer beregend, en aan het einde van de teelt wordt ongeveer 2 weken niet meer beregend, zodat de grond is opgedroogd als het tijdens de teeltwisseling weer moet worden bewerkt. In Figuur 16 laat de bovenste grafiek zien dat bij teelt 6 voor de watergift aan het einde van de teelt is overgestapt van beregening naar druppelen. Bij teelt 7-9 is tot twee weken voor het einde van de teelt beregend.





**Figuur 16** Cumulatieve beregening (exclusief druppelen), uitgezet tegen de cumulatieve PARsom voor teelt 6-9 van DPC (boven) en voor teelt 2-9 over de eerste 20 dagen.

Tijdens teelt 3 is op meerdere plaatsen de bodemvochtigheid gemeten [Raaphorst *et al.* 2018]. Omdat deze meting niet op afstand leesbaar was, is deze vervangen voor Sensoterra sensoren. Hiermee kan op afstand worden bepaald of er al of niet moet worden beregend. Een voorbeeld van de metingen zijn te zien in Figuur 17. Duidelijk is te zien wanneer er is beregend en dat aan het einde van de teelt de grond opdroogt omdat er dan niet meer beregend wordt.



**Figuur 17** Bodemvochtigheid gemeten met draadloze sensoren van Sensoterra, tijdens de laatste maand van teelt 8.

## 2.9 Bodem en bemesting

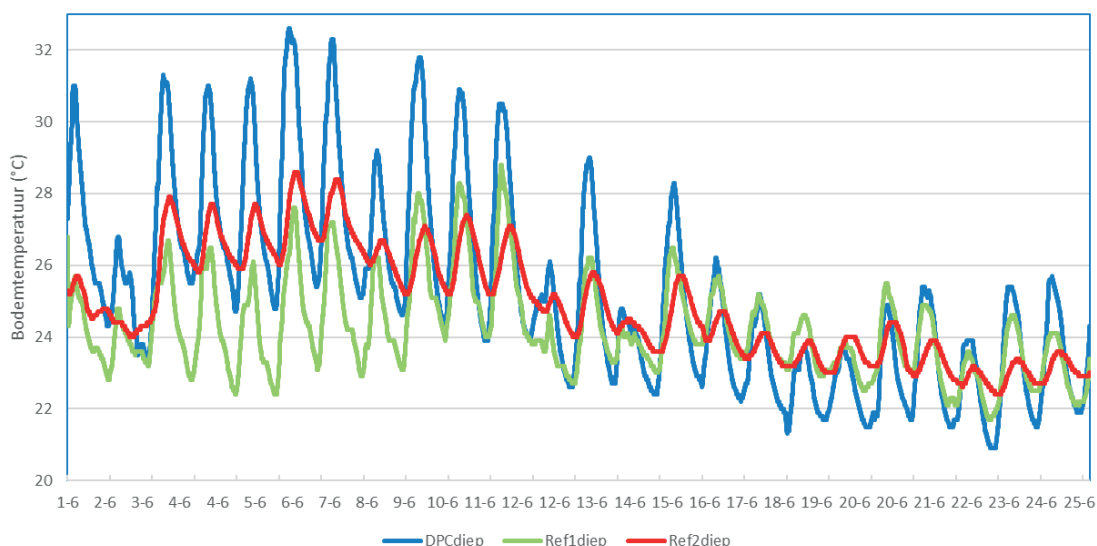
Omdat de eerste teelt op nieuwe grond is uitgevoerd, waar al jaren niets had gegroeid, is een laag van 5 cm organische stof doorgefreesd. Hiermee bleef de grond na het frezen nog steeds redelijk grof. Dit is met name bij de teeltstart een hindernis geweest voor een perfecte groei.

In Bijlage 2 zijn de resultaten van de verschillende grondmonsters gegeven. Hieruit komt naar voren dat het een aantal teelten heeft geduurd voordat de nutriënten in de bodem een optimale verhouding kregen.

Met name de pH en de Ca concentratie zijn de eerste teelten hoger geweest dan gewenst.

Voor teelt 1 en teelt 7 is de grond gestoomd. Om te onderzoeken of de bodemtemperatuur na het stomen veel anders is dan zonder stomen, is zowel bij DPC als bij twee bedrijven die niet hebben gestoomd, op twee diepten de bodemtemperatuur gelogd. De temperatuur van de diepste sensoren (10-15 cm diep) is weergegeven in Figuur 18. Daaruit blijkt dat bij DPC de gemiddelde temperatuur aanvankelijk iets hoger ligt dan bij de twee referentiebedrijven, maar dat de etmaalschommelingen veel groter zijn dan het verschil tussen de bedrijven. Bij de bovenste sensoren ( $\pm 5$  cm diep, niet in figuur weergegeven) zijn die schommelingen nog groter. De schommelingen worden kleiner naarmate het gewas groter wordt en er minder zonlicht op de bodem terechtkomt.

Hieruit zou je kunnen concluderen dat de positieve invloed van stomen op de groei, nauwelijks is veroorzaakt door de bodemtemperatuur. Als de temperatuur op 10-15 cm diepte al zo veel wordt beïnvloed door zonlicht en kasklimaat, dan mag worden verwacht dat de temperatuur rond de wortels (het perspotje staat boven de grond) nog veel meer wordt beïnvloed door het kasklimaat dan door het stomen.



**Figuur 18** Bodemtemperatuur op een diepte van 10-15 cm.

## 2.10 Gewasbescherming

Bij de eerste teelt zijn geen chemische gewasbeschermingsmiddelen gebruikt.

Bij aanvang van de andere teelten zijn preventief Hicure, Trianum, Fenomenal ingezet. Voor wat betreft de bovengrondse schimmels is eenmaal (teelt 9) preventief een behandeling tegen roest ingezet, nadat het gewas 1 dag na berekening nog steeds niet droog was.

De plagen zijn zo veel mogelijk met biologische bestrijders behandeld. De meest hardnekkige plaag is Trips, en die is hoofdzakelijk bestreden met *Steinernema feltiae* (aaltjes) en *Amblyseius montdorensis*. Soms is bij aantasting door luis, wantsen, rupsen of slakken chemisch ingegrepen met Plenum, Teppeki, Actara, Vertimec, Winner, Nocturn of slakkenkorrels, of is het biologische middel Botanigard ingezet. Aan het eind van elke teelt is een chemische bestrijding uitgevoerd om een product zonder plaaginsecten te kunnen oogsten.

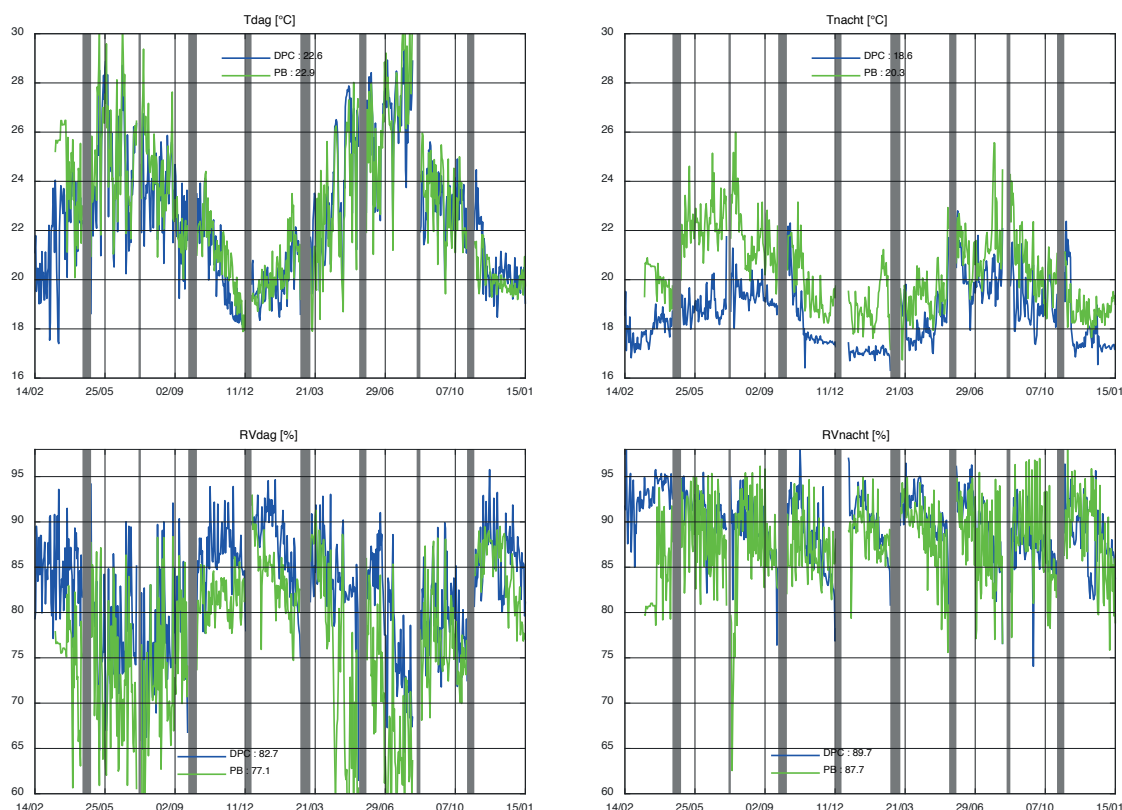


## 3 Kasklimaat

In Figuur 19 zijn de kasttemperatuur en RV per etmaal van DPC vergeleken met het praktijkbedrijf. Hieruit blijkt dat de dagtemperatuur van DPC nauwelijks is afwijkt van het praktijkbedrijf, en dat vooral een 1,7°C lagere nachttemperatuur is gerealiseerd. De RV lag overdag 5,6 procentpunten hoger dan bij het praktijkbedrijf. Deze verschillen zijn in de loop van de tijd wel kleiner geworden.

De nachtRV bij PB wisselt veel meer dan bij DPC, omdat bij PB vaak 's avonds wordt berekend, terwijl bij DPC meestal 's ochtends wordt berekend. Een nacht na berekening geeft bij PB dan veel hogere RV dan een nacht waarvoor niet is berekend.

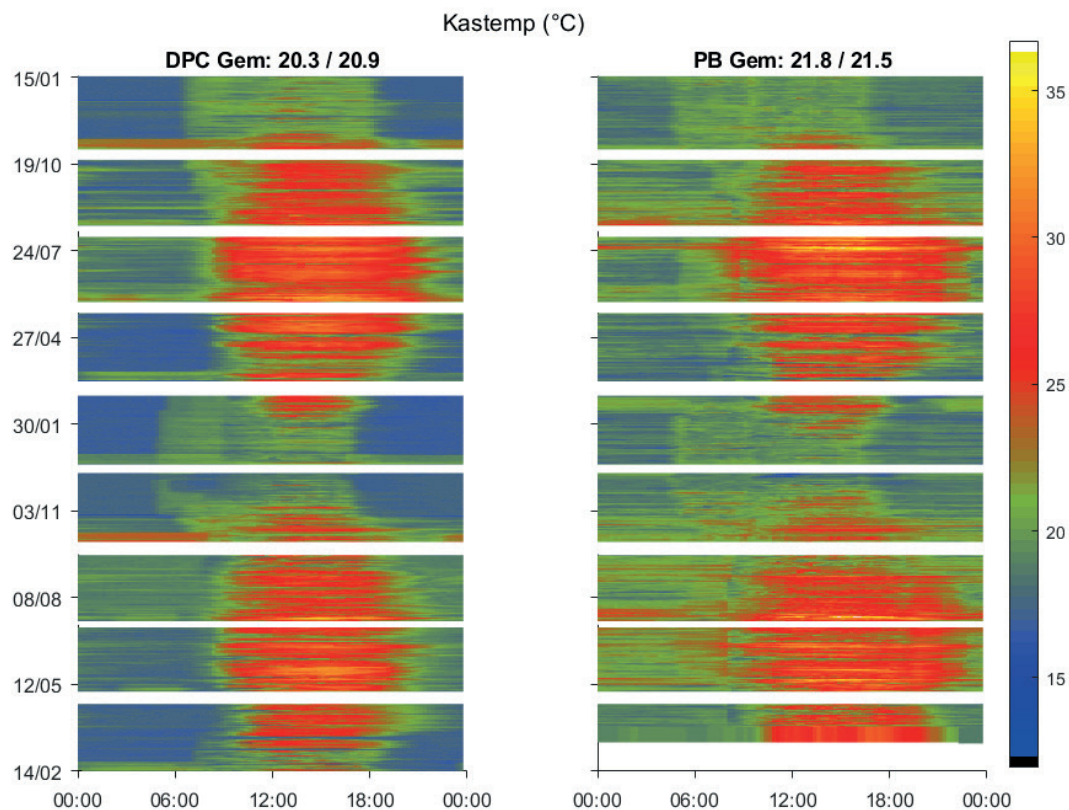
In de volgende paragrafen wordt dieper ingegaan op het verloop van de kasttemperatuur en RV.



**Figuur 19** Verloop van de etmaalgemiddelden van de kasttemperatuur en RV, overdag en 's nachts bij DPC en het praktijkbedrijf.

### 3.1 Temperatuur

Uit Figuur 20 komt de lagere nachttemperatuur bij DPC ten opzichte van het praktijkbedrijf (PB) 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 4), maar die speelde in de ochtend nauwelijks een rol. Dan wordt de lagere kasttemperatuur verklaard door de inzet van de schermventilatoren (Figuur 7) en het ontbreken van verwarming (Figuur 1) onder het gesloten verduisteringsdoek (Figuur 13). Als de tweede helft van de negen teelten wordt vergeleken met de eerste helft, dan blijkt de gerealiseerde temperatuur bij DPC gestegen en bij PB gedaald.



**Figuur 20** 15-minuutsoverzicht van de kasttemperatuur bij DPC en het praktijkbedrijf (Gemiddelde waarden betreffen de eerste en de tweede helft van de weergegeven periode).

In de nacht van 14 op 15 maart 2018 zijn warmtebeeldopnamen gemaakt van het gewas onder omstandigheden zonder licht, met LED-licht en met SON-T licht. Deze beelden zijn weergegeven in Bijlage 4. Uit deze beelden blijkt dat door LED lampen de planttemperatuur stijgt met  $\pm 1,2^{\circ}\text{C}$  en dat met SON-T lampen hier nog  $0,7^{\circ}\text{C}$  bovenop komt. De opnamen zijn gemaakt onder LD omstandigheden, waardoor wel in ogenschouw moet worden genomen dat de gemeten 'plant'-temperatuur deels wordt beïnvloed door de bodemtemperatuur. De droge bodem zal minder verdampen en daardoor warmer zijn dan verdampende bladeren.

