

Phalaenopsis duurzaam geteeld II

Deelrapport II: demonstratie energiezuinige opkweekfase in de kas



December 2023

M.W. Bongers, S.W. Hogewoning, L. Helmus-Schuddebeurs & P.J.M. van Beveren

Phalaenopsis duurzaam geteeld II

Deelrapport II: demonstratie energiezuinige opkweekfase in de kas

M.W. Bongers¹, S.W. Hogewoning¹, L. Helmus-Schuddebeurs² & P.J.M. van Beveren³

¹Plant Lighting B.V.

Doordraai 1

3981 PE Bunnik

info@plantlighting.nl

www.plantlighting.nl

²Delphy Improvement Centre B.V.

Violierenweg 3

2665 MV Bleiswijk

³B-Mex B.V.

Bronland 10

6708 WH Wageningen

REFERENTIE

M.W. Bongers, S.W. Hogewoning, L. Helmus-Schuddebeurs & P.J.M. van Beveren 2023. Phalaenopsis duurzaam geteeld II. Deelrapport II: demonstratie energiezuinige opkweekfase in de kas. Plant Lighting B.V., Bunnik. 67p.

Financiering en sponsoring:



Ministerie van Landbouw,
Natuur en Voedselkwaliteit



Stichting
Kennis in je Kas



© 2023 Plant Lighting B.V.

Dit rapport is tot stand gekomen in samenwerking met het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en Glastuinbouw Nederland in het kader van het programma Kas als Energiebron, ter stimulering van energiebesparende maatregelen in de tuinbouw. Het onderzoek is mede mogelijk gemaakt door bijdragen vanuit de gewascoöperatie Potorchidee, Signify, Sendot en Ludvig Svensson. De resultaten mogen vrij gebruikt worden, mits de bronnen worden vermeld.

Plant Lighting B.V. is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen als gevolg van gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Inhoudsopgave

DANKWOORD.....	7
1 INLEIDING	8
1.1 Energiebesparing in de Phalaenopsisteelt	8
1.2 Proef afgelopen seizoen (2021-2022).....	8
1.3 Doelstelling onderzoek 2022-2023.....	10
2 MATERIAAL EN METHODEN.....	12
2.1 Plantmateriaal en tijdljn proef	14
2.2 Teelt en watergift.....	14
2.3 Metingen.....	15
3 KLIMAATSTRATEGIE EN WATERGIFT KASPROEF	17
3.1 Kasklimaat en verwarming.....	17
3.2 Luchtvochtigheid.....	21
3.3 Slurven onder de open teelttafels.....	21
3.4 Schermgebruik	22
3.5 Licht en belichting	25
3.6 Waterbeurten.....	26
3.7 Netto straling en schermstand.....	27
4 RESULTAAT TEELT IN DE DEMOKAS.	29
4.1 Resultaat gewasgroei	29
4.2 Fotosynthese.....	34
4.3 Gewasgezondheid	38
5 ENERGIEBEREKENINGEN	39
5.1 Inleiding.....	39
5.2 Doorrekenen kasproef en aanvullende scenario's.....	42
5.3 Rekenen aan vocht.....	45
5.4 Meerlagenteelt.....	49
5.5 Conclusie en discussie energieberekeningen	59
6 CONCLUSIE EN DISCUSSIE	60
7 REFERENTIES	62
8 BIJLAGE.....	64
Bijlage I Plattegrond	64
Bijlage II voedingsschema.....	64
Bijlage III Fotosynthese	65
Bijlage IV Analyse verdamping	67

Samenvatting

De teelt van potorchidee Phalaenopsis staat voor een grote uitdaging om mee te kunnen in de transitie naar een energiezuinige en op termijn fossielvrije teelt. In dit project is in klimaatcellen van Plant Lighting onderzocht wat de effecten zijn van lichtspectrum en temperatuur in de warme opkweekfase (zie deelrapport I). In een demonstratieproef is een volgende stap gezet in het verlagen van de energievraag in de opkweek van Phalaenopsis. Daarnaast zijn modelmatige energieberekeningen gedaan om te bepalen of verdere energiebesparing mogelijk is door te telen in een meerlagensysteem.

Demonstratieproef

In de demonstratieproef is Phalaenopsis gedurende de volle 28 weken opgekweekt in een proefkas en zijn energiezuinige teelttechnieken zijn toegepast. Er is gebruik gemaakt van dimbare LED-belichting, intensief gebruik van vier schermen waaronder een isolerend aluminium scherm, toevoeging van ventilatieslurven onder de open teelttafels waardoor de minimumbuis achterwege kan blijven, en toevoeging van een dubbel groeinet om de bladeren gericht te verwarmen. De proef vond onder leiding van Plant Lighting plaats in een proefkas in het Delphy Improvement Centre.

Er is gestart in oktober 2022 met net opgepotte planten (0 weken) en geteeld tot half april 2023 (28 weken oud). Parallel is gestart met 13 weken oude planten in oktober tot eind januari (28 weken oud), waarna nogmaals gestart is met net opgepotte planten. Zo wordt informatie verkregen over de ontwikkeling van verschillende plantstadia gedurende de verschillende seizoenen van de teelt. Er was een vergelijkbare toename in drooggewicht bij de planten geteeld in het najaar (tot week 3/4) en in het voorjaar (tot week 16/20). In beide teelten verminderde het percentage gewicht in de scheut ten opzichte van het totale plantgewicht (scheut + wortel) van 59-62% voor de aangeleverde planten uit de praktijk naar 43-45% voor de planten geteeld in de proefkas. Dit laat zien dat er zowel in het voorjaar als in het najaar meer energie geïnvesteerd werd in de wortels dan in de scheut. De verschuiving naar relatief meer wortelgewicht gedurende de teelt in de proef was niet afhankelijk van de plantleeftijd. Het valt op valt op dat het relatief hoge wortelgewicht ook geldt voor de planten opgekweekt van week 05 tot 20, welke in een periode met een toenemend aandeel daglicht in de totale lichtsom zijn opgekweekt. Dus lichtspectrum (LED) lijkt niet of niet alleen bepalend te zijn voor de verschuiving in wortel-scheut verhouding.

Energieberekeningen

Met een energiebalansmodel is de teeltmethode in de demonstratieproef door B-Mex nagerekend voor een volledig jaar voor de situatie in een commerciële kas met enkel glas. Hiervoor is hetzelfde energiebalansmodel gebruikt als bij de energieberekeningen in een eerder onderzoek (2021-2022). Data van schermen en belichting zijn bepaald op basis van de instellingen en realisatie tijdens de demonstratieproef (2022-2023). Alle overige data (o.a. weerdata) zijn praktijkdata uit 2021.

De doorrekening van de demonstratieproef laat zien dat de energiebesparende maatregelen het totale energieverbruik hebben verlaagd naar 50.6 m³/m²/jaar, t.o.v. 72.7 m³/m²/jaar (aardgasequivalenten) berekend voor de praktijkreferentie met enkel glas en SON-T. Om te bepalen of het zinvol is om te zoeken naar manieren om de verdamping te beperken, is het energieverbruik ook met 30% minder verdamping doorgerekend. Uit de berekening blijkt dat hierdoor 8% energie op jaarbasis bespaard kan worden. Het is dus zeker zinvol om te onderzoeken of verdamping met teeltmaatregelen beperkt kan worden. Bijvoorbeeld door te telen bij een hogere luchtvochtigheid en/of een fijner substraat waardoor er minder vaak gegoten hoeft te worden. De besparing door toepassing van Geysir glas dat door een coating een lagere emissiviteit heeft, is ook berekend en bespaart op jaarbasis 9%.

Overgaan op een teeltsysteem met twee teeltlagen zonder actieve ontvochtiging reduceert de berekende totale energievraag tot 36.5 of 40.3 m³/m²/jaar aan aardgasequivalenten, gerekend met een lichtsom van respectievelijk 3.9 of 5.8 mol per m² teeltlaag per dag. De besparing per m² gewas is zonder actieve ontvochtiging zelfs minder groot bij vier teeltlagen dan bij twee teeltlagen, vanwege de toename aan verdamping waardoor meer geventileerd moet worden om vocht af te voeren. Actieve ontvochtiging met warmteterugwinning levert bij 1 teeltlaag al een berekende besparing op van 35% op jaarbasis. Bij 4 teeltlagen met actieve ontvochtiging is de berekende besparing ten opzichte van 1 teeltlaag zonder ontvochtiging 52% of 44%, gerekend met een lichtsom van respectievelijk 3.9 of 5.8 mol per m² teeltlaag per dag. De totale energievraag is dan 23.6 of 28.2 m³/m²/jaar aan aardgasequivalenten. Waarvan het aandeel elektriciteit voor ontvochtiging relatief groot is. Teelt in meerdere lagen kan dus zeker de volgende grote stap in energiebesparing zijn. Om deze stap te zetten is het belangrijk om te bepalen wat de minimale benodigde lichtsom is. Daarnaast moet bepaald worden hoe te telen zonder daglicht.

Dankwoord

Voor u ligt deelrapport II van project 'Phalaenopsis duurzaam geteeld II', waarin de demonstratie-kasproef gericht op een energiezuinige opkweek van Phalaenopsis staat beschreven en het energiegebruik in deze teelt wordt geanalyseerd. In het kader van ditzelfde project is ook Deelrapport I 'Effecten van lichtspectrum en temperatuur op groei en voortakken in de opkweekfase' uitgegeven, waarin de proeven in klimaatcellen van Plant Lighting zijn gerapporteerd. De demonstratieproef was in een proefkas van het Delphy Improvement Centre onder leiding van Plant Lighting. B-Mex heeft gerekend aan de consequenties van verschillende teelt- en technische maatregelen voor het energiegebruik.

Dit onderzoek is ondersteund door het programma 'Kas als Energiebron', gefinancierd door het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en Glastuinbouw Nederland, en door de gewascoöperatie potorchidee. De belichting is gesponsord door Signify, Ludvig Svensson heeft een bijdrage geleverd, en Sendot heeft sensoren beschikbaar gesteld.

We willen een aantal personen nog met name hartelijk bedanken voor hun bijdrage in de BCO: Erwin van Vliet (Levoplant), Henri Butterman (Pikoplant), Ruud Duijvestijn (Opti-flor), Marcel van Twist en Menno Gobelje (Anthura), Adrie Smits (Floricultura), Leontiene van Genuchten (Signify) en Paul Arkesteijn (Ludvig Svensson). Erwin Gräfe (Sendot) wordt bedankt voor het beschikbaar stellen van sensoren. Levoplant wordt tevens bedankt voor het leveren van de planten voor het onderzoek. Astrid van der Helm (Glastuinbouw Nederland) wordt bedankt voor het coördineren van de BCO's. Onderzoekspartner Delphy Improvement Centre wordt bedankt voor de prettige samenwerking. Als laatste willen we de onderzoekskoördinatoren Marjolijn van Valkenhoef, Dennis Medema en Robert Solleveld van het programma Kas als Energiebron bedanken voor hun steun bij de totstandkoming en uitvoering van dit project.