## 3.2 RV

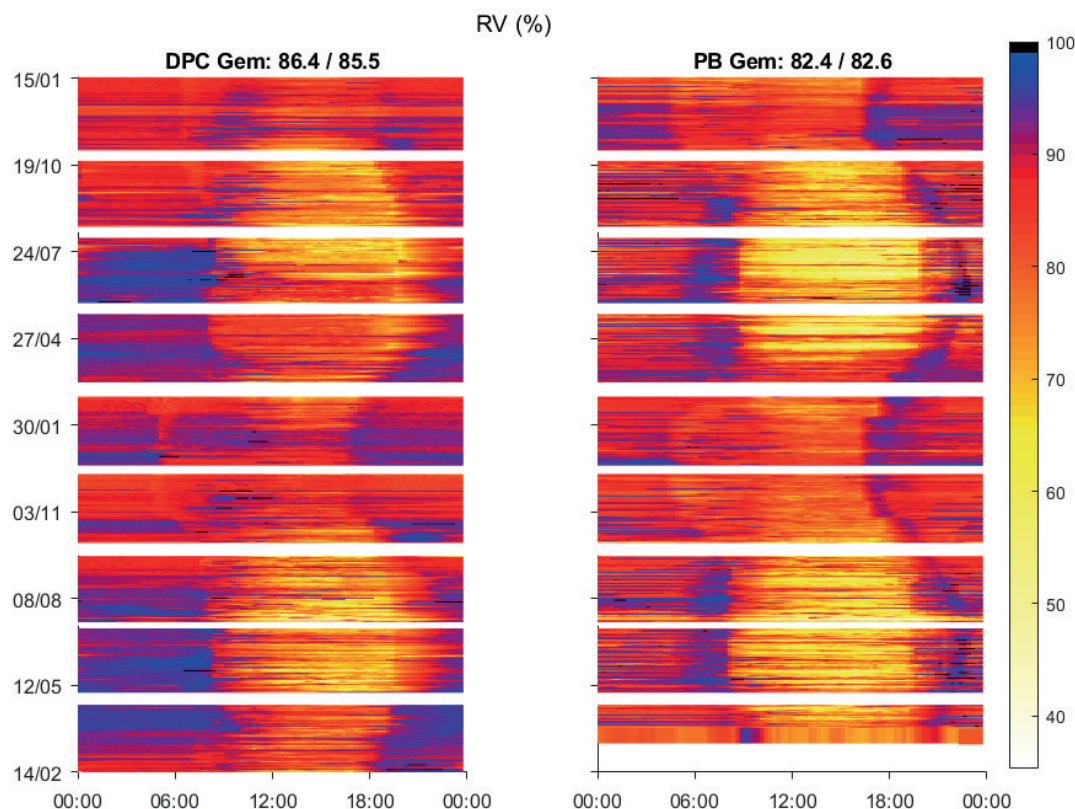
Uit Figuur 21 blijkt dat de RV bij DPC 's nachts niet alleen gemiddeld hoger is dan bij het praktijkbedrijf (PB), maar dat het verloop gedurende de nacht ook anders is. Bij DPC neemt de RV in de loop van de nacht geleidelijk toe tot daarvoor actie wordt ondernomen (schermventilatoren aan, luchtramen open). Daarna blijft deze veelal stabiel op de (relatief hoge) streefwaarde. Deze streefwaarde is vrijwel altijd behaald dankzij de schermventilatoren. Alleen in de zomerperiode, als er 's avonds veel is gekoeld en de kasttemperatuur daalt tot vrijwel de buitentemperatuur, is het nauwelijks meer mogelijk om zonder extra verwarming vocht af te voeren. Daarom wordt aanbevolen om 's avonds niet te veel te koelen, of de warmteoogst van de afgelopen avond direct in de ochtend weer in te zetten.

Bij PB stijgt de RV na zon-onder direct als het verduisteringsdoek op een kier gaat, of als 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, terwijl de RV bij DPC niet verder stijgt doordat de schermventilatoren daar vocht blijven afvoeren.

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



De RV kan overdag soms wegzakken naar minder dan 40%. 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 berekend en komen lage RV's geregeld voor.

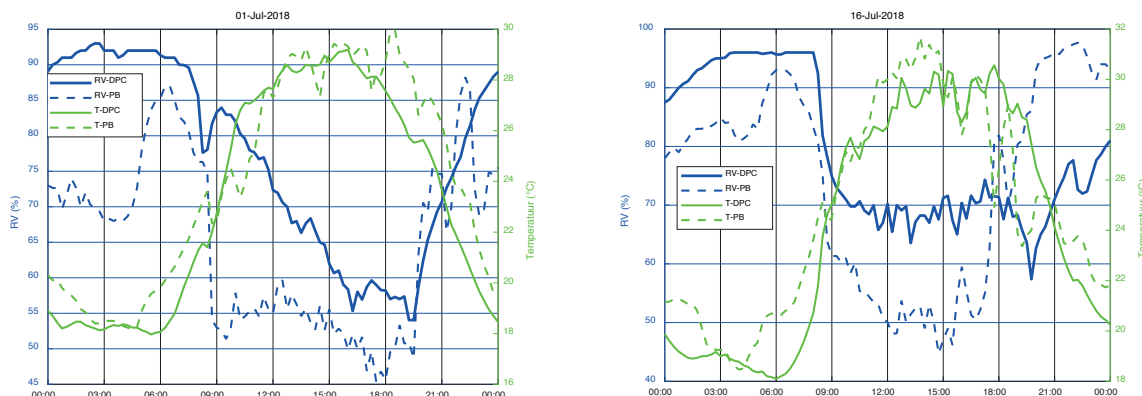


**Figuur 21** 15-minuutsoverzicht van de RV bij DPC en het praktijkbedrijf (Gemiddelde waarden betreffen de eerste en de tweede helft van de weergegeven periode).

Twee voorbeelden van zonnige dagen zijn weergegeven in Figuur 22. Op beide dagen is de RV bij DPC's nachts hoger dan bij PB. Dat komt doordat de kasttemperatuur al vroeg is verlaagd en er geen minimum buistemperatuur wordt aangehouden. Hierdoor is minder warmte in de kas beschikbaar om het vocht af te kunnen drijven.

Bij PB stijgen zowel de temperatuur als de RV na 4:30 uur omdat dan de kier uit het verduisteringsdoek wordt gehaald, en de zon opkomt. Bij DPC stijgt de temperatuur iets later, doordat daar de schermventilatoren lucht kunnen uitwisselen en omdat daar geen minimum buis is gebruikt. Bij het openen van het verduisteringsdoek daalt de RV bij beide kassen en stijgt de temperatuur iets minder hard. De RV daalt bij DPC minder diep dan bij PB vanwege het vernevelen. De dagtemperatuur is vergelijkbaar bij beide kassen. Na het sluiten van de verduistering is er geen groot verschil tussen 1 juli en 16 juli:

- Op 1 juli daalt de kasttemperatuur bij DPC sneller dan bij PB, dankzij de koeling. De RV stijgt bij beide kassen even snel.
- Op 16 juli heeft PB 's middags berekend, waardoor de temperatuur sneller daalt. De RV is dan veel hoger dan bij DPC, waar met actieve koeling vocht wordt onttrokken aan de kaslucht.



**Figuur 22** Verloop van de RV en de temperatuur bij DPC en het praktijkbedrijf op 1 juli en 16 juli 2018 (Teelt 7).

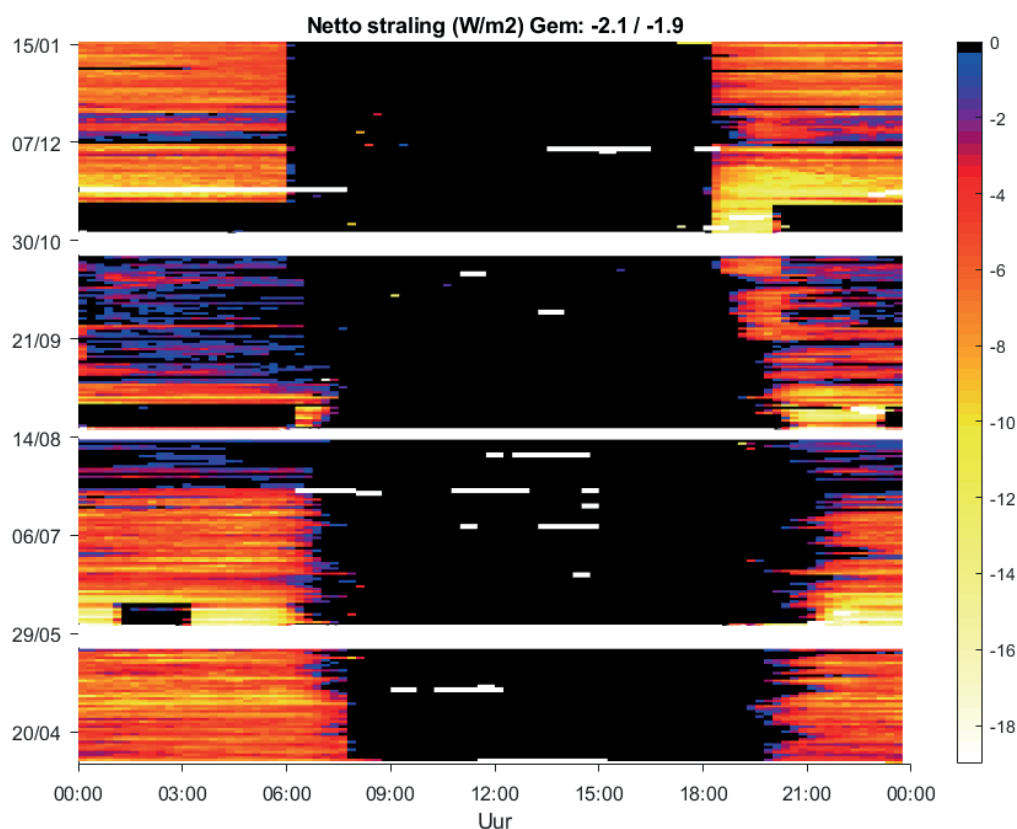
### 3.3 Netto straling

Vanaf teelt 6 is bij DPC een netto stralingsmeter geplaatst tussen het gewas en het schermdoek. De netto straling is de hoeveelheid warmtestraling op het gewas minus de hoeveelheid uitstraling van het gewas naar boven. Hiermee kan worden gemeten wanneer het gewas veel warmte verliest naar het koude schermdoek, of naar het kasdek. In Figuur 23 is de (negatieve) netto straling voor iedere 15 minuten weergegeven. Ontbrekende data zijn wit en als de zon schijnt of als de lampen branden (en de netto straling dus positief is) is dit zwart weergegeven.

Omdat de netto straling vele invloeden kent is het een lastig instrument gebleken om het klimaat mee te sturen. Voorbeelden van invloeden zijn:

- De bovenverwarming verhoogt de netto straling.
- De onderverwarming verlaagt de netto straling.
- De gesloten schermen verhogen de netto straling.
- Een lage buitentemperatuur verlaagt de netto straling.
- Een hoge planttemperatuur verlaagt de netto straling.
- Een hoge uitstraling naar de hemel (pyrgeometer) verlaagt de netto straling.
- Gestoomde grond verlaagt de straling (zie start teelt 7).
- Beregening beïnvloedt de netto straling.
- Luchtbeweging in de kas verkleint het temperatuurverschil tussen plant en schermdoek en verhoogt daarmee de netto straling.
- Windsnelheid kan de het kasdek afkoelen en de netto straling verlagen of (bij veel uitstraling naar de hemel) het kasdek opwarmen en de netto straling verhogen.

Hierdoor is aan de netto stralingsmeter moeilijk te zien wat de exacte bijdrage is van de schermen aan het voorkomen van warmteverlies. De gemeten netto straling is op zijn laagst  $-18 \text{ W/m}^2$ , wat overeenkomt met slechts  $\pm 3^\circ\text{C}$  temperatuurverschil tussen twee zwarte vlakken. Dit heeft bij chrysant geen negatief effect gehad op de ontwikkeling van de kop of een effect op het ontstaan van afwijkingen. Omdat de netto stralingsmeter daarnaast ook niet kan worden ingezet voor de sturing van het schermdoek (als bij een te lage netto straling het schermdoek sluit, zal deze netto straling direct hoger worden, waarmee het schermdoek weer open zou kunnen worden gestuurd), is de waarde van de netto stralingsmeter voor dit project gering geweest.



**Figuur 23** 15-minuutsoverzicht van de Netto stralingsmeter bij DPC van teelten 6-9.

### 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 tijdens een eerder project op praktijkbedrijven een lichttransmissie van 67% is gemeten. Een herhaling van de lichtmeting is uitgevoerd in juli 2018. Tegelijkertijd is ook bij het praktijkbedrijf (PB) een lichtmeting uitgevoerd. Op dat moment was het schaduwdoek verwijderd bij DPC. De gemeten lichttransmissie was bij DPC wederom 59% en bij PB 64%. De lichttransmissie van de kassen verschilt dus absoluut 5% punten of relatief  $(64-59)/64 = 8\%$ .

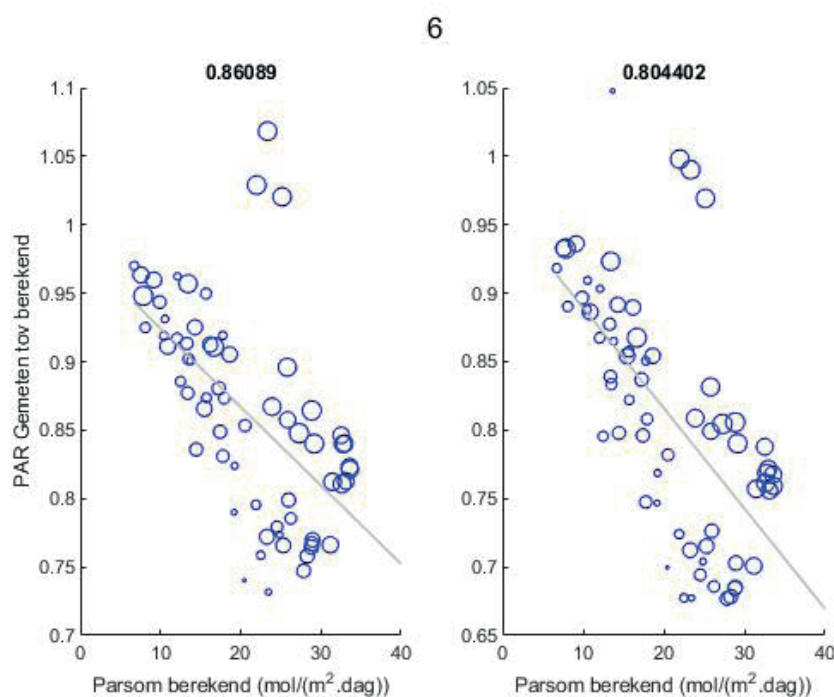
Dat de lichttransmissie bij DPC na het verwijderen van het schaduwdoek niet is verbeterd, wordt geweten aan het feit dat het de weken voorafgaand aan de lichtmeting niet heeft geregend. Stof op het kasdek kan de lichttransmissie voor beide kassen hebben verlaagd.

Rekening houdend met het vervuilde glas tijdens de lichtmeting, en het verwijderen van het schaduwdoek, is voor de berekende hoeveelheid PAR op het gewas van DPC gerekend met een lichttransmissie van 59% van teelt 1-5 en 61% van teelt 6-9. Bij het praktijkbedrijf is gerekend met een lichttransmissie van 66%.

De transmissies zijn gemeten met bewolkte hemel. De lichttransmissie tijdens zonnige dagen kan hiervan afwijken. In Figuur 24 is voor iedere dag van teelt 6 aangegeven hoe de gemeten PARsom van 2 PAR meters zich verhoudt tot van de berekende PARsom. Die verhouding is uitgezet tegen de berekende PARsom. De grootte van de cirkels staat hierbij voor het dagnummer (hoe later in de teelt, hoe groter de cirkel).

Op dagen met weinig licht (lage berekende PAR-som), komt de gemeten hoeveelheid PAR aardig overeen met de berekende hoeveelheid. Op dagen met veel licht (veelal de zonnige dagen) is die verhouding veel lager. Dit is te verklaren doordat op dagen met veel licht er relatief veel direct zonlicht is. De invalshoek van direct zonlicht op het kasdek is doorgaans kleiner dan die van gemiddeld diffuus licht, waardoor dit meer gereflecteerd wordt (ondanks de AR coating). Een tweede verklaring is, dat direct zonlicht een andere samenstelling van het spectrum heeft in vergelijking met licht door een bewolkte hemel. Gerekend is met een verhouding van 2,15  $\mu\text{mol}$  PAR per Joule globale straling. Bij een bewolkte hemel is die verhouding hoger dan bij direct zonlicht.

Omdat bij het PB geen PAR-meter in de referentieafdeling is geplaatst, is voor de vergelijking van de hoeveelheid PAR altijd uitgegaan van de berekende waarden. Deze benadering is robuuster en geeft een eerlijker vergelijking dan als bij de DPC wordt uitgegaan van gemeten waarden en bij PB van berekende waarden.



**Figuur 24** Door 2 PAR meters gemeten PARsom gedeeld door de berekende PARsom, uitgezet tegen de berekende PARsom per etmaal tijdens teelt 6.

Van de hoeveelheid belichting van het praktijkbedrijf ( $128 \mu\text{mol}/(\text{m}^2.\text{s})$ ) is alleen het aantal uren per week bekend. Op basis hiervan is de totale hoeveelheid PAR berekend.

## 4 Gewasgroei en productie

### 4.1 Teeltplan en uitvoering

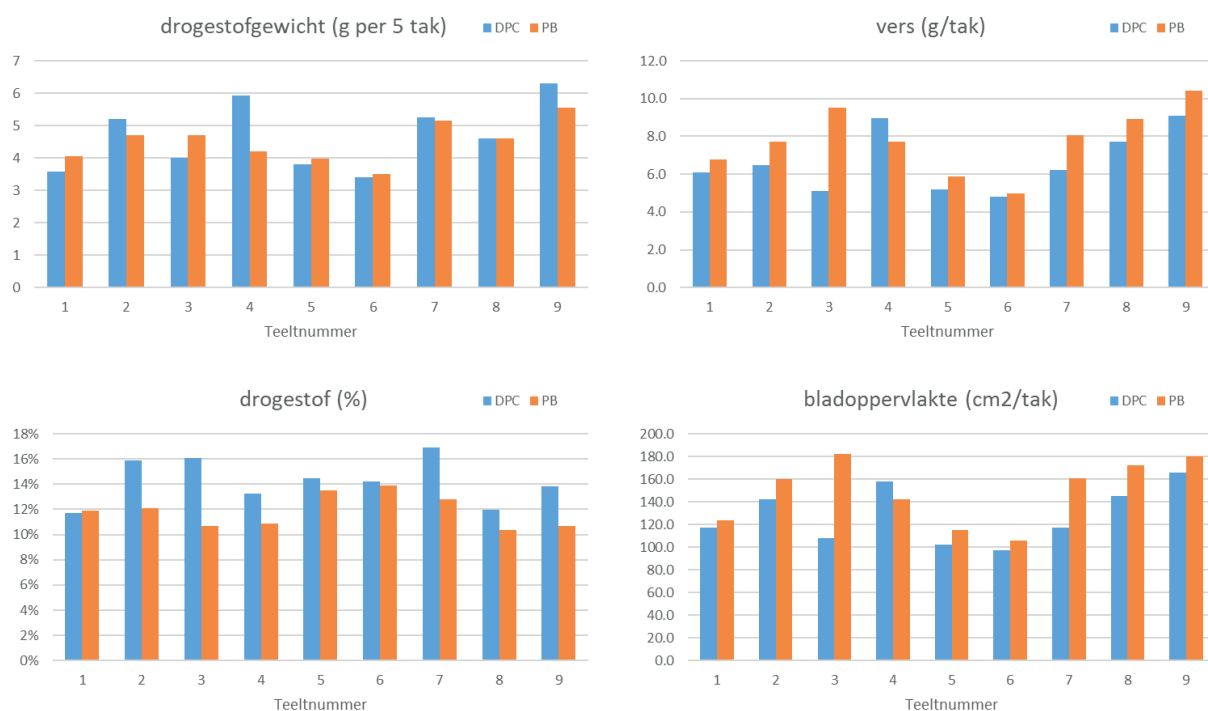
De negen teelten van DPC zijn vrijwel alle op dezelfde dag geplant als die van PB. De plantdichtheid betreft het aantal planten per m<sup>2</sup> grondoppervlak exclusief betonpaden. Als per m<sup>2</sup> gaas zou worden gerekend dan zou de plantdichtheid 11% hoger zijn uitgekomen.

### 4.2 Tussentijdse plantmetingen

9 tot 12 dagen na het planten, dus rond de start van de kortedagfase, is het jonge gewas gemeten en vergeleken met het praktijkbedrijf. Bij teelten 5-9 zijn op DPC meer tussentijdse metingen uitgevoerd.

Het meest opvallende van de metingen rond teeltdag 10 is het drogestofpercentage (zie Figuur 25 linksonder). Bij DPC was die vrijwel altijd hoger dan bij PB.

Een hoog drogestofpercentage kan zijn veroorzaakt door een droge teeltstart (voorzichtig aangieten), een hoge EC of het toelaten van veel licht. Maar ook door de plantontwikkeling. De plant maakt wel assimilaten aan maar de strekking van stengel en bladeren moet nog op gang komen. Daardoor is er aan eind van de lange dag veel drogestof in de plant.

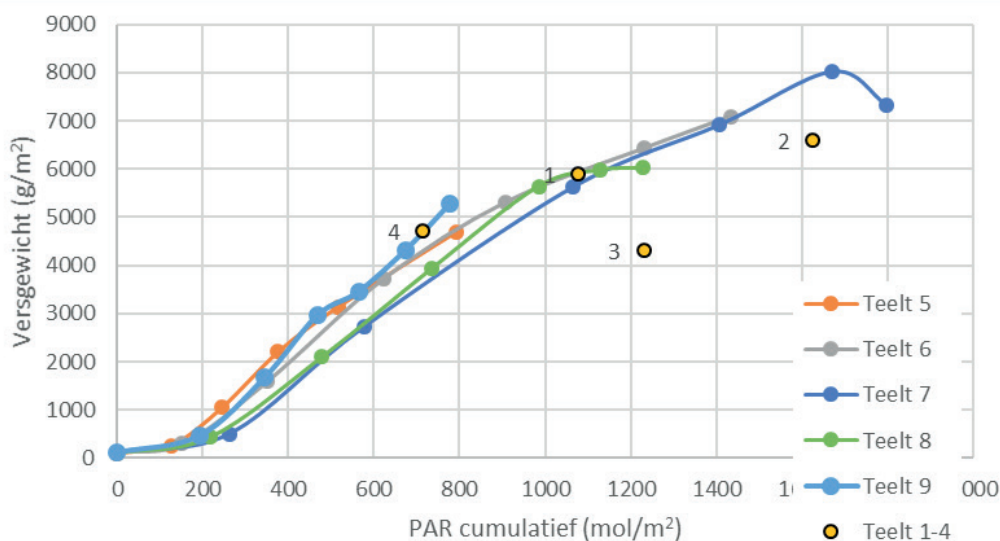


**Figuur 25** Drogestofgewicht, Versgewicht, Drogestofpercentage en Bladoppervlak tijdens de steekproeven bij DPC en PB rond de 10e teeltdag.

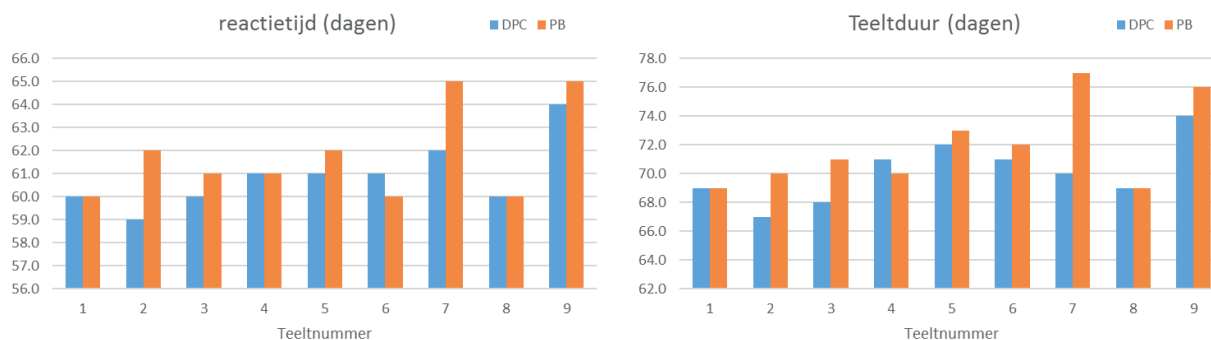
Het resultaat van de versgewichtsmetingen gedurende de teelt is in Figuur 26 uitgezet tegen de cumulatieve hoeveelheid licht per teelt. Hieraan is voor iedere teelt te zien hoe efficiënt het gewas met licht is omgegaan: hoe steiler de lijn, hoe hoger de lichtbenuttingsefficiëntie (LBE).

Alle lijnen vertonen min of meer een S-curve. Aan het begin van de teelt hebben de jonge planten nog te weinig blad om alle licht te absorberen, waardoor het licht dan nog maar weinig wordt benut. Na 1 à 2 weken stijgt de lijn gestaag, maar tijdens de bloei buigt de lijn weer naar beneden af. Dat kan komen doordat de bloemen veel licht tegenhouden, zodat er minder fotosynthese plaatsvindt. Aan het einde van teelt 7 is zelfs krimp van het versgewicht gemeten. Dat kan meerdere oorzaken hebben gehad:

1. In de laatste week van teelt 7 is geen CO<sub>2</sub> gedoseerd omdat het gewas te zwaar dreigde te worden (zie paragraaf 2.5)
2. Er is veel geschermd om het felle zonlicht tegen te houden.
3. De temperatuur was hoog, waardoor het zware gewas relatief veel dissimilatie zal hebben gehad.
4. Aangezien het versgewicht van de steekproef tijdens de een na laatste meting veel hoger was dan van die daarvoor en van de laatste, is die steekproef mogelijk niet representatief geweest.

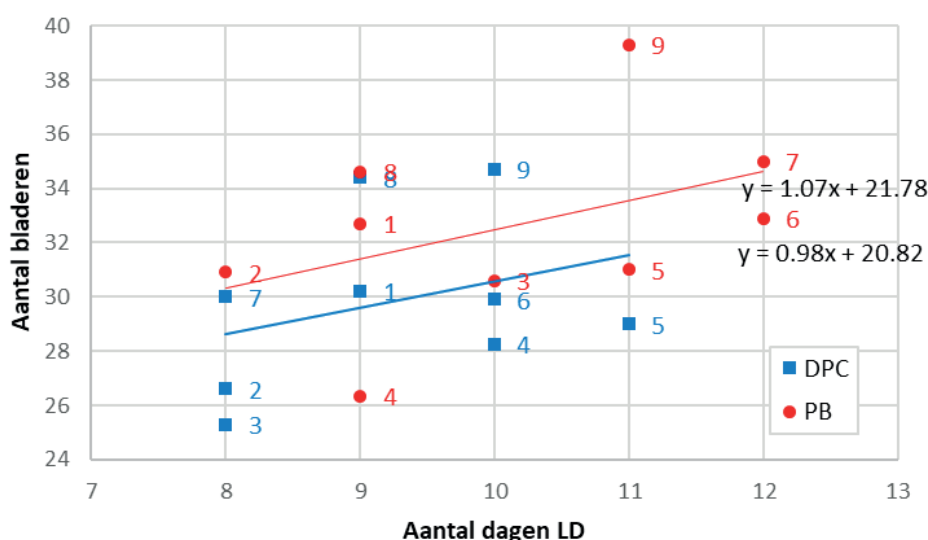






**Figuur 27** Reactietijd en teeltduur (dagen) van de 9 teelten bij DPC en PB.

Tijdens de langedag (LD) periode worden bladeren aangelegd. Hoe langer de LD-periode duurt, hoe meer bladeren er zouden moeten worden verwacht. In Figuur 28 blijkt het aantal dagen LD niet de enige voorspeller te zijn voor het aantal bladeren. Daarvoor blijkt de spreiding te groot te zijn. Gemiddeld genomen komt er voor ieder extra dag LD een blad bij. Het verschil in aantal bladeren tussen PB en DPC is gemiddeld 2. De grote spreiding kan zijn veroorzaakt door leeftijdsverschillen in uitgangsmateriaal en door aangehouden temperatuur tijdens de LD periode.



**Figuur 28** Aantal aangelegde bladeren uitgezet tegen het aantal dagen LD van de 9 teelten bij DPC en PB.

## 4.4 Plantmeting bij oogst

Tijdens of vlak voor de oogst is bij DPC en PB een steekproef genomen van de bloeiende takken. Het betreft telkens 5 \* 50 takken van DPC en 2 \* 25 takken van PB. De meeste resultaten zijn weergegeven in onderstaande histogrammen.

Het versgewicht per tak alleen is niet bepalend voor de productiviteit van de teelt. In veel gevallen is er een verschil in plantdichtheid (zie Tabel 1) of in teeltduur (zie Figuur 27). De grafiek met "Productie (kg/m<sup>2</sup>)" houdt rekening met de plantdichtheid, en de LBE houdt ook rekening met de totale hoeveelheid PAR die op het gewas is gekomen. Daarnaast zijn er ook kwalitatieve eisen, die de verkoopprijs van chrysanten bepalen. Deze eisen zijn moeilijk objectief te bepalen en daarom niet vastgelegd. Wel is het takgewicht opgesplitst in versgewicht stengel, blad en bloem. Ook is het drogestofpercentage hieronder weergegeven.

Enkele opvallende zaken:

1. De in de doelstelling beoogde productieverhoging van 5% bij DPC ten opzichte van PB is alleen behaald bij teelten 1, 2 en 9. Bij teelten 3, 5 en 8 is zelfs een lagere productie gehaald dan bij PB.
2. De LBE varieert (vooral beïnvloed door het seizoen) van 3,4 tot 6,9 g/mol.
3. Periode 3 heeft een zeer lage productie. Dat is veroorzaakt door een mislukte teeltstart.
4. In Periode 5 is het takgewicht veel lager dan bij PB. Dit is deels veroorzaakt door een lage plantdichtheid bij PB, maar ook als je naar de LBE kijkt blijkt PB hoger te scoren. De LBE van teelt 5 (plantweek 51) is ook lager dan van teelt 4 (plantweek 40), terwijl je voor die plantweek een hogere LBE zou verwachten. De oorzaak van de lage productiviteit van teelt 5 is niet achterhaald.
5. Met uitzondering van teelt 4 is het bladgewicht bij DPC altijd lager dan bij PB.

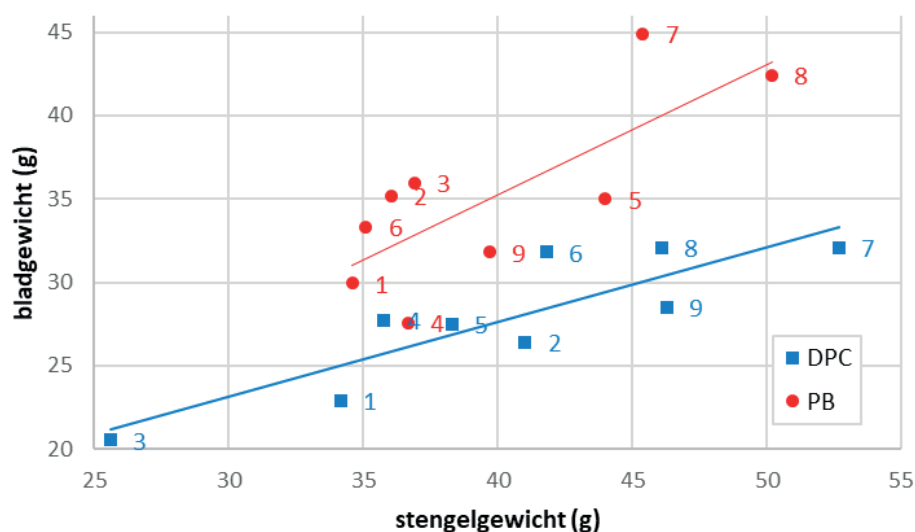


**Figuur 29** Vergelijking van meetgegevens per teelt en per afdeling.

Het versgewicht van de geoogste takken is gemeten zonder perspot. Dit is dus zwaarder dan het geveilde gewicht, waarbij de stengel wordt ingekort tot 70 cm en van het onderste deel van de tak  $\pm$  8 bladeren zijn verwijderd.

In iets mindere mate dan bij de eerste vier teelten heeft de BCO ook bij de daaropvolgende teelten de takvorm bekritiseerd. Het gewas werd nog steeds te generatief genoemd, waarmee werd bedoeld dat de takken klein blad en weinig zijscheuten hadden. Dit is ook te zien aan de verhouding bladgewicht/stengelgewicht, zoals dat in Figuur 30 is weergegeven. Hieruit blijkt dat deze verhouding bij DPC telkens lager ligt dan bij PB.

De stevigheid van de steel werd wel als een positief kenmerk benoemd. Bij teelt 7 was die zelfs uitzonderlijk stevig en zwaar.



**Figuur 30** Bladgewicht per tak, uitgezet tegen het stengelgewicht voor DPC (blauw) en PB (rood).

Er is geen duidelijk verband gevonden tussen bloemgewicht enerzijds, en stengelgewicht of bladgewicht anderzijds. Dat komt mede doordat het bloemgewicht wordt bepaald door de rijpheid van de bloemen tijdens de meting. Hierdoor kan bijvoorbeeld het bloemgewicht van PB bij teelt 9 lager uitkomen.

## 4.5 Houdbaarheid

De eerste vier teelten is de houdbaarheid getest zonder transportsimulatie. Hierbij bleek het vaasleven te variëren van 18 tot 24 dagen. Over het algemeen was de houdbaarheid van DPC enkele dagen korter dan die van het praktijkbedrijf. Bij teelt 2 is de houdbaarheid van de takken uit het gedruppelde vak apart getest van de takken uit het beregende vak. Hieruit bleek een langere houdbaarheid van drie dagen (24 in plaats van 21 dagen) voor de takken uit het gedruppelde vak.