December 2023,

Sander Hogewoning

1 Inleiding

1.1 Energiebesparing in de Phalaenopsis-teelt

De teelt van potorchidee Phalaenopsis staat voor een grote uitdaging om mee te kunnen in de transitie naar een energiezuinige en op termijn fossielvrije teelt. Het is een belangrijk gewas met een areaal van tot voor kort >200 ha. Het is ook een energie-intensieve teelt. In de opkweekfase wordt gedurende 24-28 weken de kas verwarmd tot 29°C. Dat vraagt veel warmte, en elektra voor belichting (tot $\pm 100 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$). Voor de bloemtak-inductie ($\pm 19^\circ\text{C}$) en de daaropvolgende afkweekfase ($\pm 21^\circ\text{C}$) is er in een gedeelte van het jaar koeling nodig, wat eveneens veel elektra kost. In de koeling en afkweek zijn de belichtingsintensiteiten hoger dan in de opkweek. Het energieverbruik in Phalaenopsis in cijfers: warmte $\pm 55 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jaar}$; elektra belichting $\pm 160 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{jaar}$; elektra koude $\pm 130 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{jaar}$. De vraag naar elektra voor belichting neemt overigens af door vervanging van SON-T door LED-belichting. Afgelopen jaar is het areaal Phalaenopsis fors gekrompen vanwege de hoge energieprijzen in de winter van 2022-2023. Dit geeft eens te meer het belang aan van een energiezuinigere teeltmethode.

1.2 Proef afgelopen seizoen (2021-2022)

Afkweek onder LED in klimaatcellen onder gesimuleerde winterse omstandigheden

In het voorgaande project 'Phalaenopsis duurzaam geteeld' (2021-2022) is onderzoek gedaan naar mogelijkheden voor een energiezuinigere Phalaenopsis-teelt (Hogewoning *et al.*, 2022). In de eerste proef in klimaatcellen bleek dat met LED-belichting onder gesimuleerde winterse omstandigheden prima Phalaenopsis geteeld kan worden in de afkweekfase. In die proef zijn de effecten van belichting met LED RGB (88% rood, 5% groen, 7% blauw) met en zonder toevoeging van 10% verrood vergeleken. Toevoeging van 10% verrood verkortte de teeltduur met gemiddeld 1 à 2 dagen, met als uitschieter 4 à 5 dagen voor één van de acht cultivars. Op een totale proefduur van gemiddeld 84 dagen is dat verschil beperkt. Verrood leidde ook tot gemiddeld ruim 2 cm langere bloemtakken en had geen effect op uniformiteit. In beide behandelingen waren geen problemen met de kwaliteit. Op basis van deze resultaten en het feit dat er continu winterdaglicht is gegeven (1.5 mol/m²/dag daglichtsimulatie) op een totale lichtsom van 8 mol/m²/dag, zijn de effecten van verrood in de afkweekfase waarschijnlijk te klein om de extra benodigde investering en elektrakosten te rechtvaardigen. De daaropvolgende demonstratieproef is met een RGB-spectrum zonder verrood uitgevoerd.

Demonstratieproef in twee proefkassen

De demonstratieproef is uitgevoerd met 10 rassen in twee proefkassen bij Delphy Improvement Centre vanaf halverwege de opkweekfase (vanaf 14 weken na oppotten) tot en met de afkweekfase. In de ene kas stond een praktijkconforme referentieteelt met SON-T. In de tweede kas met full-LED belichting is energiezuiniger geteeld door maximaal op elektra

voor belichting te besparen, niet meer CO₂ te doseren dan nodig, en te besparen op warmte door de minimumbuis niet in te zetten (behalve op gietdagen) en intensiever te schermen. De nadruk lag in op elektrabesparing voor belichting:

- Energiezuinige LED (besparing 50% t.o.v. SON-T)
- Maximaal gebruik daglicht met PAR-Perfect screen
- Dimmen LED bij voldoende daglicht
- Afstemmen licht op de CAM-fase van de plant
 - Dimmen LED in CAM-fase II (eerste uren ochtend) en IV (middag)
 - Lichtintegratie in CAM-fase III
- Kortere daglengte gedurende laatste 8 weken opkweek (bevordering bloemtakuitloop)

Het afstemmen van licht op de CAM-fase van de plant is gebaseerd op onderzoek waaruit bleek dat *Phalaenopsis*-bladeren het licht in CAM-fase II en IV niet of niet efficiënt benutten voor assimilatie. Terwijl in CAM-fase III juist wel voldoende licht benodigd is om het CO₂ dat dan vrijkomt uit malaat te assimileren. Daarbij is een voldoende hoge lichtsom *binnen de tijdsduur van CAM-fase III* (maximaal 11 uur) benodigd, welke gerealiseerd mag worden door toepassing van lichtintegratie binnen die periode (Hogewoning *et al.*, 2021). De kortere daglengte gedurende de laatste 8 weken van de opkweekfase om bloemtakuitloop te bevorderen is gebaseerd op een recent onderzoek in klimaatcellen. De laatste 8 weken van de opkweek werd bij één behandeling de dag verkort (KD) tot 12 uur in plaats van 16 uur (Controle). Na de opkweekfase werden alle planten weer bij 16 uur daglengte gekoeld en afgekweekt. Door de korte-dag-behandeling steeg het gemiddeld aantal bloemtakken per plant iets (Trouwborst *et al.*, 2020).

Tussen de twee proefkassen waren er opvallende verschillen in de warme opkweekfase, welke alleen de tweede helft (opkweek 2) in de proefkassen plaatsvond. Na 14 weken opkweek in de proefkassen bleek de bladafplitsing gemiddeld ~10% trager in de LED-kas t.o.v. de referentieskas met SON-T. Het totale plantgewicht was gelijk, maar van planten uit de LED-kas was het bladgewicht lager en het wortelgewicht hoger. De bladeren waren in de LED-kas ook donkerder groen of roder (anthocyaan) en iets minder lang. Die verschillen zouden kunnen komen door de gemiddeld lagere planttemperatuur onder LED, of door het verschil in lichtspectrum, of een combinatie van die twee factoren. Om die vraag te beantwoorden is in klimaatcellen een gericht onderzoek uitgevoerd dat in deelrapport I beschreven staat (Boonman *et al.*, 2023). Uit dat onderzoek blijkt onder andere dat de temperatuur overdag een belangrijkere factor voor groei is dan lichtspectrum, dat een hoog percentage wit licht weinig effect heeft, en dat verrood iets langere bladeren, minder overbeworteling en een lichtere bladkleur geeft (althans bij de getoetste rassen). Na de opkweekfase zijn de planten gekoeld en afgekweekt. Het gewas in de energiebesparende kasafdeling ('LED-kas') heeft uiteindelijk wel goed gepresteerd: het aantal bloemtakken was hoog, en het aantal bloemtakken en bloemen verschilde niet significant van de referentie-afdeling. Waarbij opgemerkt dat de koelfase plaatsvond in een periode met relatief veel belichting ten opzichte van daglicht (week 52 tot week 07). Tijdens de afkweekfase (week 07 tot week 16-19) werd het aandeel daglicht

steeds groter, waardoor de verschillen in klimaat tussen de twee proefafdelingen kleiner werden. Dus het feit dat er geen verschil gemeten is in bloemtakkwaliteit, wil niet zeggen dat belichting met LED of SON-t daar geen invloed op kan hebben wanneer de afkweek midden in de winter zou vallen.

Energie

De teeltstrategie gedurende de warme opkweekperiode van 07 september tot 31 december 2021 is door B-Mex voor beide proefkassen modelmatig doorgerekend, wanneer die toegepast zou worden in een grote commerciële kas. De strategie in de demokas LED heeft het elektragebruik bijna gehalveerd. De berekende warmtevraag was voor de strategie in de LED-kas zelfs net iets lager ($22.6 \text{ m}^3/\text{m}^2$), vergeleken met de strategie in de referentie SON-t ($22.9 \text{ m}^3/\text{m}^2$), ondanks de lagere warmte-input via de belichting in de LED-kas. Dit geeft aan dat de warmte besparende strategie zijn vruchten heeft afgeworpen. Echter, een warmtevraag van $22.6 \text{ m}^3/\text{m}^2$ gedurende 16 weken warme opkweek is nog altijd hoog. Met scenarioanalyses zijn vervolgens verdere besparingsmogelijkheden voor een heel jaar teelt in de warme opkweekfase onderzocht, met als referentie de gegevens van een praktijkkas van Opti-flor. De berekende energiebesparing van een dubbel kasdek is in de orde van 25% t.o.v. enkel glas. Een 3^e schermdoek geeft 5% extra energiebesparing in geval van enkel glas. Een maximum-buistemperatuur van 40°C bespaart 10%, maar leidt in koude periodes ook tot een ongewenst lagere kastemperatuur. Een alternatief voor bovenaf gieten bespaart 6%. De combinatie van LED, een derde scherm en het beperken van de buistemperatuur geeft een forse energiebesparing tot 33%. Het zuinigste berekende scenario kwam uit op $49 \text{ m}^3/\text{m}^2$ berekende gas-equivalenten aan energie voor belichten en verwarmen over een heel jaar opkweek, waarvan ruim $44 \text{ m}^3/\text{m}^2$ voor verwarming. Dat is een forse besparing vergeleken met de berekende $73 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jaar}$ voor de praktijk-referentie enkel glas en SON-t. Maar nog altijd veel. In de zomer kan de warmtevraag wel makkelijker duurzaam ingevuld worden. Ook kan nog verder bespaard worden door te sturen op minder verdamping, waardoor minder vochtafvoer en verwarming nodig is ($\pm 3 \text{ m}^3$ gas).

1.3 Doelstelling onderzoek 2022-2023

Met dit project willen we een volgende stap maken richting een toekomstbestendige Phalaenopsis-teelt. De aandacht gaat daarbij nu uit naar alleen de warme opkweekfase, waar op dit moment de grootste uitdagingen liggen om fossielvrij te kunnen telen.

Het onderzoek heeft twee deelrapporten opgeleverd (voor u ligt deelrapport II).