Vanaf teelt 5 is wel telkens een transportsimulatie (7 dagen droog in de doos) toegepast voor de houdbaarheidstest. Hierbij bleek de houdbaarheid telkens rond de 14 dagen te liggen, waarbij er geen verschil is aangetoond tussen de houdbaarheid van DPC ten opzichte van het praktijkbedrijf. Alleen bij teelt 6 was de houdbaarheid bij DPC 0 dagen. Deze takken zijn warm geoogst en zijn tijdens de transportsimulatie zichtbaar zodanig uitgedroogd dat dit niet meer kon worden hersteld.



## 5 Fotosynthesemetingen

In het kader van 'Fysiologische verdieping' zijn tijdens teelt 9 metingen verricht om de fotosynthesesnelheid te kwantificeren. Uit de fotosynthesemetingen kunnen voor chrysant specifieke parameters worden afgeleid die toegevoegd kunnen worden aan het Intkam gewasgroeimodel, dat daarmee in staat is om de effecten van verschillende klimaatomstandigheden op het assimilatenaanbod te berekenen, zeker als dit wordt gecombineerd met bepalingen van lichtonderschepping en gewasgroei. Met dit ondersteunende rekenmiddel kunnen bijvoorbeeld experimenten of praktijksituaties worden geanalyseerd, toekomstverkenningen worden uitgevoerd, en teeltsituaties worden geoptimaliseerd.

De methode en resultaten van de metingen zijn weergegeven in Bijlage 1. De discussiepunten die hieruit zijn voortgekomen worden in dit hoofdstuk behandeld.

### 5.1 Fotosynthese

Voor het uitvoeren van de fotosynthesemetingen werd gebruik gemaakt van de LI-6800 draagbare fotosynthesemeter van Li-Cor, die WUR Glastuinbouw op dat moment nog maar pas in haar bezit had. Het bleek, na het nodige testen en verbeteren van de protocollen, eenvoudiger dan voorheen ingewikkelde series metingen uit te voeren. Het is ook gebleken dat de eerder ontwikkelde statistische procedure (Qian *et al.* 2012) ook nu heeft gewerkt en het mogelijk maakt om de juiste fotosyntheseparameters te bepalen. Het blijft belangrijk om tijdens het uitvoeren van de metingen of uiterlijk aan het einde van de meetdag kritisch te kijken naar de kwaliteit van de meetresultaten, en indien nodig metingen te herhalen. Voldoende herhalingen zijn essentieel voor het krijgen van significante verschillen (kleine standaardafwijkingen) en het statistisch schatten van parameters. Wat dit betreft voldoen de metingen aan de temperatuurrepons op z'n best matig aan de vereisten.

Er bestaat een kleine verzameling literatuur op het gebied van fotosynthesemetingen bij chrysant. Acock *et al.* (1978) bepaalden bij 1000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  PAR een  $\text{CO}_2$  opname van ongeveer 45-50  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Dit is hoger dan de door ons bepaalde waarde van  $A_{\text{max}}$ . Janka *et al.* (2016) hebben een maximale fotosynthesesnelheid van ongeveer 40  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  gemeten bij 2000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  PAR, temperaturen > 30°C en 800 – 1000 ppm  $\text{CO}_2$ . Han *et al.* (2017) vonden bij een lage  $\text{CO}_2$  concentratie van 385 ppm en een lichtniveau van 1000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  een fotosynthesesnelheid van ongeveer 8  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . De door ons bepaalde waarde bij deze twee groepen van omstandigheden ligt ongeveer op hetzelfde niveau. De door Weerakkody *et al.* gemeten maximale fotosynthesesnelheid (vergelijkbaar met  $A_{\text{max}}$ ) bedraagt ongeveer 25  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , wat wordt bereikt bij 20 – 36°C en 1000 ppm  $\text{CO}_2$ . Bij een lagere  $\text{CO}_2$  concentratie van 380 ppm is hun maximale fotosynthesesnelheid ongeveer 10  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , dalend naar ongeveer 5  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  bij 36°C. Bij een lage temperatuur van 12.5°C (deze instelling hebben wij niet toegepast) was hun maximale fotosynthesesnelheid ongeveer 12  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Verder namen ze een dalende maximale fotosynthesesnelheid waar bij het naar beneden gaan in het gewas, iets wat ook vaak bij metingen door WUR Glastuinbouw is gevonden (bijvoorbeeld Qian *et al.* 2012). De door ons bepaalde waarde van  $A_{\text{max}}$  bedroeg ongeveer 38  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , wat hoger is dan de door Weerakkody er al bepaalde waarde.

Weerakkody er al bepaalden in 2015 de waarde van  $J_{\text{max}}$  op 151  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  en de waarde van  $V_{\text{Cmax}}$  op 48.1  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Hierbij werd PAR op 2000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  gehouden en de temperatuur op 20°C. Met name de waarde van  $J_{\text{max}}$  is vergelijkbaar met de door ons gevonden waarden van 184  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , terwijl de waarde van  $V_{\text{Cmax}}$  duidelijk lager is dan de door ons gevonden waarde van 91  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . De door hen gevonden waarde van  $R_d$  bedraagt 1.12  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , wat lager is dan de door ons gevonden waarde van 2.86  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Hun metingen met variabele niveaus van straling en  $\text{CO}_2$  op verschillende gewasdiepten zijn moeilijk te interpreteren vanwege de sterk verschillende waarden van de fotosyntheseparameters.

De conclusie is dat er in de literatuur variatie bestaat in meetwaarden – wat vrij gebruikelijk is – en dat de door ons bepaalde waarden passen in de bandbreedte.

Om een voorbeeld te geven van een ander gewas: Qian *et al.* (2012) vonden voor tomaat hogere waarden voor met name  $J_{\text{max}}$  (315  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  bovenin het gewas en 235  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  halverwege het gewas, versus 184  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  voor chrysant) en in mindere mate voor  $V_{\text{Cmax}}$  (117  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  bovenin het gewas en 97

$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  halverwege het gewas, versus  $91 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  voor chrysant). Maar er zijn voor tomaat ook lagere waarden gevonden. Het is bekend dat de meetwaarden voor fotosynthese worden beïnvloed door de teeltomstandigheden. Daarnaast is een verschil tussen chrysant en tomaat dat voor chrysant de fase waarin de LAI moet worden opgebouwd relatief lang is ten opzichte van de totale teeltduur, zodat de totale drogestofproductie hierdoor enigszins gelimiteerd zal zijn.

Dit betekent dat de fotosynthesesnelheid van tomaat bij dezelfde omstandigheden hoger zal zijn dan die van chrysant.

## 5.2 Lichtonderschepping en bedekkingsgraad van de bloemen

Het chrysantengewas werd op 17 augustus 2018 geplant. In een periode van een kleine twee maanden vormt zich het bladpakket en bloemstelen met nog gesloten bloemen. Vanaf 9 oktober laat de lichtonderschepping door de zich openende bloemen in een maand tijd een snelle toename zien. Op het moment dat de bloemopening een aanvang neemt, is volledige lichtonderschepping een feit, en vanaf dat moment neemt de lichtbeschikbaarheid voor de bladeren af omdat een deel van het licht door de bloemen wordt onderschept. Nu vertaalt bedekkingsgraad zich niet 1-op-1 in lichtonderschepping, maar het is evident dat tijdens de bloei de fotosynthesecapaciteit van het gewas afneemt. Achteraf beschouwd hadden we de lichtonderschepping ook onder de bloemen moeten bepalen om de vertaling bedekkingsgraad – lichtonderschepping te bepalen.



## 6 Conclusies en discussie

### 6.1 Conclusies

#### 6.1.1 Teelt en gewas

De beoogde meerproductie van 5% ten opzichte van het praktijkbedrijf (PB) is alleen bereikt bij teelten 1, 2 en 9. De kwaliteit van de takken is niet objectief gemeten. Wel heeft de BCO van de kwaliteit van de takken in 2018 positiever beoordeeld dan van de takken in 2017.

De kasklimaten van DPC en PB onderscheiden zich hoofdzakelijk van elkaar door overdag een hogere RV, en 's nachts een lagere kastemperatuur bij DPC. Deze verschillen zijn in de loop van het project kleiner geworden. Wel is de nacht RV bij DPC gelijkmatiger doordat er in de ochtend in plaats van in de avond wordt berekend.

Er is gewerkt zonder een minimum onderbuis temperatuur aan te houden. Dit heeft bij Baltica niet geleid tot een slechte bladkwaliteit. Baltica blijkt dus zonder minimum onderbuis worden te telen, mits actieve ontvochtiging en/of luchtbeweging wordt toegepast.

De cumulatieve groei, uitgezet tegen de cumulatieve hoeveelheid PAR vertoont een S-curve. Dit betekent dat het licht tijdens week 3-9 het meest effectief wordt omgezet in versgewicht. De totale lichtbenuttingsefficiëntie (LBE) varieert per seizoen van 3,4 tot 6,9 g/mol.

Iedere extra dag in de LD-fase geeft ongeveer 1 extra blad per tak.

Bij de fotosynthesemetingen is een groot verschil gevonden tussen metingen bij 400 en 800 ppm CO<sub>2</sub>-concentratie. Bij sommige metingen was de opname van CO<sub>2</sub> zelfs 2 keer zo hoog bij 800 ppm als bij 400 ppm.

De lichtonderschepping is al na drie á vier weken tussen 90 en 98%. Daarna laat het gewas nog drie weken lang nieuwe bladeren uitgroeien. Deze bladeren dragen dan dus niet meer bij aan een hogere lichtonderschepping.

De hoeveelheid watergift van alle teelten is vrijwel proportioneel aan de hoeveelheid PAR. Alleen in het begin en het einde van iedere teelt wordt minder water gegeven.

Een dagelijkse druppelbeurt kan tijdens de winterperiode de onderste bladeren te lang nat houden, wat kan leiden tot slecht blad. Daarom wordt aanbevolen om dan niet dagelijks te druppelen. De lichte kwaliteits- en energievoordelen van druppelslangen worden overigens onvoldoende geacht om de investering als rendabel te zien.

Dat telers een groeistimulans door stomen ervaren, is moeilijk te verklaren door de hogere bodemtemperatuur. De bodemtemperatuur op 10 cm diepte wordt in de eerste teeltfase namelijk meer beïnvloed door de kastemperatuur en de hoeveelheid zonlicht dan door de bodemtemperatuur. Aangezien de plant en de wortels zich in de beginfase zelfs boven op de grond bevinden, heeft een verhoogde bodemtemperatuur daar nog minder invloed.

#### 6.1.2 Energie

Bij negen teelten is 20,6 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> aan aardgasequivalenten warmte gebruikt en 31,7 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> aan warmte geoogst. Dit zou bij 5,1 teelten per jaar neerkomen op 12 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> per jaar aan warmtegebruik en 17 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> per jaar aan warmtegeoogst. Er is dus minder warmte gebruikt dan in de doelstelling (15 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>.jaar)) en veel meer warmte geoogst dan wat er gebruikt is. Tijdens de tweede helft van de negen teelten is er 43% meer warmte gebruikt dan tijdens de eerste helft. Dat is onder andere te verklaren door een lagere RV tijdens de tweede helft van de negen teelten.

Voor het produceren van 12 m<sup>3</sup> aan aardgasequivalenten warmte door een warmtepomp met een COP van 4, is slechts 9 m<sup>3</sup> aan aardgasequivalenten warmteoogst nodig en  $(12/4) \cdot (32/3.6) = 27$  kWh elektriciteit nodig voor de aandrijving van de warmtepomp.

De onbenutte warmteoogst ( $17 - 9 = 8$  m<sup>3</sup>) die hoofdzakelijk is ingezet voor koeling tijdens de zomer, zal moeten worden afgevoerd, bijvoorbeeld met een chiller of een koeltoren. Omdat de warmtepomp moet zorgen voor koelwater, is voor de extra koeling nog 24 kWh extra elektriciteit nodig.

Dankzij de koeling is in ieder geval bij teelt 2 en 7 enkele dagen bloeivertraging voorkomen en is gedurende de negen teelten 10 kg/m<sup>2</sup> CO<sub>2</sub> in de kas gehouden.

Een standaard chrysantenbedrijf zal voor het beperken van de warmtevraag moeten investeren in een extra energiescherm en in een systeem dat droge lucht kan inblazen. Ook zal hiervoor de gewasverwarming (onderbuis) tot een minimum moeten worden beperkt. Omdat de nagestreefde RV met actieve ontvochtiging vrijwel altijd behaald wordt, dient het de setpoint-RV niet te laag te worden ingesteld.

Om de benodigde warmte te oogsten en her te gebruiken zijn luchtbehandelingskasten met  $\pm 50$  W/m<sup>2</sup> koelvermogen, een warmtepomp met eventueel een buffer en een doublet (brongpomp van en naar aquifer) nodig. Indien het systeem zonder seizoensbuffer of doublet wordt uitgevoerd dan moet tijdens de winterdagen ook 50-60 W/m<sup>2</sup> kunnen worden geoogst om in de dagelijkse warmtebehoefte te kunnen voorzien.

In teelt 9 (winterteelt) hebben de schermdoeken zowel bij DPC als bij PB in gesloten toestand 7% van het zonlicht weggenomen. Ondanks dat het energiescherm overdag meer uren wordt ingezet dan het verduisteringsscherm, neemt het dus niet meer licht weg. Wel houdt de extra scherminstallatie bij DPC in geopende toestand uiteraard jaarrond zonlicht tegen.

Door SON-T belichting wordt de planttemperatuur hoger dan door LED belichting. Tijdens een nachtelijke meting is dit verschil geschat op 0,7°C (beide belichtingstypen hebben  $\pm 36$  W/m<sup>2</sup> elektrisch vermogen).

## 6.2 Discussie

### 6.2.1 Gewas

Bij de start van de KD-fase bleek het drogestofgehalte van DPC vrijwel altijd hoger te liggen dan dat bij PB. Oorzaken daarvan worden gezocht in de voorzichtige watergift en het intensieve belichten tijdens de LD-fase bij DPC. Er is niet gemeten wat de invloed is van een hoog drogestofgewicht op de productiviteit en de kwaliteit van het gewas.

Bij DPC zijn de bladeren vrijwel altijd kleiner dan bij PB, met een lager versgewicht van het blad en een hoger stengelgewicht. Dit is niet te verklaren door de luchtvochtigheid, die bij DPC veelal hoger lag dan bij PB.

Het verschil in houdbaarheid tussen de bloemen van DPC en PB, was niet groot. Alleen bij teelt 6 bleek deze bij DPC na de transportsimulatie zeer slecht te zijn. Dit werd geweten aan de zonnige omstandigheden gedurende de laatste twee weken voor de oogst, waarbij volop werd verneveld. Het idee hierbij is, dat de planten 'lui' worden van verneveling. Als de planten nooit stress hebben gehad, zouden ze na de oogst minder goed in staat zijn om hun huidmondjes te sluiten. Om dit verschijnsel te kunnen bevestigen zullen meerdere herhalingen onder vergelijkbare omstandigheden nodig zijn.

### 6.2.2 Middelen

De hoeveelheid PAR in de kas afkomstig van de zon is berekend uit de hoeveelheid door uit te gaan van de hoeveelheid globale straling buiten, een vaste omrekening van globale straling naar PAR ( $2,15 \mu\text{mol/J}$ ) en een vaste lichttransmissie van de kas en het schermdoek. Hieraan is de voorkeur gegeven boven de PAR meters in de kas, omdat solarimeters buiten, robuuster zijn dan PAR meters in de kas. Een PAR meter in de kas kan namelijk vuil worden of scheef komen te staan. Bovendien is bij het praktijkbedrijf niet altijd een PAR sensor in de referentieafdeling aanwezig. Voor een goede vergelijking wordt daarom bij beide kassen dezelfde methode gebruikt.

Uit de vergelijking bij DPC tussen berekening met solarimeter en PAR-meting, is gebleken dat op zonnige dagen de berekening een overschatting geeft van de hoeveelheid PAR op het gewas. Deze overschatting kan oplopen tot meer dan 30%. Het lijkt erop dat, omdat direct zonlicht meestal een kleinere invalshoek op het kasdek heeft dan diffuus licht bij bewolkt weer, er ook meer licht wordt gereflecteerd op het kasdek.

Als de  $\text{CO}_2$ -concentratie in de nacht van DPC wordt vergeleken met die van PB, dan blijkt de kas van DPC meer lek te geven, wat in de winterperiode waarschijnlijk tot meer energieverlies leidt.

Als in de zomerperiode de kastemperatuur 's avonds door koeling snel wordt verlaagd, dan kan het gebeuren dat de kastemperatuur onder de buitentemperatuur komt. Als dan wordt gestopt met koelen, dan kunnen de schermventilatoren geen vocht meer afvoeren. Er zal een dood klimaat ontstaan als niet actief wordt ontvochtigd of verwarmd. Hier zal een keuze moeten worden gemaakt tussen langzamer afkoelen enerzijds, of snel afkoelen en de warmteoogst in de ochtend hergebruiken anderzijds.

Aan het einde van de dag zijn de LED lampen eerder uitgeschakeld dan de SON-T lampen om met het verrood in de SON-T lampen de nacht in te gaan. Gevreesd werd namelijk dat het ontbreken van verrood in LED tot bloeivertraging zou leiden. Die vertraging is niet gevonden, al is niet zeker te stellen of dat ook het geval zou zijn als er alleen met LED zou zijn afgesloten.

Doordat het schermdoek niet op de netto stralingsmeter kan worden gestuurd, en omdat de invloed van de verwarming op de gemeten netto straling groot was, heeft de netto stralingsmeter aan dit project weinig bijgedragen.

Voor de belichting is meer elektriciteit gebruikt dan volgens de doelstelling. De oorzaak daarvan is, dat energiezuinige belichting meer uren rendabel kan worden ingezet. Dit weegt op tegen het afbuigen van de lichtresponscurve bij een hogere intensiteit aan toegevoegd licht.

Het is niet waarschijnlijk dat de 24 kWh elektriciteit die louter voor koeling zijn ingekocht (dus voor het binnenhouden van  $\text{CO}_2$  en niet voor warmte-oogst) rendabel zijn, als daar hooguit 10 kg  $\text{CO}_2$  mee in de kas wordt gehouden.



# Literatuur

- Acock, B., D.A. Charles-Edwards & S. Sawyer, 1979.  
Growth response of a *Chrysanthemum* crop to the environment. III. Effects of radiation and temperature on dry matter partitioning and photosynthesis. *Ann. Bot.* 44: 289-300.
- Acock, B., D.A. Charles-Edwards, D.J. Fitter, D.W. Hand & J. Warren Wilson, 1978.  
Modelling canopy net photosynthesis by isolated blocks and rows of chrysanthemum plants. *Ann. Appl. Biol.* 90: 255-263.
- Adams, M.S., & M.M. Fayyaz, 1979.  
Temperature acclimation of net photosynthesis in relation to growth of a cold hardy chrysanthemum. *Oecologia* 39: 239-247.
- Boogaard, S.A.J. van den, S.W. Hogewoning, R. Muilwijk, G. Trouwborst, C. Rappoldt en A. Schapendonk, 2019.  
Chrysant in Balans. Plant Lighting B.V.
- Charles-Edwards, D.A. & B. Acock, 1977.  
Growth response of a *Chrysanthemum* crop to the environment. II. Mathematical analysis relating photosynthesis and growth. *Ann. Bot.* 41: 49-58.
- Farquhar, G.D., S. von Caemmerer & J.A. Berry, 1980.  
A biochemical model of photosynthetic CO<sub>2</sub> assimilation in leaves of C3 species. *Planta* 149: 78-90.
- Goudriaan, J., 1982.  
Potential production processes. In: *Simulation of Plant Growth and Crop Production*. Centre for Agricultural Publishing and Documentation (Pudoc), Wageningen.
- Han, S., S.M. Chen, A.P. Song, R.X. Liu, H.Y. Li, J.F. Jiang & F.D. Chen, 2017.  
Photosynthetic responses of *Chrysanthemum morifolium* to growth irradiance: morphology, anatomy and chloroplast ultrastructure. *Photosynthetica* 55: 184-192. DOI: 10.1007/s11099-016-0219-5
- Janka, E., O. Körner, E. Rosenqvist & C.-O. Ottosen, 2016.  
A coupled model of leaf photosynthesis, stomatal conductance, and leaf energy balance for chrysanthemum (*Dendranthema grandiflora*). *Computer and Electronics in Agriculture* 123: 264-274. Doi: /10.1016/j.compag.2016.02.022
- Markvart, J., E. Rosenqvist, J.M. Aaslyng & C.-O. Ottosen, 2010.  
How is canopy photosynthesis and growth of chrysanthemums affected by diffuse and direct light? *Europ. J. Hort. Sci.* 75: 253-258.
- Ozturk, I., C.-O. Ottosen & C. Ritz, 2013.  
The effect of temperature on photosynthetic induction under fluctuating light in *Chrysanthemum morifolium*. *Acta Physiol Plant* 35: 1179-1188. DOI 10.1007/s11738-012-1157-x
- Raaphorst, M., Zwart, F. d., Schuddebeurs, L. en Veld, P. d., 2018.  
Perfekte chrysant teelt 1-4: energiezuinige demonstratieteelten bij Delphy Improvement Centre. Wageningen U&R, Bleiswijk
- Qian, T., A. Elings, J.A. Dieleman, G. Gort & L.F.M. Marcelis, 2012.  
Estimation of photosynthesis parameters for a modified Farquhar-von Caemmerer – Berry model using simultaneous estimation method and nonlinear mixed effects model. *Environmental and Experimental Botany* 82: 66-73.
- Weerakkody, W.A.P. & L.D.B. Suriyagoda, 2015.  
Estimation of leaf and canopy photosynthesis of pot chrysanthemum and its implication on intensive canopy management. *Scientia Horticulturae* 192: 237-243. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.05.028>





# Bijlage 1 Fotosynthesemetingen

## Inleiding

In het kader van 'Fysiologische verdieping' zijn tijdens teelt 9 metingen verricht om de fotosynthesesnelheid te kwantificeren. Uit de fotosynthesemetingen kunnen voor chrysant specifieke parameters worden afgeleid die toegevoegd kunnen worden aan het Intkam gewasgroeimodel, dat daarmee in staat is om de effecten van verschillende klimaatomstandigheden op het assimilatenaanbod te berekenen, zeker als dit wordt gecombineerd met bepalingen van lichtonderschepping en gewasgroei. Met dit ondersteunende rekenmiddel kunnen bijvoorbeeld experimenten of praktijksituaties worden geanalyseerd, toekomstverkenningen worden uitgevoerd, en teeltsituaties worden geoptimaliseerd.

Verschillende onderzoekers hebben in het verleden metingen verricht aan de fotosynthesesnelheid van chrysant en de waarden gebruikt in een chrysantenmodel (Acock *et al.* 1978, 1979; Charles-Edwards & Acock, 1977; Janka *et al.* 2016). Daarnaast zijn er studies verricht naar de efficiëntie van het PSII systeem (Fv/Fm) en electrontransportsnelheid (Han *et al.* 2015, 2017; Janka *et al.* 2018), naar de invloed van opweekomstandigheden (Adams & Fayyaz, 1979), naar de effecten van diffuus versus direct licht (Markvart *et al.* 2010), naar het temperatuureffect op de inductie van de fotosynthese (Ozturk *et al.* 2013), en naar droogtestress (Sun *et al.* 2013). In deze studies ontbreekt het echter meestal aan een bepaling van de fotosyntheseparameters die geschikt zijn voor gebruik in het Farquhar-von Caemmerer-Berry (FvCB) model voor fotosynthese (Farquhar *et al.* 1980), dat de effecten van licht, CO<sub>2</sub> en temperatuur met elkaar integreert en om die reden in het Intkam gewasgroeimodel van WUR Glastuinbouw wordt gebruikt. Uitzonderingen hierop vormen de studie door Weerakkody *et al.* (2015) en de het onderzoek Chrysant in Balans (Van den Boogaard *et al.* 2019), die deze parameters wel schatten. Het Intkam model maakt het mogelijk om de effecten van diverse klimaatinstellingen en teeltmaatregelen goed te berekenen, en is daarmee geschikt is voor toepassing voor de Nederlandse tuinbouw.

Op een zeker moment vormen zich bloemen boven het bladpakket, zodat een deel van het licht niet langer op de bladeren valt en daarmee niet beschikbaar is voor fotosynthese. De relevantie hiervan wordt geïllustreerd door de ontwikkeling die in de 2<sup>e</sup> helft van de 20<sup>e</sup> eeuw bij kleine granen heeft plaatsgevonden. Een van de veredelingsstappen geweest om het vlagblad boven de aar uit te laten steken om zo beschaduwning van het vlagblad door de aar te voorkomen. Dit laatste was het geval bij de oude landrassen en was een van de oorzaken van de relatief lage opbrengst.

## Materiaal en Methoden

### Fotosynthese

Metingen aan de fotosynthesesnelheid vonden plaats van 1 tot 18 oktober 2018 bij verschillende niveaus van licht, CO<sub>2</sub> en temperatuur, en onder korte dag omstandigheden (we verwachtten geen grote verschillen tussen korte en lange dag). Er werd gemeten aan het bovenste volgroeide en gezonde blad, tussen 9:00 en 15:00 uur omdat lagere fotosynthesesnelheden aan de randen van de dag vermeden moesten worden. Per type curve werden 7 bladeren van 7 verschillende planten gemeten. Er werd gemeten met de LI-6800 draagbare fotosynthesemeter van Li-Cor ([www.licor.com/env/products/photosynthesis](http://www.licor.com/env/products/photosynthesis)).

Lichtresponscurves: Iedere lichtresponscurve bestond uit metingen bij 13 PAR niveaus: 0 – 50 – 100 – 150 – 200 – 250 – 300 – 400 – 500 – 750 – 1000 – 1250 – 1500 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>. Het relatief grote aantal metingen bij lage lichtniveaus was nodig om de parameter J<sub>max</sub> (een van de parameters in het fotosynthesemodel; zie verder in dit hoofdstuk) goed te kunnen schatten. De 13 meetstappen werden van hoog naar laag lichtniveau uitgevoerd (dus van 1500 naar 0 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>). Iedere lichtresponscurve werd bij 4 CO<sub>2</sub> niveaus uitgevoerd, te weten: 400 – 800 – 1200 – 1600 ppm, en bij een temperatuur van 25°C.

CO<sub>2</sub> responscurves: Iedere CO<sub>2</sub> responscurve bestond uit metingen bij 10 CO<sub>2</sub> niveaus: 50 – 100 – 200 – 400 – 600 – 700 – 800 – 900 – 1000 – 1200 – 1600 – 2000 ppm. Er werden veel metingen tussen 600 en 900 ppm uitgevoerd omdat hier afbuiging van de curve werd verwacht. De metingen werden uitgevoerd in 13 meetstappen: 400 – 200 – 100 – 50 – 400 – 600 – 700 – 800 – 900 – 1000 – 1200 – 1600 – 2000 ppm. Iedere CO<sub>2</sub> responscurve werd bij 3 lichtniveaus uitgevoerd, te weten: 150 – 750 – 1500 mmol PAR m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>.

Temperatuurreponscurves: Idealiter moet er tussen 20 en 35°C worden gemeten, omdat het verwachte optimum, afhankelijk van de omstandigheden, tussen 20/25 en 30°C ligt (Adams & Fayyaz, 1979; Janka *et al.* 2016; Weerakkody & Suriyagoda, 2015). Eerst waren de metingen onder 25°C als gevolg van instabiele condities in de meetkamer lastig uit te voeren, maar door de wachttijd tussen de meetstappen te verlengen bleek het toch mogelijk te zijn. Iedere temperatuurreponscurve bestond uit 7 meetstappen, te weten 20 – 22,5 – 25 – 27,5 – 30 – 32,5 – 35°C. Er werd gemeten bij 3 CO<sub>2</sub> niveaus: 400 – 800 – 1200 ppm in combinatie met 1200 mmol PAR m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, en bij 3 lichtniveaus: 400 – 800 – 1200 mmol PAR m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> in combinatie met 1200 ppm CO<sub>2</sub>. Een aantal duidelijk afwijkende metingen werden niet in de analyse betrokken.

## Lichtonderschepping

De lichtonderschepping van het gewas werd wekelijks gemeten tussen 20 augustus en 24 september 2018. Aan het einde van deze periode bedroeg de lichtonderschepping bijna 100% en kon worden beëindigd. De hoogte van het gewas werd gemeten van 20 augustus tot 17 oktober vanaf het persblok tot en met de bovenste bloem. Toen was de hoogtetoename sterk afgenomen.

## Bedekkingsgraad van de bloemen

De lichtonderschepping door de bloemen werd gemeten van 5 tot 27 oktober 2018. In deze periode ontwikkelden de bloemen zich volledig en waren verantwoordelijk voor een toenemende onderschepping van het beschikbare licht. In deze periode was het bladapparaat volledig ontwikkeld zodat werd aangenomen dat het resterende licht door de bladeren werd onderschept.

Voor het bepalen van de bedekkingsgraad door de bloemen werden er op iedere meetdatum van bovenaf 18 foto's gemaakt. Met een beeldbewerkingsprogramma werd de verhouding pixels van bloemen en niet-bloemen bepaald<sup>2</sup>. Deze pixelverhouding werd gelijk gesteld aan de bedekkingsgraad door de bloemen.

## Resultaten

De analyse van de fotosynthesemetingen wordt in twee stappen gepresenteerd. Eerst worden de meetresultaten gepresenteerd door de fotosynthesesnelheid weer te geven afhankelijk van het niveau van licht, CO<sub>2</sub> en temperatuur. Daarna worden de parameters van het FvCB model afgeleid.

---

<sup>2</sup> Dank aan Jochen Hemming, WUR Glastuinbouw

## Fotosynthese

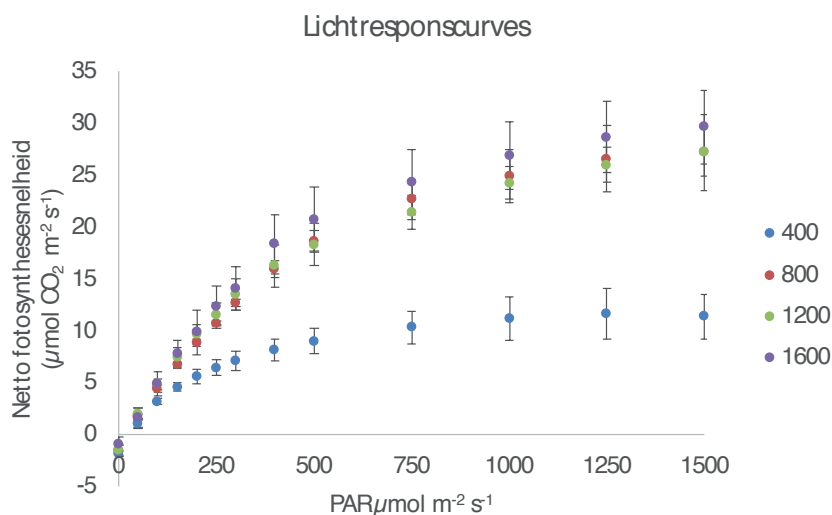
### Meetresultaten

Om een globaal inzicht te krijgen in de fotosynthesemetingen zijn om te beginnen de effecten van CO<sub>2</sub>, licht en temperatuur samengevat. De fotosynthese-lichtresponscurves bij verschillende CO<sub>2</sub> concentraties van de lucht buiten het blad staan in Figuur 31 weergegeven. Per lichtniveau is een herhaling vanwege sterk afwijkende waarden niet meegenomen in de analyse, zodat de analyse op 6 herhalingen is gebaseerd. Pogingen om de gegevens met het gebruikelijke wiskundige model te analyseren, waarbij de buiging van de hyperbool expliciet wordt gekwantificeerd, bleken niet mogelijk. Daarom is voor de schatting van de parameters gebruik gemaakt van een iets eenvoudiger model, een 'rectangular hyperbola' (vierkantshyperbool) (Goudriaan, 1982). Deze curve beschrijft het effect van de lichtintensiteit op de fotosynthesesnelheid, waarbij de fotosynthesesnelheid bij een hoog lichtintensiteit een plateau bereikt.

$$A_{ss} = (A_{max} + R_d) \frac{eR}{(eR + A_{max} + R_dA_{max} + R_d)} - R_dR_d$$

Waarin:

- $A_{ss}$  : bruto CO<sub>2</sub>-assimilatiesnelheid (μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)  
 $A_{max}$  : maximale netto CO<sub>2</sub>-assimilatiesnelheid bij (zeer) hoge lichtintensiteit (μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)  
 $R_d$  : 'dag' ademhaling (μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) (Let op: in deze formule heeft  $R_d$  een negatieve waarde!)  
 $e$  : initiële lichtbenuttingssnelheid (μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> / [μmol PAR m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>])  
 $R$  : fotosynthetisch actieve straling (PAR, μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)



**Figuur 31** De gemeten lichtresponscurves bij verschillende CO<sub>2</sub> niveaus (met standaardafwijkingen). Iedere curve is gebaseerd op 6 herhalingen.