In deelrapport I (Boonman *et al.*, 2023) staan de resultaten naar het onderzoek van de effecten van temperatuur en van lichtspectrum op groei, ontwikkeling en het ontstaan van voortakken in de warmte opkweekfase. Dit onderzoek is uitgevoerd in klimaatcellen waarin onder gesimuleerde winterse omstandigheden ($2.0 \text{ mol}/\text{m}^2/\text{dag}$ daglicht) Phalaenopsis gedurende 28 weken in verschillende proefbehandelingen is opgekweekt: vier kleurenspectra bijbelichting (hoog/laag aandeel wit licht beide met/zonder verrood) ieder bij twee verschillende

dagtemperaturen (27.5 en 30°C). Vervolgens is in een tweede proef het effect van dag- en nachttemperatuur op het ontstaan van voortakken verder uitgediept.

In deelrapport II (dit rapport) staan de resultaten van een demonstratieproef en rekenwerk aan energiezuinigere teelttechnieken. In de demonstratieproef is Phalaenopsis gedurende de volle 28 weken is opgekweekt en zijn energiezuinige teelttechnieken zijn toegepast. In oktober 2022 is gestart met net opgepotte planten (0 weken) tot half april 2023 (28 weken oud). Parallel is gestart met 13 weken oude planten in oktober tot eind januari (28 weken oud), waarna nogmaals gestart is met net opgepotte planten. Zo wordt informatie verkregen over de ontwikkeling van verschillende plantstadia gedurende de verschillende seizoenen van de teelt.

De doelstelling in deze demonstratieproef is om met zo min mogelijk energiegebruik een goede kwaliteit Phalaenopsis op te kweken. Vermindering van het energiegebruik wordt bewerkstelligd door de volgende maatregelen (zie meer details in hoofdstuk 2):

- Dimbare LED-belichting (evenals in LED-kas vorig seizoen)
- Intensief schermen met in totaal vier schermdoeken, waaronder een extra energiebesparend aluminium scherm.
- Toevoeging van ventilatieslurven onder de open teelttafels voor luchtbeweging, hierdoor kan de minimumbuis achterwege blijven en de pot voldoende snel drogen.
- Boven iedere tafel is een dubbel groeinet aangelegd met buizen van 32 mm om bij warmtevraag de bladeren gericht te verwarmen. Dit verhoogt tevens het verwarmingsoppervlak waardoor met lagere buistemperaturen geteeld kan worden.

Het rekenwerk heeft vier doelstellingen:

- Berekenen wat het energiegebruik van de demonstratieproef was omgerekend voor de situatie van een grotere commerciële kas met enkel glas.
- Berekenen van het effect van 30% minder verdamping op de warmtevraag.
- Berekenen van het effect Geysir-glas met lage emissie ('low-e') op de warmtevraag.
- Berekenen van het effect van meerdere teeltlagen op de elektra – en warmtevraag.

In de toekomst zal ook de resterende warmtevraag op een fossielvrije manier ingevuld moeten worden, zoals aardwarmte, warmte-koude -opslag (WKO), of restwarmte uit industrie. Of de volledige warmtevraag met WKO ingevuld kan worden, valt voor veel bedrijven nog te bezien. Vandaar dat ook de optie om in meerdere teeltlagen te telen ook doorgerekend wordt, als mogelijk alternatief voor de 'traditionele kasteelt'.

2 Materiaal en methoden

Van 07 oktober 2022 (week 40) tot 17 mei 2023 (week 20) is een demonstratieproef uitgevoerd met Phalaenopsis in de warme opkweekfase. De proefkas bij Delphy Improvement Centre in Bleiswijk heeft een bruto teeltoppervlakte van 150 m² (5 roltafels). Er is in week 40 gestart met planten direct na oppotten (0 weken oud) welke de volle 28 weken opgekweekt zijn tot in week 16. Na 15 (halverwege) en na 28 weken (einde opkweek) is de plantontwikkeling gemeten. Parallel is in week 41 gestart met 13 weken oude planten, deze zijn geteeld tot 28 weken oud en gemeten (week 04). Daarna is in week 05 opnieuw gestart met 0 weken oude planten welke tot week 20 geteeld zijn en gemeten (15 weken oud). Door deze opzet is het mogelijk om een vergelijking te maken van de planteigenschappen na een teelt van 0 tot 15 weken oud in najaar en voorjaar, en een teelt van 13/15 tot 28 weken oud in najaar en voorjaar.

Om energiebesparing te bewerkstelligen zijn een aantal aanpassingen gedaan ten opzichte van de teelt in 2021-2022 (zie Hogewoning *et al.*, 2022). Er is een 32mm groeibuis boven het gewas toegevoegd om efficiënter te verwarmen door de warmte dichter bij de plant in te brengen. Er wordt kaslucht gecirculeerd via slurven onder de tafel om voldoende afdroging te bevorderen (zie Foto 2) zonder inzet van een minimumbuis. Er is een 4^e schermdoek (aluminiumscherm) toegevoegd om het energieverlies via het kasdek verder te verminderen. Dit scherm ligt op hetzelfde dradenbed als het Harmony scherm. Verder is dezelfde teeltstrategie gehanteerd als in de energiebesparende demokas in vorig teeltseizoen.

De hoofdpunten van de klimaatstrategie en kasuitrusting zijn:

- Full-LED belichting met dimbare LED (nagemeten: R86%-G6%-B8%) van Signify.
- Intensiteit belichting maximaal 142 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR.
- Maximaal gebruik van daglicht:
 - Nauwkeurige regeling buitenlicht met een PARperfect scherm.
 - Niet meer belichten met de dimbare LED dan nodig om de nagestreefde PAR-som binnen CAM-fase III te behalen.
 - Daglengte 14 uur tot 18:00 uur en vanaf 6 februari iedere week 10 minuten later.
- Belichting afgestemd op CAM-fase (zie Tabel 1):
 - CAM-fase I donker.
 - CAM-fase II (begin dag) 1 uur 30 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$.
 - CAM-fase II-III (overgang) 1 uur 60 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$.
 - CAM-fase III tot 142 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ en lichtintegratie. Tot 19 oktober 2023 4.5 mol/m² en daarna 5 mol/m² binnen een tijdsduur van 9 uur vanaf start. Op 6 december is die tijdsduur aangepast naar 7.5 uur op basis van metingen.
 - CAM-fase III-IV (overgang 1.5 uur) ingevoerd vanaf 6 december: <85 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ daglicht bijbelichten tot aan 85 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (lamplicht + daglicht).
 - CAM-fase IV (laatste 3 uur dag) 2 uur lang bij <50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ daglicht bijbelichten tot aan 50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (lamplicht + daglicht). Daarna 1 uur lang bij <30 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ daglicht bijbelichten tot aan 30 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (lamplicht + daglicht).

Tabel 1 Belichtingsschema en maximale lichtintensiteit in de kas. De fase "overgang III-IV" is ingevoerd na 6 december 2022, tot die tijd liep fase III door tot 15:00 uur. Vanaf 6 februari 2023 zijn de tijden elke week 10 minuten verschoven vanwege de natuurlijke daglengte.

CAM-fase	Tijd van	Tijd tot	Uren fase	Max intensiteit belichting ($\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$)	Max intensiteit belichting + buitenlicht ($\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$)
I	18:00	4:00	10	0	0
II	4:00	5:00	1	30	0
Overgang II -III	5:00	6:00	1	60	0
III	6:00	13:30	7.5	142	200
Overgang III -IV	13:30	15:00	1.5	85	200
IV (1)	15:00	17:00	2	50	200
IV (2)	17:00	18:00	1	30	150

Tabel 2 Schema van de CO₂ dosering en RV regeling. De fase "overgang III-IV" is ingevoerd na 6 december 2022, tot die tijd liep fase III door tot 15:00 uur. Vanaf 03 januari is de minimum RV verhoogt in fase I, II en IV van 60 naar 70%. Vanaf 6 februari zijn de tijden elke week 10 minuten verschoven vanwege de natuurlijke daglengte.

CAM-fase	Tijd van	Tijd tot	Uren fase	CO ₂ (ppm)	RV tot 03 januari	RV na 03 januari
I	18:00	4:00	10	800	60-75%	70-75%
II	4:00	5:00	1	800	60-75%	70-75%
Overgang II -III	5:00	6:00	1	uit	50-75%	50-75%
III	6:00	13:30	7.5	uit	50-75%	50-75%
Overgang III -IV	13:30	15:00	1.5	700	60-75%	70-75%
IV (1)	15:00	17:00	2	800	60-75%	70-75%
IV (2)	17:00	18:00	1	800	60-75%	70-75%

- Op 15 maart 2023 is gekrijt met een dun laagje Redufuse IR (Redu-Systems). Hierdoor werd de lichttransmissie verlaagd met 16%.
- Er zijn 4 schermen geïnstalleerd op 3 dradenbedden. Hierbij is het aluminium scherm toegevoegd t.o.v. vorig teeltseizoen om verdere energiebesparing te bewerkstelligen (zie details in hoofdstuk 3.4).
 - Bovenste dradenbed: Verduisteringsscherm (10070 FR WB+B)
 - Middelste dradenbed: Energiescherm (Luxous 1147 FR)
 - Onderste dradenbed: Diffuus scherm (Harmony PAR perfect 2047 FR) & Aluminium scherm
- Ventilatieslurven onder de tafels. Om de minimumbuis achterwege te laten maar wel voor voldoende afdroging te zorgen zijn ventilatoren met luchtslurven onder de tafels geïnstalleerd.

De start van CAM-fase III & IV zijn gemeten met chlorofyl fluorescentie sensoren (Sendot) en gecontroleerd met fotosynthesemetingen met een LI-6800F (LI-COR). Op basis daarvan zijn gedurende de teelt de momenten van schermen, dimmen belichting, vochtregeling en CO₂ dosering bepaald en soms aangepast (zie Tabel 1 en Tabel 2).

- CO₂ is niet overdag gedurende CAM-fase III gedoseerd. Niets doseren in CAM-fase III reduceert CO₂ dosering sterk, want fase III valt overdag en dan wordt juist soms gelucht.
- Tijdens CAM-fase III is 50-75% RV geaccepteerd. De overige CAM-fases is 60-75% RV en vanaf 3 januari 70-75% RV aangehouden en regelmatig verneveld om dat te bereiken. Tot de hogere minimum RV is besloten, omdat het gewas ogenschijnlijk compact bleef en 'dof'. Begeleidende telers hadden de indruk dat het gewas beter groeide na de aanpassing.

2.1 Plantmateriaal en tijdlijn proef

De volgende cultivars zijn geteeld; Leeds, Stellenbosch, Cambridge (alle drie van Anthura), en Elastic Love, Miraflore, en Freeride, (alle drie van Floricultura). Deze cultivars zijn dezelfde als in eerdere proeven om vergelijking mogelijk te maken. De belangrijkste gebeurtenissen zijn weergegeven in Tabel 3. In week 40 (2022) zijn planten bij Levoplant opgepot in 12 cm potten met bark en voorraadbemesting en verdeeld over iets meer dan de helft van de oppervlakte van de proefkas met een dichtheid van 82 planten/m². Deze planten zijn in week 05 op ruimte gezet naar 61 planten/m². In week 28 (2022) zijn ook planten opgepot bij Levoplant, gedurende 13 weken opgekweekt bij Levoplant en in week 41 met 13 weken plantleeftijd in de andere helft van de proefkas geplaatst. Om invlieg van potwormmuggen te voorkomen zijn de bij Levoplant potten afgedekt tot verplaatsing naar de proefkas. Deze planten zijn geplaatst in een dichtheid van 61 planten/m² en in week 4 geogst (28 weken oud). In week 05 zijn nieuwe planten opgepot en geplaatst in de proefkas met een dichtheid van 82 planten/m². Zie de plattegrond van de startsituatie in de kas in Bijlage I.

Tabel 3 Tijdlijn proef

Jaar	Week	Gebeurtenis
2022	40	Start 0 weken oude planten
2022	41	Start 13 weken oude planten
2022	42	Markeren jongste bladeren van enige cm's voor latere meting bladafplitsing
2022	44	Ventilatieslurven onder tafel geïnstalleerd
2022	45	Chlorofyl-fluorescentie sensoren (Sendot) geplaatst 13 weken oude planten
2022	46	Chlorofyl-fluorescentie sensoren (Sendot) geplaatst 0 weken oude planten
2023	3	Oogst 15 weken oude planten (start 0 weken oud)
2023	4	Oogst 28 weken oude planten (start 13 weken oud)
2023	5	Nieuwe 0 weken oude planten in kas (2 ^e teelt)
2023	5	17 weken oude planten op ruimte gezet (60 planten/m ²)
2023	7	Markeren jongste bladeren van enige cm's voor latere meting bladafplitsing
2023	16	Oogst 28 weken oude planten (start 0 weken)
2023	20	Oogst 15 weken oude planten (start 0 weken 2 ^e teelt)

2.2 Teelt en watergift

In beide kassen is met een regenleiding gegoten als de pot droog werd, gemiddeld om de 5 dagen. Er werd vrijwel altijd aan het begin van de werkdag (rond 7:00 uur in de ochtend) gegoten. Hierbij werd het advies gevolgd van de telers van de begeleidingscommissie. Met

behulp van planten op twee loadcellen werd gecontroleerd dat bij een vergelijkbaar potgewicht gegoten werd (Foto 1). Er werd gegoten met 10 L/m², 8 L voedingsoplossing (zie Bijlage II) en nagegoten met 2 L schoon water. Vanaf week 45 is dit verhoogd naar 14 L/m² (12 L voeding + 2 L schoon water). Omdat er 2 plantleeftijden in de afdeling stonden is er een aantal keren tijdens de teelt handmatig extra gegoten bij de grotere planten. De EC-gift was stabiel: 1.0 – 1.2 mS/cm, en deze waarden waren identiek voor de EC-drain. De pH-gift lag tussen de 5.6 en 5.8 en van de drain tussen de pH 4.2 en 4.9. Meer details over het aantal gietbeurten en gegoten liters/m² staan in hoofdstuk 3.6.

Er werd een uitvloeier (Motto-BASF) meegegeven voor een goede afdroging. Dit toonde echter wat residu strepen op de bladeren, waardoor vanaf maart bij voldoende instraling geen uitvloeier meer is meegegeven.

Voortakken zijn tijdens de proef weggeknipt en geregistreerd (aan randtafels vooral). Planten die uitvielen, bijvoorbeeld door fusarium, zijn verwijderd en geregistreerd.



Foto 1 Loadcell met 10 potten waarmee de afdroging van de potten werd gemonitord.

2.3 Metingen

De volgende metingen zijn uitgevoerd:

- Fotosynthese: Patroon verschillende CAM-fases met chlorofyl-fluorescentie en gasuitwisseling. Daarbij zijn de meetwaarden van de puntmetingen ('fotosynthesemeter' van Sendot) vergeleken met geavanceerde fotosynthese-meetapparatuur (LI-6400/6800 van LI-COR). Metingen zijn uitgevoerd aan de cultivars Cambridge en Stellenbosch van zowel de jongere planten (opkweek 1) als de oudere planten (opkweek 2).
- Van elke planting is bij de start aan 10 planten per cultivar het aantal bladeren en het vers- en drooggewicht van bladeren en wortels gemeten.
- Voortakken tijdens de opkweek zijn gescoord.
- Uitval door bijvoorbeeld Fusarium is bijgehouden
- Het aantal potworm-muggen op vangkaarten in twee UV-vanglampen is wekelijks geteld.
- Netto-straling (NR Lite 2 Kipp & Zonen) is gemeten bij verschillende schermstanden om het effect op energiebesparing te bepalen.

Na 15 (halfwas opkweek) en 28 weken opkweek zijn de volgende aspecten gemeten:

- Versgewicht en drooggewicht (4x12 planten per cultivar):
 - Scheut
 - Wortel (voorzichtig van de bark gescheiden)

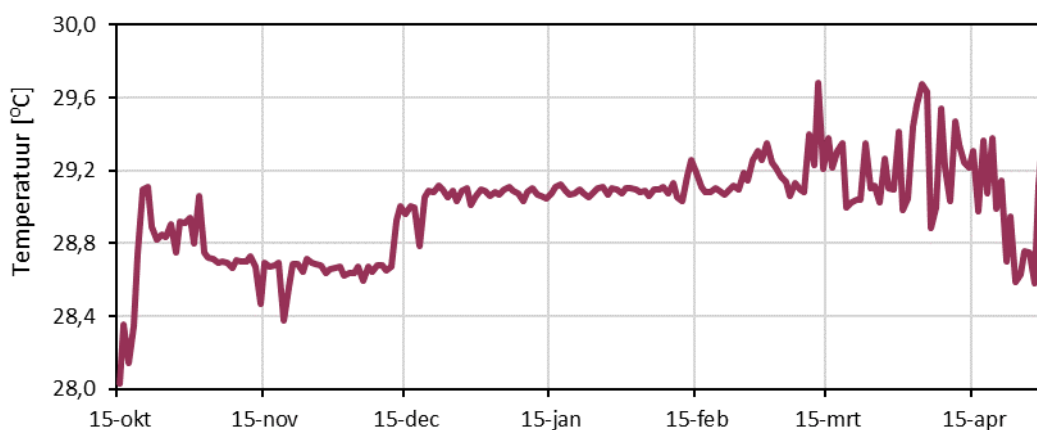
- Overgroei wortels (bij cultivars Elastic love, Miraflore, Cambridge)
- Aantal bladeren (4x12 planten); jonge bladeren waren kort na planting gemarkeerd.
- Foto's planten.
- Bladlengte aan het jongste volgroeide blad van 28 weken oude planten (12 per cultivar).

3 Klimaatstrategie en watergift kasproef

3.1 Kasklimaat en verwarming

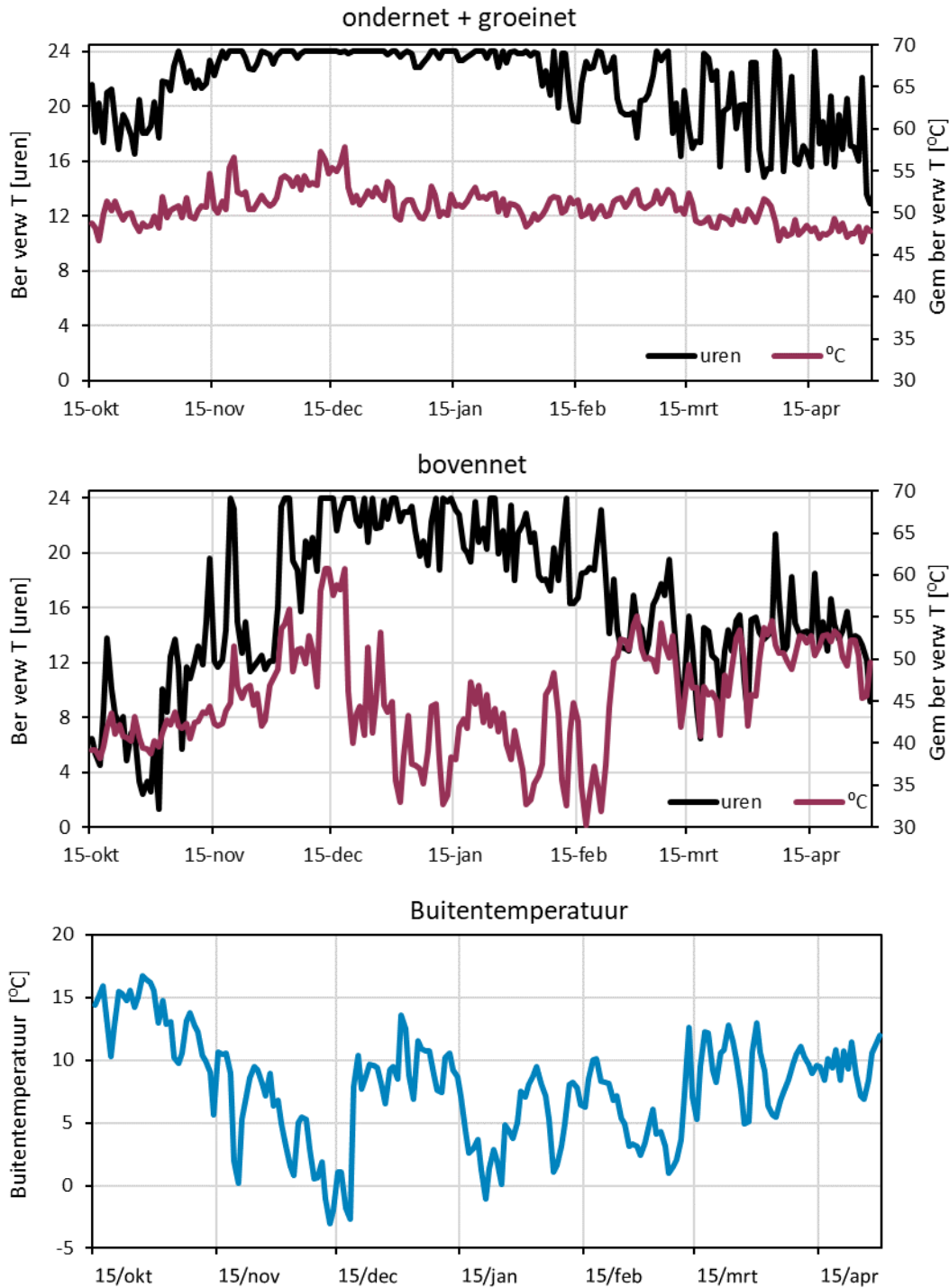
Naar aanleiding van de proef in 2021-22 (zie Hogewoning *et al.* 2022) is een aanpassing gedaan in het verwarmingssysteem, waarbij 70cm boven de potten groeibuizen zijn geplaatst (Foto 2). De hypothese voor het inbrengen van de groeibuizen was het verhogen van de planttemperatuur om zo de uitgroei van de bladeren te bevorderen.