Er is een variantieanalyse op  $A_{max}$ ,  $R_d$  en  $e$  toegepast, en met een Tukey test zijn de paarsgewijze significantie van de verschillen getoetst.

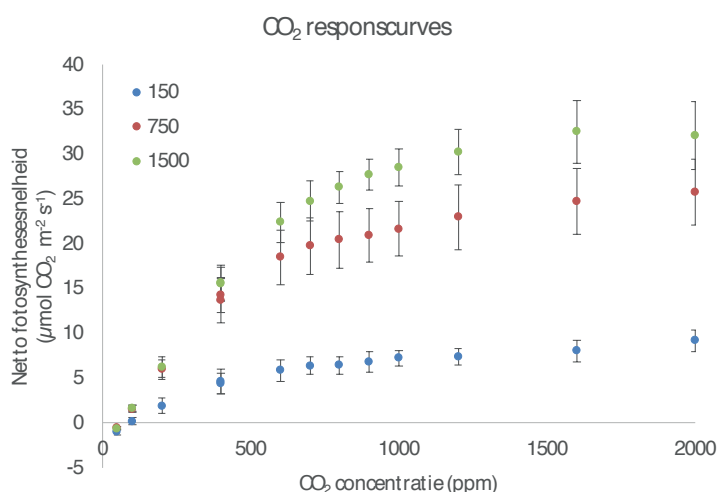
- Alleen de  $A_{max}$  toont een behandelingseffect, en de Tukey test wijst uit dat alleen de  $A_{max}$  bij 400 ppm CO<sub>2</sub> niveau significant verschilt van de waarden bij hogere CO<sub>2</sub> niveaus. De  $A_{max}$  waarden bij 800, 1200 en 1600 ppm verschillen niet significant van elkaar. Met andere woorden: boven 800 ppm CO<sub>2</sub> stijgt de  $A_{max}$  niet significant.
- De donkerademhaling  $R_d$  is voor alle CO<sub>2</sub> niveaus gelijk, wat ook te verwachten is. De gemiddelde waarde is 1.87 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>.
- Ook de initiële lichtbenuttingssnelheid  $e$  is voor alle CO<sub>2</sub> niveaus gelijk. De gemiddelde waarde is 0.62 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> / [μmol PAR m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>].

Tabel 2

Gemiddelde waarden en paarsgewijze significantie van de verschillen, van de karakteristieken van de lichtresponscurve.

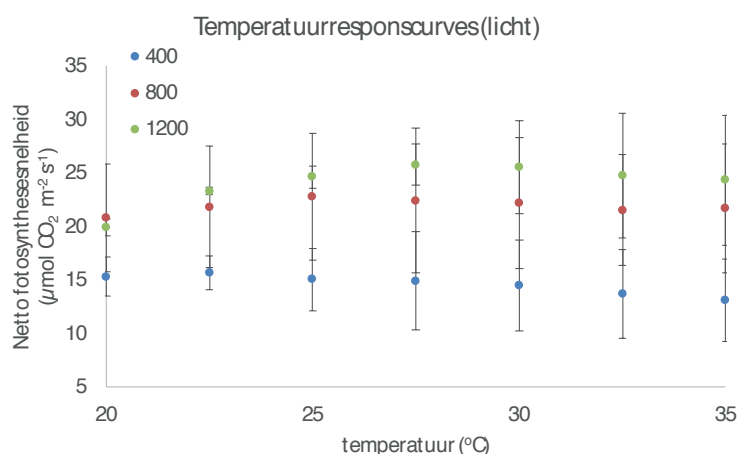
| CO <sub>2</sub> niveau | A <sub>max</sub>   | R <sub>d</sub> | e      |
|------------------------|--------------------|----------------|--------|
| 400                    | 14.06 <sup>a</sup> | 1.846          | 0.0758 |
| 800                    | 38.91 <sup>b</sup> | 2.022          | 0.0800 |
| 1200                   | 36.77 <sup>b</sup> | 1.667          | 0.0832 |
| 1600                   | 40.85 <sup>b</sup> | 1.936          | 0.0882 |
| Gem                    | 32.64              | 1.868          | 0.0818 |
| p-waarde               | <0.001             | 0.524          | 0.619  |

In Figuur 32 worden de fotosynthese CO<sub>2</sub>-responscurves bij verschillende lichtniveaus gegeven. De maximale fotosynthesesnelheid bij een hoge CO<sub>2</sub> concentratie varieert van ongeveer 8 tot 30  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , afhankelijk van het lichtniveau. Bij een hoger lichtniveau is de maximale fotosynthesesnelheid hoger. Deze curves zijn niet mathematisch beschreven omdat we de eventuele functieparameters niet kunnen toepassen en het globale inzicht al is verkregen. Overigens is de standaardafwijking van de metingen bij 750 en 1500  $[\mu\text{mol PAR m}^{-2} \text{ s}^{-1}]$  aan de hoge kant, wat erop duidt dat het meetprotocol nog kan worden verbeterd.

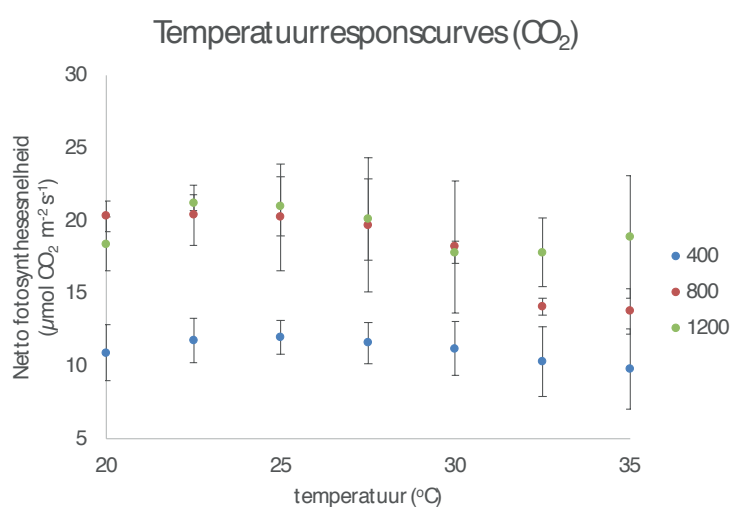


**Figuur 32** De gemeten CO<sub>2</sub>-responscurves bij verschillende lichtniveaus (met standaardafwijkingen). Iedere curve is gebaseerd op 7 herhalingen.

Het meten van het temperatureffect op de fotosynthese bleek aanvankelijk lastig vanwege de condensatie die optrad bij lage temperaturen. Door de stroomsnelheid van de lucht te optimaliseren konden uiteindelijk een aantal goede series waarnemingen worden verkregen. Na het weglaten van niet-acceptabele meetseries bleven er 3 tot 5 herhalingen per behandeling over (400  $\mu\text{mol PAR m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ : 4 herhalingen; 800 en 1200  $\mu\text{mol PAR m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ : 3 herhalingen; 400 ppm CO<sub>2</sub>: 5 herhalingen; 800 ppm CO<sub>2</sub>: 4 herhalingen; 1200 ppm CO<sub>2</sub>: 3 herhalingen). De standaardafwijkingen zijn mede hierdoor groot zodat de resultaten voorzichtig geïnterpreteerd moeten worden. Bij verschillende lichtniveaus vertoont de temperatuur een nagenoeg vlakke respons terwijl bij verschillende CO<sub>2</sub> niveaus het temperatuuroptimum rond 25°C ligt.



**Figuur 33** De gemeten temperatuurreponscurves bij verschillende lichtniveaus (met standaardafwijkingen).



**Figuur 34** De gemeten temperatuurreponscurves bij verschillende CO<sub>2</sub> niveaus (met standaardafwijkingen).

### Modelparameters

Het gewasgroeimodel maakt gebruik van het biochemische fotosynthesemodel van Farquhar *et al.* (Farquhar *et al.* 1980). Dit is een model waarbij de effecten van licht, CO<sub>2</sub> en temperatuur op een realistische wijze in rekenregels worden omschreven. Een belangrijk onderdeel van dit model zijn de parameters  $V_{C_{max}}$  en  $J_{max}$ , die respectievelijk de CO<sub>2</sub> en de lichtbeperking van de fotosynthese aangeven. De CO<sub>2</sub> beperking speelt een rol bij hoge lichtniveaus, en de lichtbeperking speelt een rol bij lage lichtniveaus. Het is mogelijk om deze parameters simultaan te schatten door gebruik te maken van de licht- en CO<sub>2</sub> responscurves (Qian *et al.* 2012). Deze schattingen zijn in Tabel 3 gegeven.

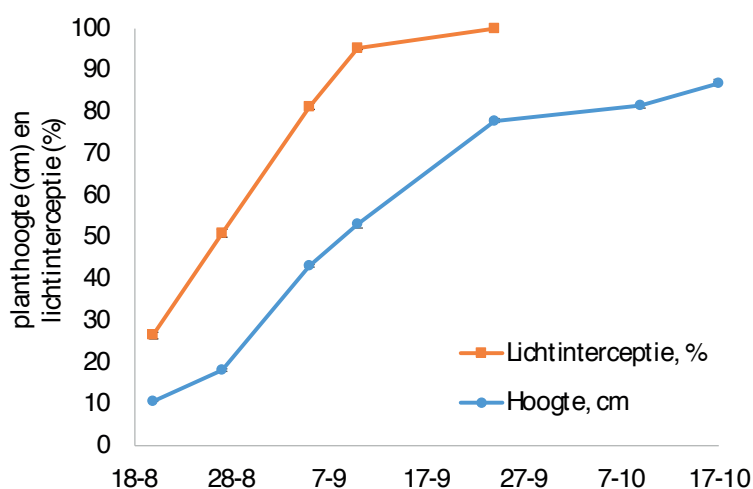
Tabel 3

Waarden van de belangrijkste parameters die in het Farquhar-von Caemmerer-Berry (FvCB) model voor fotosynthese worden gebruikt.

| Parameter   | Dimensie  | Betekenis   | Waarde |
|-------------|---|---|--------|
| $VC_{\max}$ | $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$            | Maximale carboxylatiesnelheid ('CO <sub>2</sub> beperking')   | 91.08  |
| $J_{\max}$  | $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$            | Maximale electrontransportsnelheid ('lichtbeperking')   | 183.52 |
| $a$         | $\text{mol e}^{-} \text{mol}^{-1} \text{foton}$ | Efficiëntie waarmee lichtenergie wordt omgezet  | 0.384  |
| $q$         | -   | Curvatuur van de lichtresponscurve van $J$ (waarbij $J$ = de electrontransportsnelheid bij een bepaald lichtniveau) | 0.107  |
| $R_d$       | $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$            | donkerademhaling  | 2.86   |
| $H_{dj}$    | $\text{J mol}^{-1}$                             | De-activeringsenergie voor $J_{\max}$   | 196078 |
| $H_{dc}$    | $\text{J mol}^{-1}$                             | De-activeringsenergie voor $VC_{\max}$  | 952471 |
| $H_{aj}$    | $\text{J mol}^{-1}$                             | Activeringsenergie voor $J_{\max}$  | 109491 |
| $H_{ac}$    | $\text{J mol}^{-1}$                             | Activeringsenergie voor $VC_{\max}$   | 98264  |

## Lichtonderschepping

Het verloop van de lichtonderschepping is in Figuur 35 weergegeven. De lichtonderschepping neemt in ongeveer een maand tijd toe van 26.5% naar 99.7%. Dit valt samen met een snelle toename van de gewashoogte van 11 naar 78 cm. Nog een maand later is de gewashoogte 87 cm.



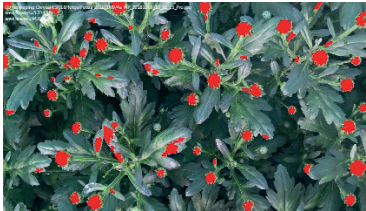

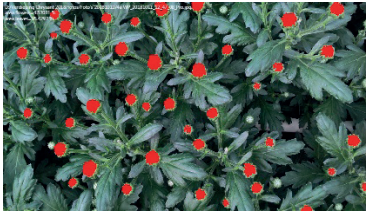
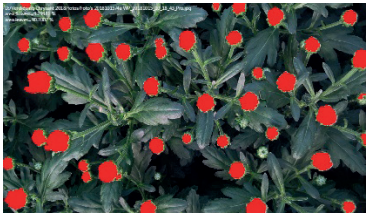
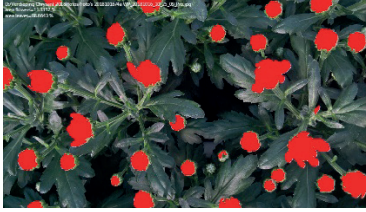
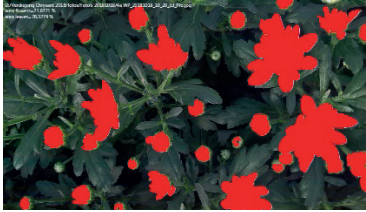



**Figuur 35** Lichtonderschepping en gewashoogte in de tijd.

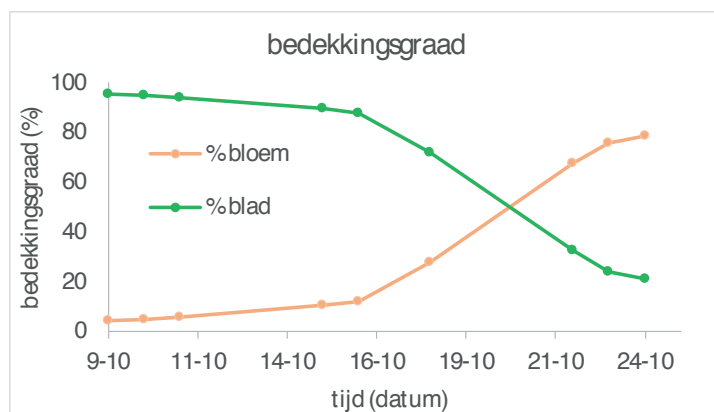
## Bedekkingsgraad van de bloemen

Per meetdatum is een voorbeeld van een bewerkte foto in Tabel 4 gegeven. De rode gedeelten zijn de pixels van de bloemen, waarvan de bedekkingsgraad is bepaald. Het verloop in de tijd is samengevat in Figuur 36.