Het uitgangspunt van het kasklimaat was een streefemaal van 28.5 °C. Waarbij de stooktemperatuur in CAM-fase I en II was ingesteld op 28 °C en in CAM-fase III en IV op 29 °C. Vanwege het feit dat er een kleine temperatuurgradiënt in ontstond richting de gevels bij lagere buitentemperaturen, is vanaf half december de nachttemperatuur iets verhoogd, waarmee de etmaaltemperatuur rond de 29 °C uitkwam (Figuur 1).



Figuur 1 verloop van de kasttemperatuur gedurende de teelt (seizoen 2022-2023).

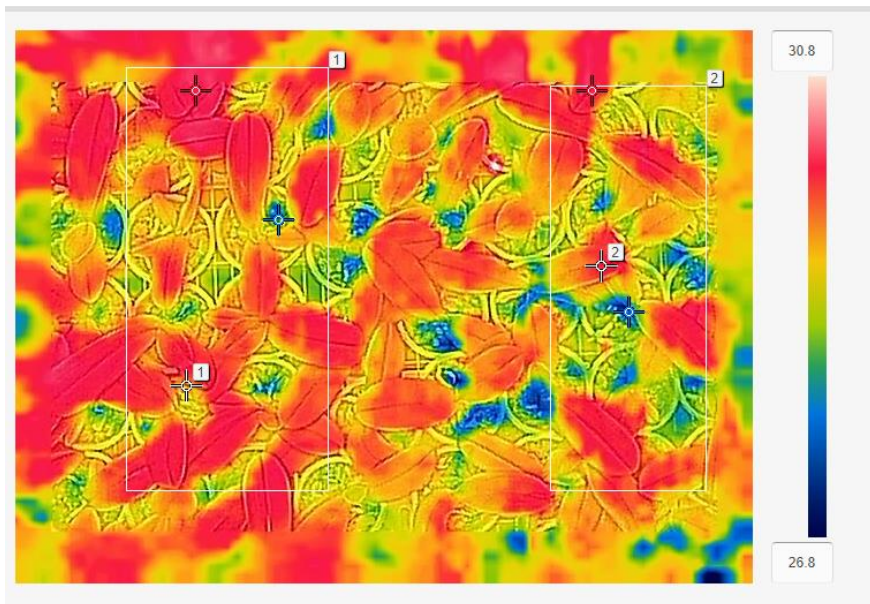
Binnen de uitgangspunten van een energiezuinige teelt wordt er alleen gebruik gemaakt van het verwarmingsnet op de momenten dat dit nodig is om de stooktemperatuur te realiseren. Het groeinet (70 cm boven de potten) was gekoppeld aan het ondernet en werd als eerste ingezet bij warmtevraag, zodat de warmte dicht bij het gewas werd ingebracht. De buistemperatuur was oorspronkelijk maximaal ingesteld op 45 °C, maar dit bleek toch onvoldoende om de gewenste kasttemperatuur te realiseren. Wanneer de temperatuur met groei/ondernet niet werd gerealiseerd, werd het bovennet bijgeschakeld. Figuur 2 toont het aantal uren inzet van de verwarming en de gemiddelde temperatuur waarmee is verwarmd. Ondanks de intensieve isolatie (zie 3.4 schermgebruik) blijft er een forse behoefte aan warmte om de gewenste kasttemperatuur te kunnen realiseren. Ook in de maanden met een minder lage buitentemperatuur.



Figuur 2 Berekend aantal uren per dag dat verwarmingsbuizen warmtetoever kregen en de gemiddelde temperatuur bij berekende warmtevraag voor het ondernet en groeinet (boven) en het bovennet (midden), en de gemiddelde buitentemperatuur (onder)

Op 4 november is een foto genomen met een warmtebeeldcamera om een indruk te krijgen van de warmteverdeling op de tafel. Aangezien er weinig verschil te zien was in bladtemperatuur midden op de tafel en recht onder de verwarmingsbuis, kon de buis lager geplaatst worden. Om te bepalen wat de beste hoogte is zonder dat er een hotspot onder de buis ontstaat is de beste hoogte berekend. Hierbij is de hoeveelheid instraling berekend op

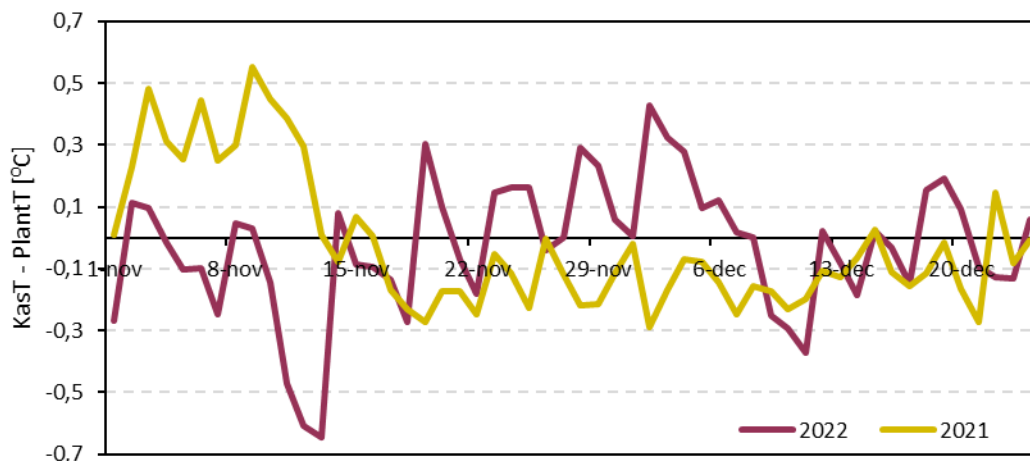
elke 10 cm. De intensiteit van warmtestraling op een punt (x) is de som van de instraling van alle buizen berekend met I/d^2 (I =intensiteit d =afstand tot de buis). Door de intensiteit op de pot op elke 10 cm te berekenen is een kaart gemaakt van de warmteverdeling over de breedte van de kas. Op basis hiervan is bepaald dat 70 cm hoogte vanaf bovenkant pot de beste warmteverdeling opleverde.



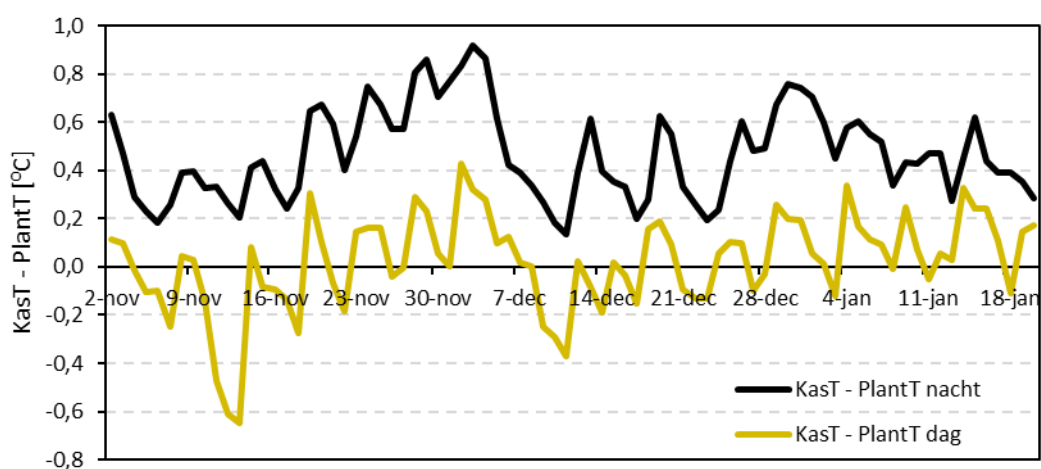
Figuur 3 Warmtebeeldopname. Vak 1 is het midden van de tafel, gemiddelde temperatuur = 29.4°C, Vak 2 is recht onder een verwarmingsbuis, gemiddelde temperatuur = 29.2°C.

Om de invloed van de groeibuis op de planttemperatuur vast te stellen is er gekeken naar het verschil tussen de kastemperatuur en de planttemperatuur en is er tevens een vergelijk gemaakt met het gerealiseerde patroon in 2021-22. Figuur 4 toont het verloop van het verschil kastemperatuur en planttemperatuur tussen de winter van 2021 (geen groeibuis boven gewas) en de winter van 2022 (wel een groeibuis). Uit de figuur is geen duidelijke trend te halen over de invloed van de groeibuis op de planttemperatuur. Juist de fase met de meeste input vanuit de groeibuis (laatste 2 weken van december), is er geen verschil met exact een jaar eerder.