Tabel 4

Voorbeelden van bewerkte foto's waarin de bloemen worden voorgesteld door rode pixels.

| Datum  | Bedekkingsgraad van de bloemen (%) | Bewerkte foto's   |  |
|--------|------------------------------------|---|--|
| 9-okt  | 4.6                                |    |    |
| 10-okt | 5.0                                |   |  |
| 11-okt | 5.8                                |    |    |
| 15-okt | 10.4                               |   |  |
| 16-okt | 12.2                               |   |   |
| 18-okt | 28.0                               |   |  |
| 22-okt | 67.5                               |  |  |
| 23-okt | 75.9                               |   |  |
| 24-okt | 78.7                               |  |  |



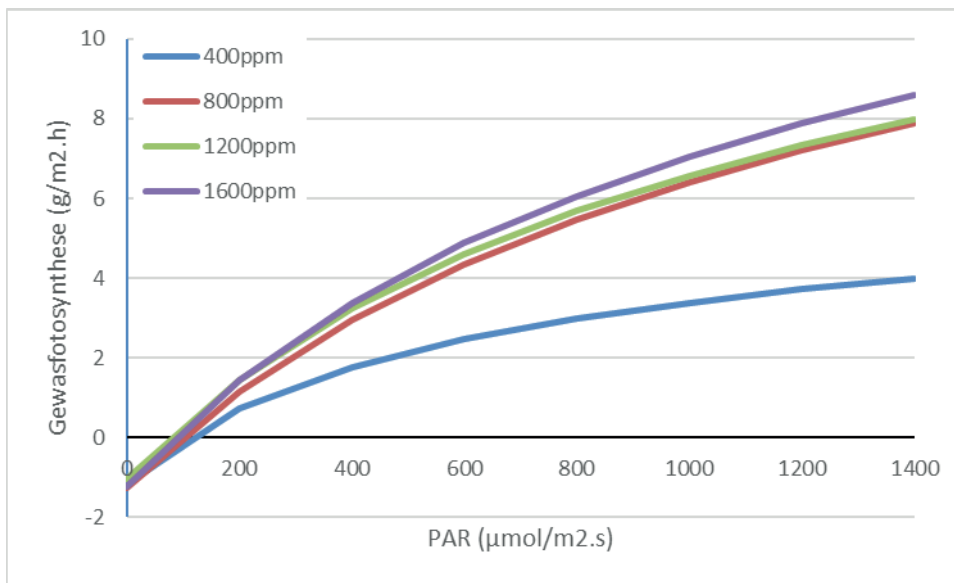
**Figuur 36** Verloop in de tijd van de bedekkingsgraad van bloemen en bladeren.



## Omrekening van bladfotosynthese naar gewasfotosynthese

Om bladfotosynthese om te rekenen naar gewasfotosynthese, moeten schattingen worden gemaakt van de hoeveelheid licht die tot iedere gewaslaag doordringt en dan voor ieder blad met het model van Goudriaan uit te rekenen hoe hoog de fotosynthese bij de beschikbare hoeveelheid licht is. De gewasfotosynthese is de som van de fotosynthese van alle bladeren. Deze schatting is in Figuur 37 gedaan voor een gewas met een LAI van  $4 \text{ m}^2/\text{m}^2$ . Hieruit valt op dat (evenals in Figuur 31) er een groot verschil in netto fotosynthese is te zien, tussen  $\text{CO}_2$ -concentraties van 400 en 800 ppm.

De maximale gewasopname van  $\text{CO}_2$  ligt rond  $8 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{uur})$



**Figuur 37** Schatting van de gewasfotosynthese als functie van de hoeveelheid PAR bij verschillende  $\text{CO}_2$ -concentraties bij gewas met een LAI van 4.

Bijlage 2 Grondmonsters

| Grondmonsters | EC   | pH  | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | K <sup>+</sup> | Na <sup>+</sup> | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | Si  | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Cl <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | P    | Fe   | Mn    | Zn  | B  | Cu  | Mo   |
|---------------|------|-----|------------------------------|----------------|-----------------|------------------|------------------|-----|------------------------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|------|------|-------|-----|----|-----|------|
| 5-3-2019      | 0.69 | 6.9 | < 0.1                        | 1.8            | 0.3             | 1.5              | 0.6              | 0.4 | 3.3                          | 0.2             | 0.7                           | 0.6                           | 0.5  | 6.7  | < 0.1 | 0.3 | 17 | 0.3 | 0.26 |
| 8-11-2018     | 0.86 | 6.8 | < 0.1                        | 2.8            | 0.3             | 1.9              | 0.7              | 0.5 | 4.9                          | 0.1             | 0.8                           | 0.6                           | 0.75 | 14.4 | < 0.1 | 0.7 | 22 | 0.4 | 0.24 |
| 14-9-2018     | 0.78 | 6.7 | < 0.1                        | 2.6            | 0.3             | 1.6              | 0.6              | 0.4 | 4.8                          | 0.1             | 0.7                           | 0.6                           | 0.6  | 8.6  | < 0.1 | 0.7 | 19 | 0.3 | 0.23 |
| 4-9-2018      | 0.88 | 6.7 | < 0.1                        | 2.7            | 0.3             | 2                | 0.8              | 0.5 | 4.9                          | 0.1             | 0.9                           | 0.7                           | 0.55 | 12   | < 0.1 | 1   | 24 | 0.3 | 0.26 |
| 4-7-2018      | 0.88 | 6.9 | < 0.1                        | 2              | 0.3             | 2.1              | 0.7              | 0.6 | 4.3                          | 0.1             | 0.7                           | 2                             | 0.5  | 11.6 | 10.5  | 2.7 | 26 | 0.7 | 0.91 |
| 14-6-2018     | 0.8  | 7.1 | 0.2                          | 2.4            | 0.4             | 2                | 0.6              | 0.6 | 2.3                          | 2.1             | 0.9                           | 0.6                           | 0.4  | 7.1  | 9.3   | 2.5 | 31 | 0.8 | 0.9  |
| 21-03-2018    | 0.97 | 7   | < 0.1                        | 1.8            | 0.5             | 3                | 0.7              | 0.5 | 5.1                          | 0.2             | 1.2                           | 0.8                           | 0.4  | 8.7  | < 0.1 | 1   | 27 | 0.4 | 0.38 |
| 19-01-2018    | 0.67 | 7.3 | < 0.1                        | 1              | 0.5             | 2.2              | 0.4              | 0.5 | 3                            | 0.2             | 0.8                           | 0.9                           | 0.35 | 7.8  | < 0.1 | 0.7 | 23 | 0.4 | 0.43 |
| 02-01-2018    | 0.73 | 7.3 | < 0.1                        | 1.1            | 0.5             | 2.4              | 0.4              | 0.4 | 3.6                          | 0.3             | 1.1                           | 0.6                           | 0.2  | 6    | < 0.1 | 0.5 | 23 | 0.4 | 0.38 |
| 20-11-2017    | 0.67 | 7.2 | < 0.1                        | 0.9            | 0.6             | 2.4              | 0.4              | 0.5 | 2.2                          | 0.3             | 1.2                           | 0.9                           | 0.25 | 7.8  | < 0.1 | 1   | 34 | 0.5 | 0.6  |
| 06-11-2017    | 0.74 | 7.4 | < 0.1                        | 0.7            | 0.8             | 2.7              | 0.4              | 0.4 | 2.2                          | 0.2             | 2                             | 0.9                           | 0.1  | 6.2  | < 0.1 | 1.3 | 29 | 0.5 | 0.56 |
| 23-10-2017    | 0.75 | 7.2 | < 0.1                        | 1.1            | 0.7             | 2.6              | 0.4              | 0.6 | 2.4                          | 0.3             | 1.7                           | 0.7                           | 0.25 | 6.5  | < 0.1 | 1.5 | 30 | 0.6 | 0.66 |
| 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  |



## Bijlage 3 Communicatie

Om de resultaten van dit project te delen met het bedrijfsleven, zijn aan het einde van vrijwel iedere teelt bijeenkomsten georganiseerd (grote BCO en inloopmiddag), nieuwsbrieven en artikelen geschreven, en is twee maal een rapport gemaakt (waarvan onderliggend rapport na teelt 9 is opgesteld). Dat is in onderstaande tabel weergegeven.

| Teeltnummer | Datum grote BCO | Nieuwsbrief LTO/KAE | Artikel vakgeluiden | Rapport |
|-------------|-----------------|---------------------|---------------------|---------|
| 1           | 19-apr-17       | x                   | x                   |         |
| 2           | 5-jul-17        | x                   | x                   |         |
| 3           |                 | x                   | x                   |         |
| 4           | 6-dec-17        | x                   | x                   | x       |
| 5           | 13-feb-18       | x                   | x                   |         |
| 6           | 16-mei-18       | x                   | x                   |         |
| 7           | 25-jul-18       | x                   | x                   |         |
| 8           | 24-okt-18       | x                   | x                   |         |
| 9           | 9-jan-19        | x                   | x                   | x       |



## Bijlage 4 Warmtebeelden 14 maart 2018

Op de nacht van 14 op 15 maart 2018 zijn warmtebeeldopnamen gemaakt van het jonge gewas, waarbij na een donkere avond om 24:00 uur de LED lampen hebben gebrand en na 3:00 uur alleen de SON-T lampen hebben gebrand.

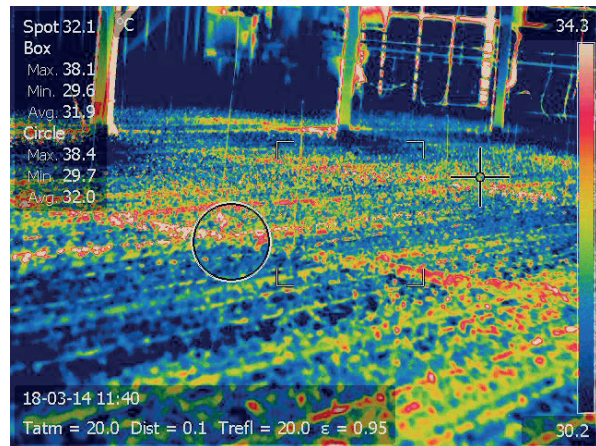
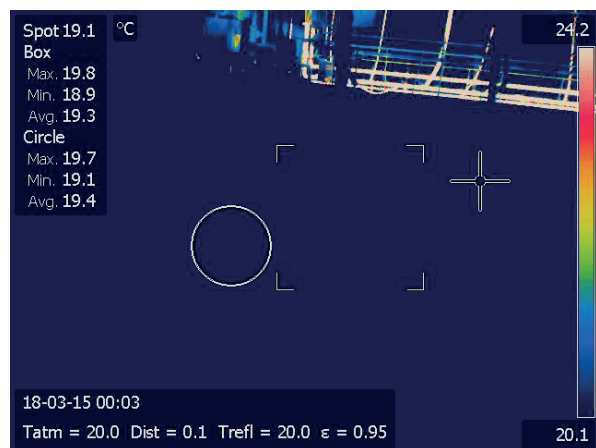
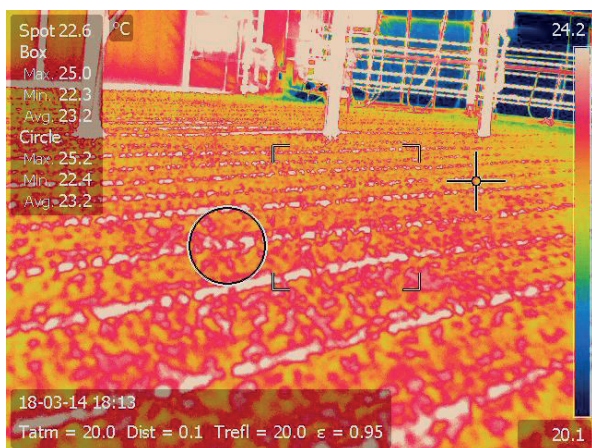
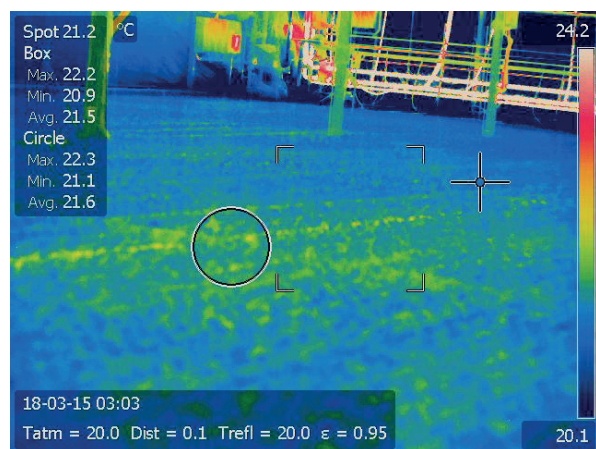
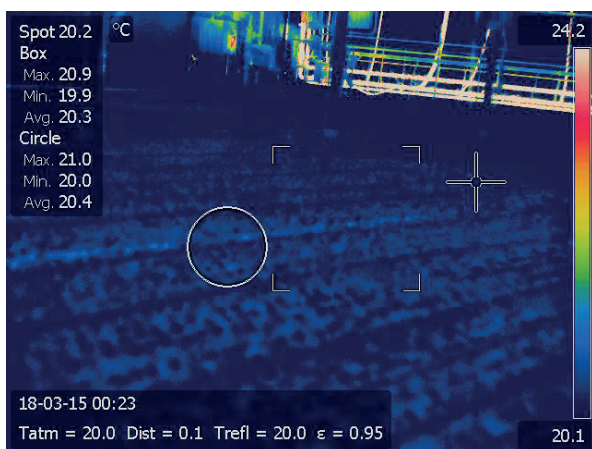


Foto en IR-opname (schaal tussen 30,2 en 34,3°C) overdag bij zonnig weer en verneveling in bedrijf. Gemiddelde temperatuur in rechthoek (box) is 31,9°C

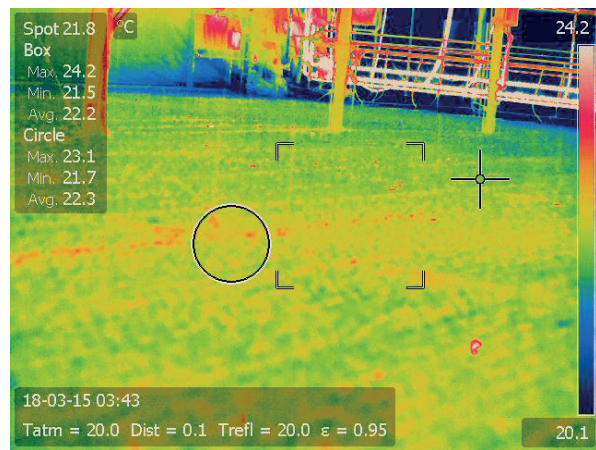
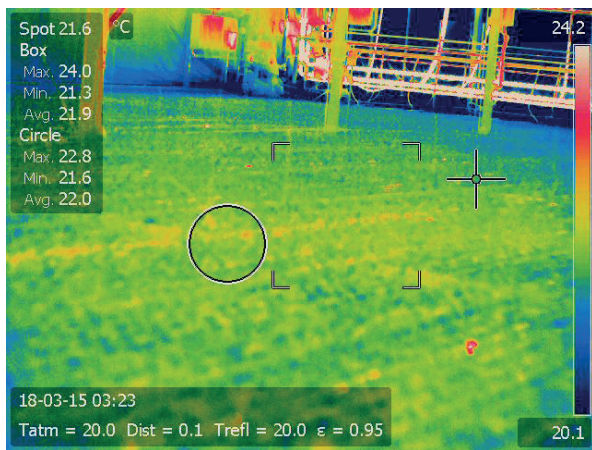


Schermen gesloten. IR opnamen bij start en einde van de nacht (schaal tussen 20,1 en 24,2°C). Gemiddelde temperatuur (box) daalt van 23,2 naar 19,3°C.

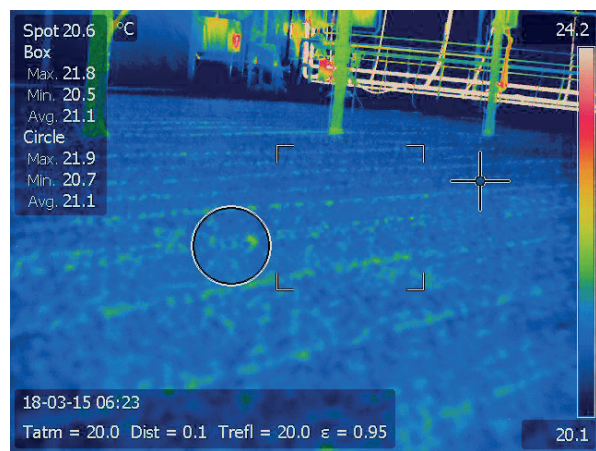
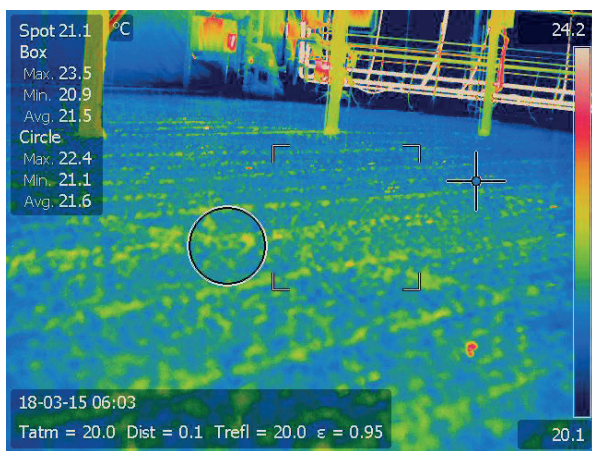


Start en einde van de LED belichting (schaal blijft tussen 20,1 en 24,2°C). Temperatuur box stijgt van 20,3 naar 21,5°C.