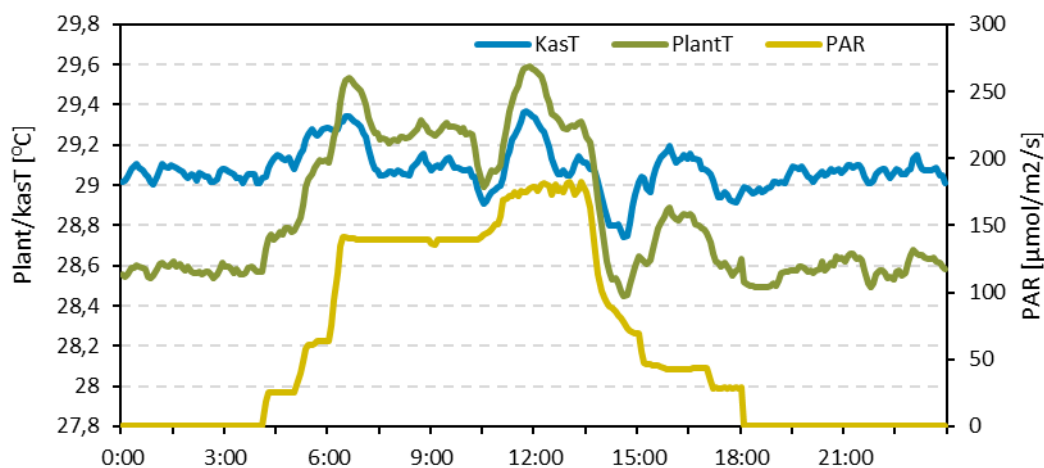
Figuur 5 toont het verschil per dag tussen de gemiddelde kas- en planttemperatuur gedurende de dag (inclusief belichte nacht) en de nacht van begin november tot eind januari. In deze fase van de teelt de instraling van daglicht minimaal. Te zien is dat de planttemperatuur 's nachts ongeveer een halve graad onder de kastemperatuur ligt en dat overdag de planttemperatuur dicht bij de kastemperatuur ligt. In Figuur 6 is het cyclisch gemiddelde temperatuurverloop over de dag te zien over de periode begin november tot half januari. Vanaf het moment dat de belichting wordt ingeschakeld en kort daarna ook de huidmondjes sluiten (CAM-fase III) is een stijging van de planttemperatuur zichtbaar tot iets boven de kastemperatuur. Rond 14:00 uur (start CAM-fase IV) zakt de planttemperatuur weer onder de kastemperatuur.



Figuur 4 Verschil tussen de kasttemperatuur en planttemperatuur voor november en december in 2021 en 2022.



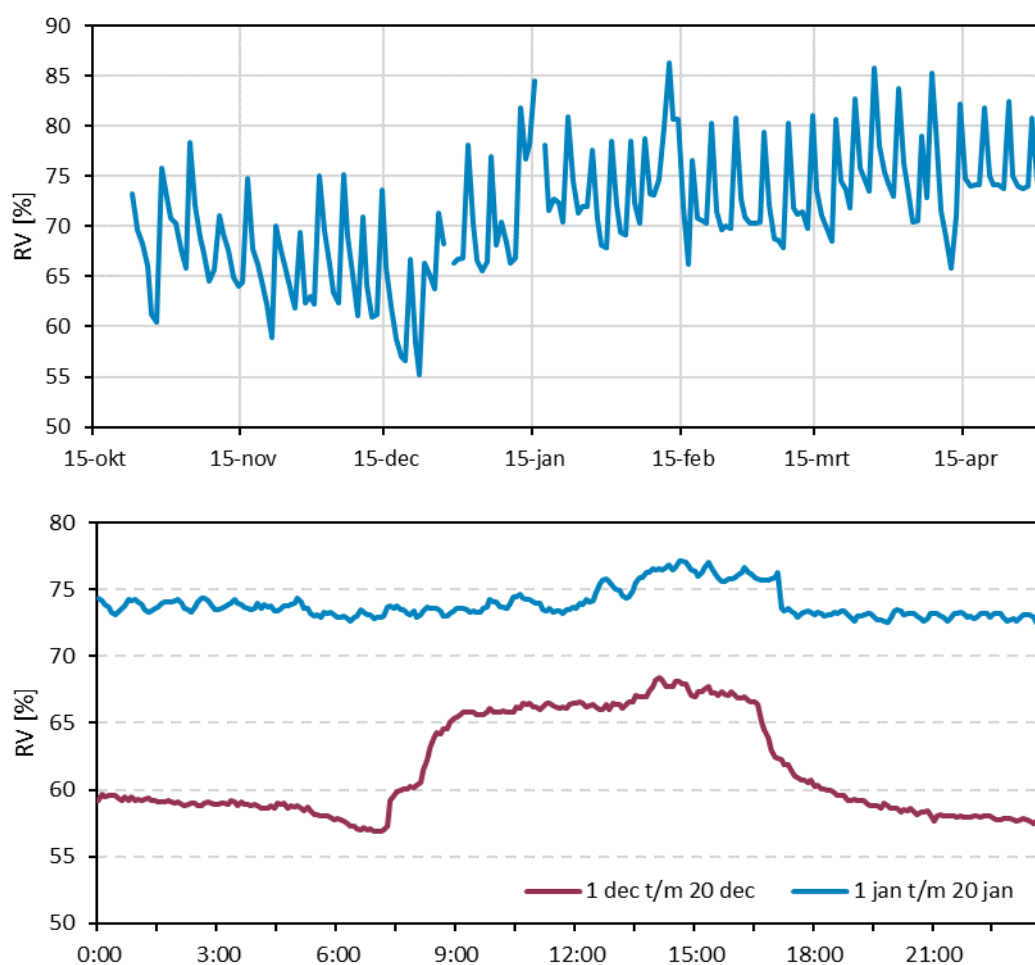
Figuur 5 Verschil tussen de kasttemperatuur en de planttemperatuur gedurende de dag (fotoperiode) en de nacht in de fase dat de invloed van buitenstraling minimaal was (november 2022- half januari 2023).



Figuur 6 Cyclisch gemiddelde van het verschil tussen de kasttemperatuur en de planttemperatuur en PAR in de kas in de periode tussen begin november en half januari (in deze fase van de teelt is de invloed van de buitenstraling ook gedurende de dag beperkt).

3.2 Luchtvochtigheid

Twee maanden na start van de teelt was de indruk van begeleidende telers dat de bladeren van het gewas onvoldoende groeiden en ook wat dof toonden. Het setpoint voor de relatieve luchtvochtigheid was tot die constatering gedurende CAM-fases I, II en IV 60-75% RV en 50-75% gedurende CAM-fase III (Tabel 2), waarbij de luchtvochtigheid vaak eerder op de ondergrens uitkwam. Op basis van die constatering is het setpoint voor de relatieve luchtvochtigheid gedurende CAM-fases I, II en IV op 3 januari 2023 verhoogd tot 70-75%. De indruk was dat dit een positief effect op de groei van het gewas had. Figuur 7 toont het verloop van de gemiddelde relatieve luchtvochtigheid en de aanpassing in strategie die is ingezet.



Figuur 7 Verloop van de gemiddelde luchtvochtigheid gedurende de dag (boven) en het patroon van de relatieve luchtvochtigheid gedurende de dag voor en na de aanpassing van de strategie (binnen). Voor aanpassing van de strategie was de RV onwenselijk laag tijdens de nacht.

3.3 Slurven onder de open teelttafels

In een teeltsysteem met LED-belichting, intensief schermen en een strategie waarbij de verwarming alleen wordt ingezet op basis van warmtevraag (zonder minimumbuis) zijn voldoende snelle afdroging na de watergift van het gewas en het substraat lastiger. Voldoende

luchtbeweging rondom het was helpt dan om vocht af te kunnen voeren. Daarom zijn onder de teelttafels met gaasbodem slurven aangebracht (Foto 2). Omdat er geen referentie-afdeling was, is het lastig om vast te stellen wat het daadwerkelijke effect is van de slurven op het gewas. Wel is er vaker gegoten dan vorig seizoen in de periode dat er minder buisvraag was (zie ook 3.6). Gedurende het project is bij aanvang een rookproef uitgevoerd waaruit bleek dat er een goede luchtverplaatsing was vanuit de slurven. Ook was na watergift het gewas aan het einde van de dag goed afgedroogd.



Foto 2 Overzichtsfoto van de afdeling waarin de slurven onder de tafels zichtbaar zijn en de groeibuis geplaatst 70 cm boven de potten.

3.4 Schermgebruik

De kasafdeling was uitgerust met maar liefst vier schermen op drie dradenbedden:

- Onderste dradenbed: Hoog-isolerend aluminium doek + Harmony PARperfect 2047 FR
- Middelste dradenbed: hoog isolerend helder energiedoek: Luxous 1147 FR
- Bovenste dradenbed: Verduisterscherm: Obscura 10070 FR WB+B 99.9%

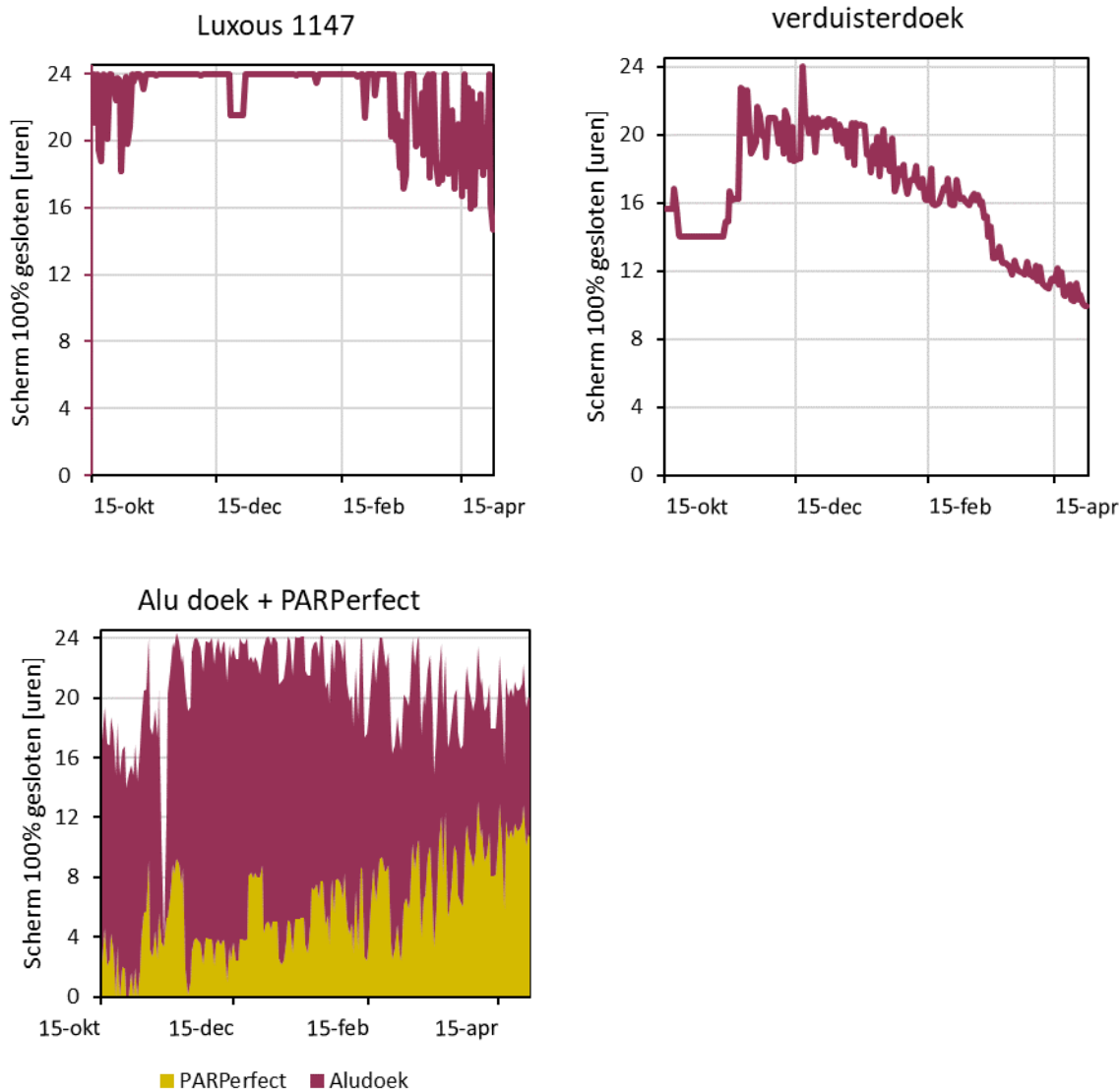
Het uitgangspunt van het schermgebruik was om maximaal te isoleren, maar tevens maximaal gebruik te maken van het natuurlijke buitenlicht. Afhankelijk van de buitenomstandigheden werden de scherminstellingen aangepast, maar de hoofdlijnen gingen de inzet van de schermen als volgt:

- Obscura verduisteringsscherm: Openen 40 minuten na zon-op bij een buitentemperatuur > 7 °C of een instraling > 50 W/m². Met als aanvulling dat het scherm altijd opende tussen 11:00 en 14:00 uur om buitenlicht binnen te laten, omdat de effecten van daglichtloos telen tot dusver onbekend zijn.
- Luxous energiescherm: in de winter gesloten, alleen de laatste weken van de teelt opende het scherm op basis van instraling bij >300 W/m².
- Aluminiumscherm: in de nachtperiode gesloten en overdag open (schermwissel met het Harmony PARperfect scherm op hetzelfde dradenbed). Tot 17-01-2023 in de ochtend schermwissel bij meer dan 30 W/m² instraling en in de middag/avond schermwissel bij zon onder. Vanaf 17-01-2023 schermwissel bij 30 minuten voor zon-op en 90 minuten voor zon onder. Vanaf 23-01-2023 schermwissel bij 30 minuten voor zon-op en 30 minuten voor zon onder.
- Harmony PARperfect scherm: mocht tot 23 januari openen bij een buitentemperatuur > 20 °C of 200 W/m² straling. Daarna bij een buitentemperatuur > 15 °C of 160 W/m² straling (zonder regen) en 235 W/m² straling (met regen). Vanaf 23-01-2023 sloot het Harmony doek ook bij te veel instraling bij onderstaande stralingsgrens. Deze is op 15 februari nog met 15 watt verhoogd om meer zonlicht toe te laten. Waarbij is gezocht naar de juiste balans met het buitenlicht in combinatie met het Obscura scherm. Het par-perfect systeem stuurde op een maximale lichtintensiteit van 250 μmol/m²/s in de kas.

Tabel 4 Harmony PAR perfect stralingsgrens, ingesteld om teveel aan zonlicht weg te schermen. De grens is op 15 februari met 15 watt verhoogd om meer zonlicht toe te laten.

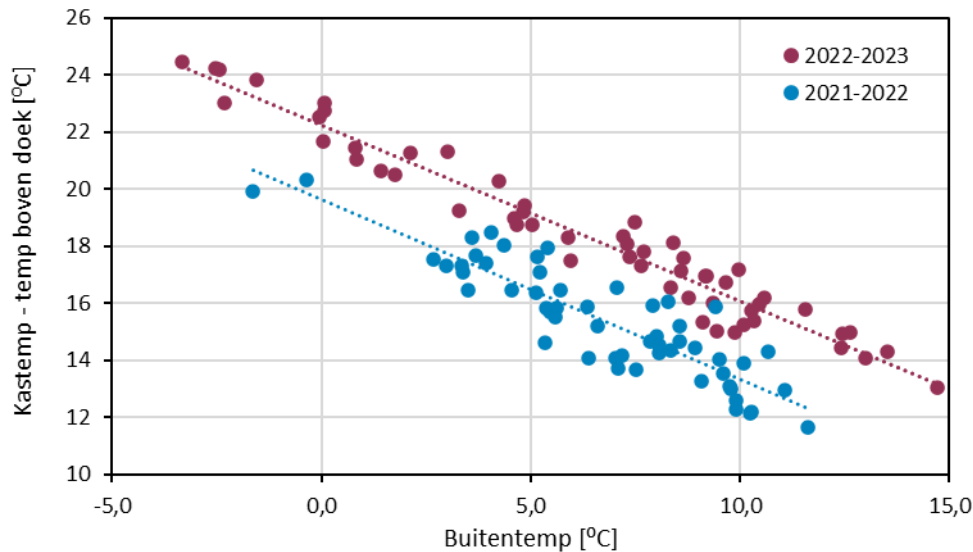
Tijd van	Tijd tot	Dicht
9:00	11:00	>320 W/m ²
11:00	14:00	>300 W/m ²
14:00	16:00	>290 W/m ²

Deze uitgangspunten hebben geresulteerd in een intensief schermgebruik. Het Luxousdoek heeft in de periode tussen 15 oktober en 15 april voor 95% van de tijd helemaal gesloten gelegen. Het verduisterdoek heeft in de donkerste weken van het jaar gedurende 20 uur dichtgelegen, en deze fase werd korter naarmate de daglengte toenam. Doordat het hoog isolerend aluminiumdoek en het Harmony ParPerfectdoek op hetzelfde dradenbed lagen is de tijd dat deze voor 100% gesloten lagen bij elkaar opgeteld, gezamenlijk is er met deze 2 schermen voor 85% van de tijd voor 100% geschermd (Figuur 8).



Figuur 8 Aantal uren per etmaal dat het energiescherm (Luxous 1147, links boven), het verduisterscherm (rechtsboven) en de som van het aluminium doek en het ParPerfect doek hebben dichtgelegen gedurende de proef. NB Van 21 tot 28 december is het energiescherm in de nacht open gestuurd om het effect op netto straling te testen zie ook hoofdstuk 3.7.

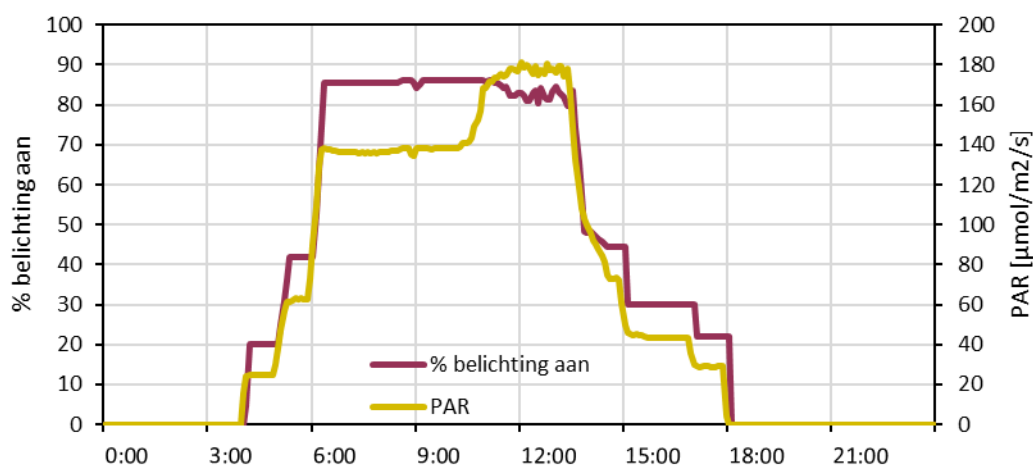
Om het effect van het scherm pakket op de isolatie vast te stellen is gekeken naar het verschil tussen de kasttemperatuur op gewashoogte en de temperatuur boven het scherm pakket ten opzichte van de buitentemperatuur. Een hoger temperatuurverschil betekent dat het scherm pakket een hogere isolatiewaarde geeft. De analyse is uitgevoerd voor de omstandigheden met afwezigheid van buitenlicht (zodat de temperatuur boven het scherm pakket niet door straling kan worden opgewarmd), 100% gesloten ramen (zodat er geen uitwisseling is met de buitenlucht) en schermen 100% gesloten. Figuur 9 toont dat het uitbreiden van de schermen met een 3^{de} dradenbed i.c.m. het hoog isolerende aluminiumscherm in 2022-2023 heeft geresulteerd in een hogere isolatiewaarde t.o.v. 2021-2022, wat terug te zien is in het grotere verschil tussen kasttemperatuur op gewashoogte en temperatuur boven het scherm doek. In hoofdstuk 5 wordt het energiegebruik verder besproken.



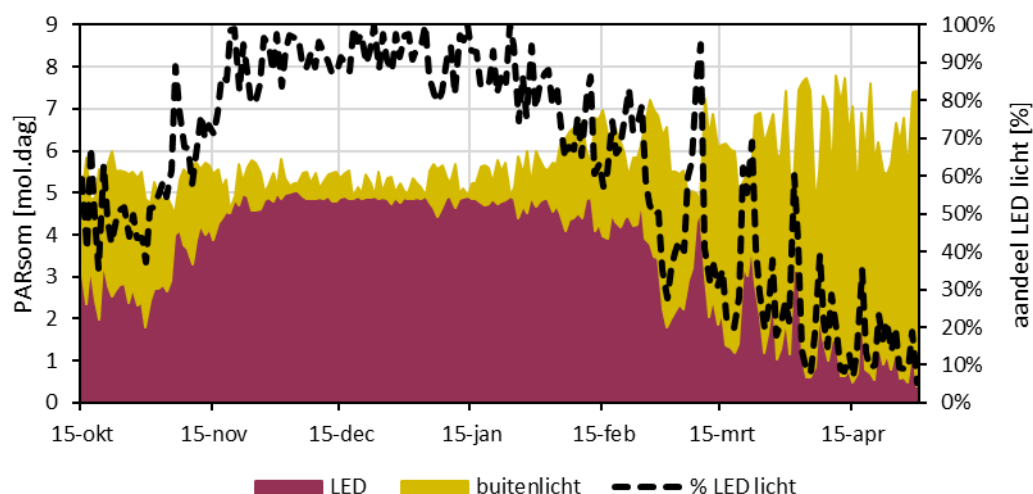
Figuur 9 Verschil tussen de kasttemperatuur op gewashoogte en boven het scherm pakket gedurende de nacht, met 100% gesloten ramen en volledig gesloten scherm pakket gerealiseerd in de teeltseizoenen 2021-2022 en 2022-2023. Een groter verschil tussen kasttemperatuur op gewashoogte en boven het scherm pakket betekent een hogere isolatiewaarde.