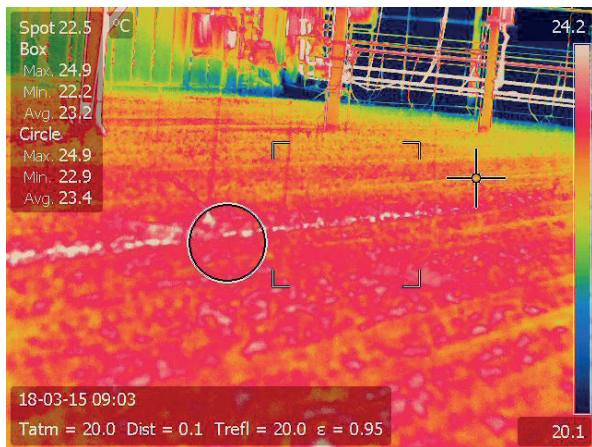




SON-T brandt in plaats van de LED. Box warmt op van 21.9 naar 22.2°C. Langs de gevel is het kouder. SON-T geeft blijkbaar in deze omstandigheden minstens 0,7°C hogere planttemperatuur dan LED.



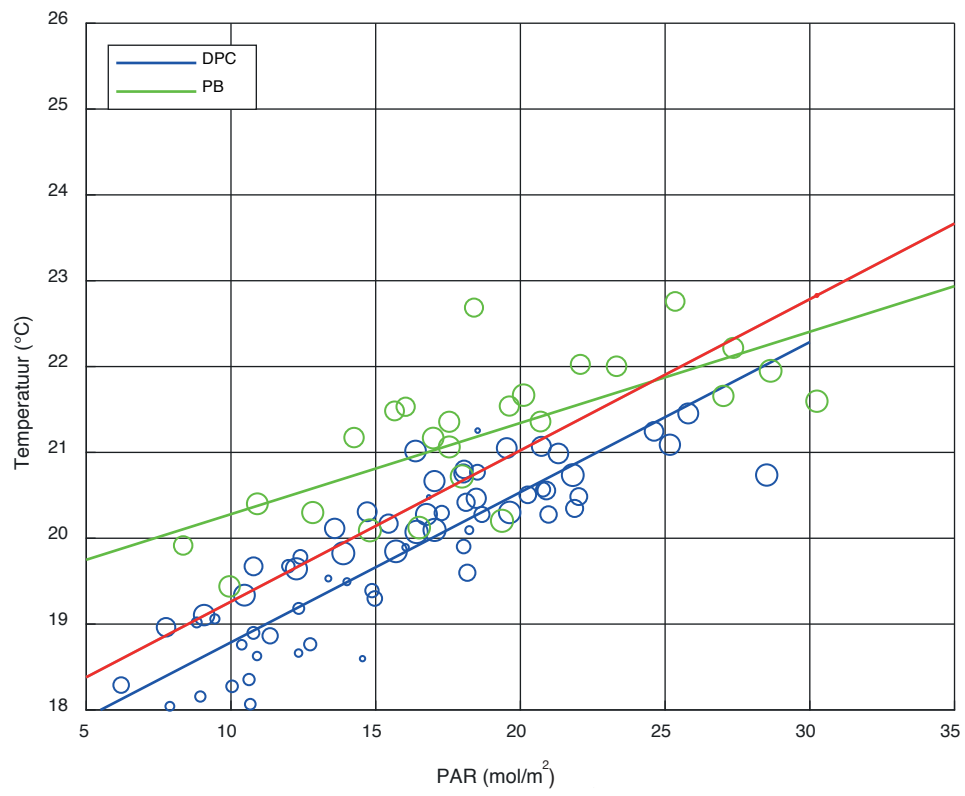
Tijdens het branden van de SON-T lampen daalt de verwarming van 50 naar 35 W/m<sup>2</sup>. Temperatuur (box) daalt weer naar 21,5°C. Na 20 minuten met LED daalt de temperatuur verder naar 21,1°C.

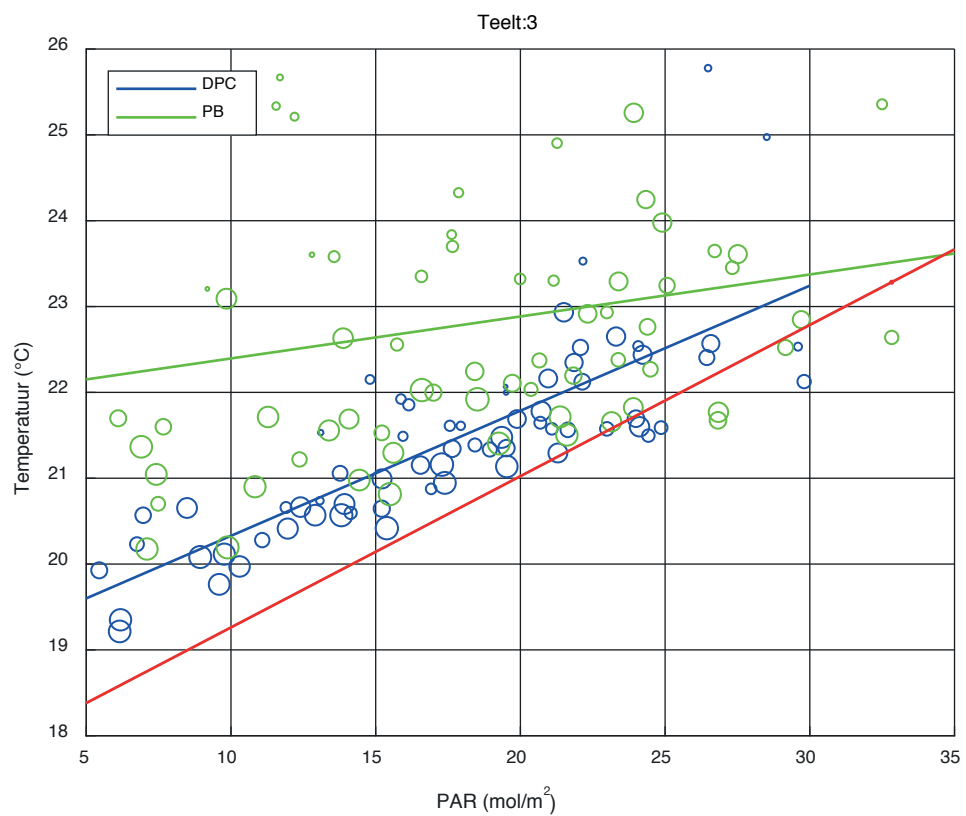
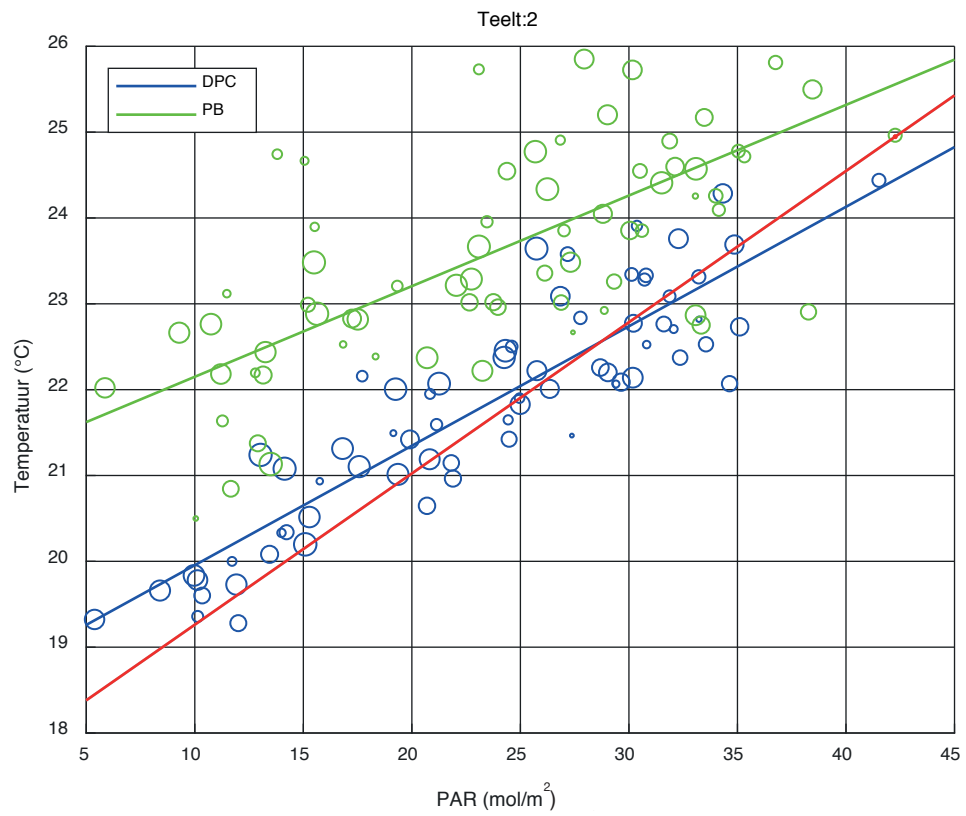


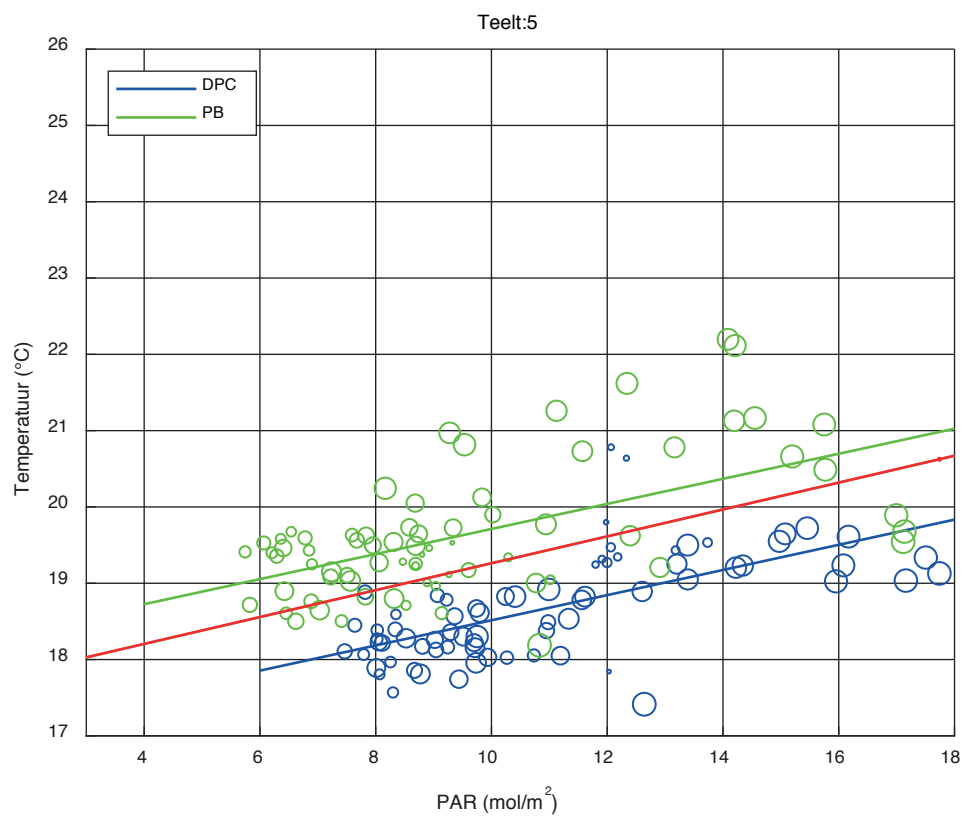
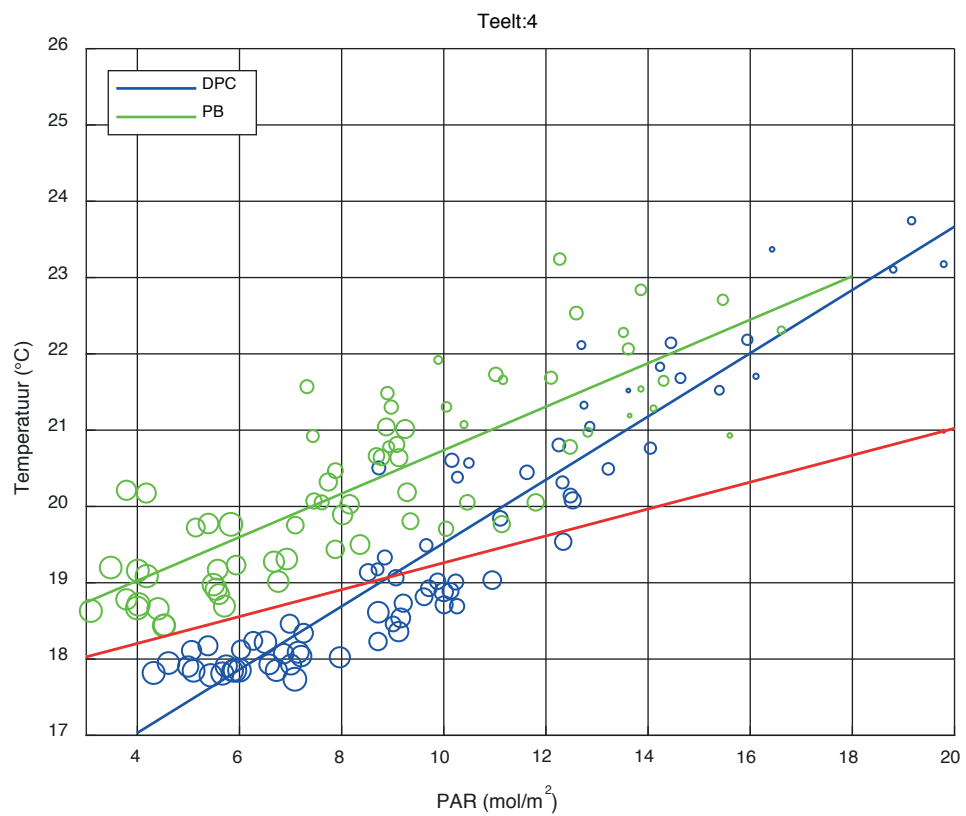
Met geopend verduisteringsdoek, gesloten energiescherm en daglicht stijgt de temperatuur weer naar 23,2°C.



## Bijlage 5 Verhouding temperatuur en PARsom









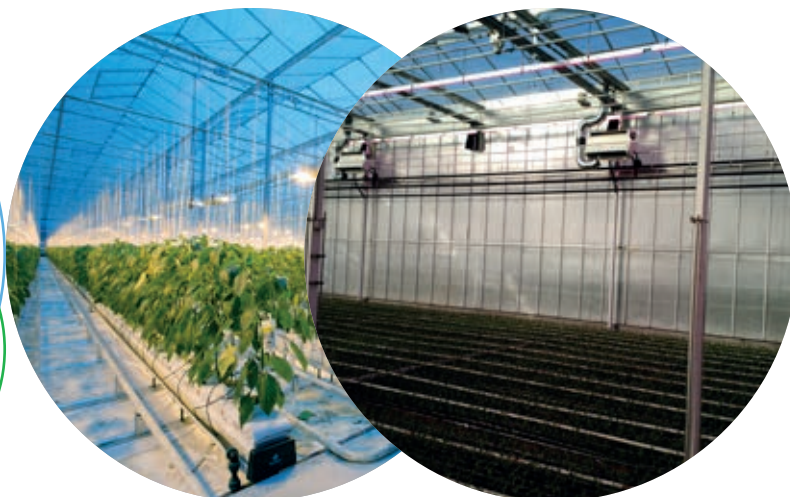








To explore  
the potential  
of nature to  
improve the  
quality of life



Wageningen University & Research,  
BU Glastuinbouw  
Postbus 20  
2665 ZG Bleiswijk  
Violierenweg 1  
2665 MV Bleiswijk  
T +31 (0)317 48 56 06  
[www.wur.nl/glastuinbouw](http://www.wur.nl/glastuinbouw)

Rapport WPR-939

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 12.000 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.