3.5 Licht en belichting

De LED-belichting werd zo efficiënt mogelijk ingezet. De lichtintensiteit werd op basis van de verschillende CAM-fases opgebouwd in de ochtend en afgebouwd in de namiddag (Figuur 10). De strategie voor de belichting staat nader toegelicht in hoofdstuk 2 en in Tabel 1. Het intensieve schermgebruik (zie 3.4 hierboven) in combinatie met het feit dat een proefkas altijd wat minder buitenlicht doorlaat dan een commerciële kas, resulteerde erin dat in de periode tussen 15 november 2022 en 1 februari 2023 van het totale licht ±90% werd ingevuld door de LED-belichting (Figuur 11). De lichtsom was in die periode +/- 5.3 mol/m²/dag, wat betekende dat slechts ±0.5 mol/m²/dag van het buitenlicht afkomstig was. Vanaf half februari nam het buitenlicht toe en werden de omstandigheden ook gunstiger om de schermen meer uren per dag te openen, met als gevolg een betere benutting van het buitenlicht. Om vanaf deze fase te voorkomen dat er teveel licht op het gewas kwam is er een laag ReduFuse op het kasdek aangebracht op 15 maart 2023. De lichtsom kwam in deze fase uit op ± 6.3 mol/m²/dag (Figuur 11). Het totale elektraverbruik voor de hele proefperiode van 32 weken totaal tussen 07 oktober en 17 mei heeft geresulteerd in een berekend elektraverbruik van 58 kWh/m² netto kasoppervlak (lichtintensiteit in μmol/m²/s gedeeld door efficiëntie LED-armatuur in μmol/J maal de branduren). Hierbij is de aanname gedaan van een vaste efficiëntie van de LED-belichting van 3.4 μmol/Joule.



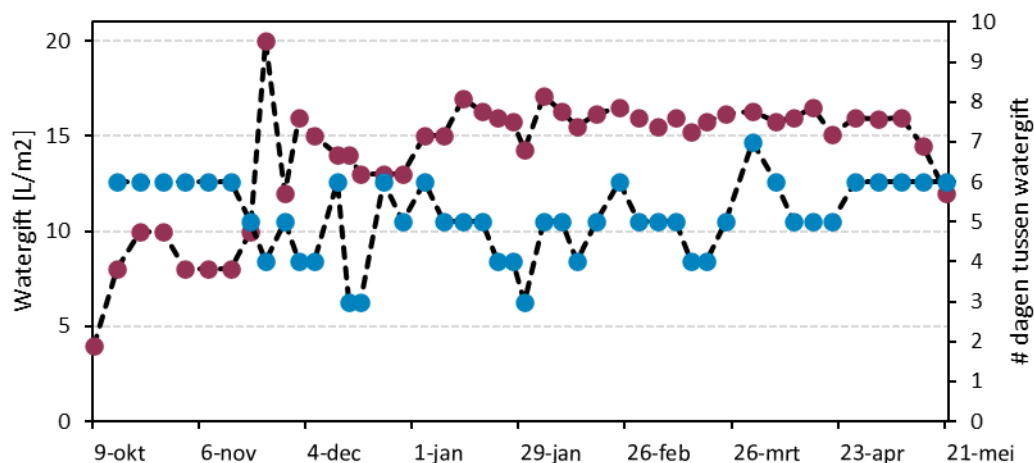
Figuur 10 Inzet van de LED-belichting (% aan) en gerealiseerde lichtintensiteit ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) op gewasniveau in de periode 15 november 2022 tot 1 februari 2023 (cyclisch gemiddelde), waarin het aandeel buitenlicht minimaal was.



Figuur 11 Gerealiseerde lichtsom vanuit de LED-belichting en het buitenlicht per dag en het percentage van de totale dagelijkse lichtsom die van de LED-belichting afkomstig was.

3.6 Waterbeurten

Over de gehele teelt is gemiddeld iedere 5 dagen water gegeven (Figuur 12). Hoewel geen zuiver vergelijk te maken valt tussen de LED-kas vorig teeltseizoen (2021-2022) en dit teeltseizoen (2022-2023), lijkt er een effect zichtbaar van de luchtslurven die dit seizoen onder de teelttafels zijn geïnstalleerd (Foto 2). Vorig seizoen droogde het gewas erg langzaam af tot begin november (zie Hogewoning *et al.*, 2022). Dat is de periode waarin er nog niet volop warmtevraag was. Doordat geen minimumbuis ingezet werd, werd toen om de 8 dagen gegoten. Dit seizoen is in dezelfde periode om de 6 dagen gegoten (Figuur 12).



Figuur 12 Hoeveelheid watergift per beurt (paarse cirkels) en interval tussen de beurten (blauwe cirkels) gedurende het verloop van de teelt. Soms is handmatig extra water gegeven aan de grotere planten, omdat er twee plantleeftijden in de kas stonden (niet in dit figuur opgenomen).

De hoeveelheid watergift in liters per m² per beurt was aan het begin van de teelt wat lager, eenmalig fors hoger om ongelijkheid tussen de potten weg te nemen en daarna stabiel rond de 16L/m² (Figuur 12). Omdat er 2 plantleeftijden in de afdeling stonden is er een aantal keren tijdens de teelt handmatig extra gegoten bij de grotere planten (niet in de figuur opgenomen).

3.7 Netto straling en schermstand

Om meer inzicht te krijgen in het effect van de geïnstalleerde schermen op de uitstraling naar het kasdek zijn er metingen gedaan met een netto stralingsmeter in de periode van 21 tot 29 december 2023. Er is 8 dagen lang in de nacht een aantal schermstanden getest. Hiervoor zijn per nacht achtereenvolgend na zonsondergang meerdere situaties ingesteld (Tabel 5):

- Om 18:00 uur werden het verduisteringsscherm, energiescherm en Harmonyscherm gesloten (situatie 1: 3 schermen dicht en 2 spouwlagen).
- Om 19:00 uur wisselt het Harmonyscherm met het beter isolerende aluminiumscherm (situatie 2: 3 schermen dicht en 2 spouwlagen).
- Om 20:15 opent het energiescherm (situatie 3: 2 schermen dicht en 1 spouwlaag).
- Om 21:30 opent het aluminiumscherm waardoor alleen het verduisteringsscherm over blijft (situatie 4: 1 scherm dicht en geen spouwlaag).

Van elke situatie is het eerste half uur niet meegenomen, omdat in deze fase de temperatuur van het scherm (en de netto straling) mogelijk nog niet representatief is. De netto straling is het resultaat van het temperatuurverschil tussen het gewas en de ‘hemel’ boven het gewas. In dit geval bestaat de hemel uit het kasdek of het onderste scherm en de installatie in de kas zoals lampen en verwarmingsbuizen. Om te corrigeren voor de warmtestraling van de verwarmingsbuizen is de straling hiervan berekend op basis van de buistemperatuur. De verwarmingsbuis compenseert op de stralingsbalans namelijk een deel van de uitstraling naar het kasdek. Daarom is een gecorrigeerde netto straling berekend door een schatting te maken

van de netto straling van de verwarmingsbuis en die af te trekken van de gemeten netto straling. Deze schatting is gebaseerd op de volgende formule, gebaseerd op de wet van Stefan Boltzmann: $\sigma * F_{buis}(T_{blad}^4 - T_{buis}^4)$ (Stanghellini et al. 2019), waarbij σ de Boltzmann constante is, F_{buis} de fractie van de hemel wat gevuld wordt door de verwarmingsbuis, en T_{blad} en T_{buis} de blad- en buistemperatuur in graden Kelvin.

Het aluminiumscherm zorgt voor een forse vermindering van de uitstraling ten opzichte van het Harmony-scherm (Tabel 5, situatie 1 versus 2), ondanks dat er twee schermen boven liggen welke de warmteoverdracht naar het kasdek al verminderen. Het verschil in buistemperatuur heeft bij deze vergelijking slechts beperkt invloed. De netto straling gecorrigeerd voor de straling van de buizen laat namelijk eenzelfde effect zien van het aluminiumscherm.

Het effect van twee spouwen ten opzichte van één spouw en het energiescherm open (situatie 2 & 3) komt niet duidelijk naar voren in netto straling. De verwachting was dat een tweede spouw de uitstraling vermindert, omdat het onderste scherm minder afkoelt. Echter is er nauwelijks verschil in netto straling gemeten. Dit betekent niet dat een tweede spouw geen effect heeft. Een tweede spouw heeft namelijk vooral effect op warmteoverdracht via convectie en geleiding. Het is goed mogelijk dat de warmtedoorgangcoëfficiënt (u-waarde) wel degelijk is afgenomen, terwijl dit niet terug is te zien in de netto straling.

Situatie 4 laat het belang zien van meerdere schermen voor energiebesparing. De uitstraling was het hoogst met maar 1 scherm gesloten. Daarnaast werd automatisch de buistemperatuur verhoogd met maar liefst 6 °C om de kasttemperatuur op peil te houden. De temperatuur boven het doek loopt ook op, dit laat duidelijk zien dat er meer energieverlies was met maar 1 scherm. De gecorrigeerde netto straling laat ook zien dat er forse uitstraling ontstaat met maar 1 scherm.

Tabel 5 Effect van schermstand op netto straling. Dit is gedurende 8 nachten herhaald.

	Situatie 1	Situatie 2	Situatie 3	Situatie 4
Verduistering	Dicht	Dicht	Dicht	Dicht
Energie	Dicht	Dicht	Open	Open
Harmony/Alu	Harmony	Alu	Alu	Beide open
Scherm dicht [#]	3	3	2	1
Aantal spouw	2	2	1	0
Netto straling [W/m ²]	-11.6	-4.8	-3.1	-13.5
Netto straling cor. [W/m ²]	-18.3	-12.5	-11.7	-24.2
T buis [°C]	51	54	57	63
T boven doek [°C]	13.2	12.4	12.8	15.9
T kas [°C]	28.9	29.0	29.2	28.5
T buiten [°C]	8.6	9.0	9.2	9.2

4 Resultaat teelt in de demokas.

4.1 Resultaat gewasgroei

Om de groei en ontwikkeling van de Phalaenopsis-planten te bepalen zijn destructieve metingen gedaan. Tijdens de vorige energiezuinige teelt onder LED (2021-2022) waarin alleen de tweede helft van de opkweek getoetst is (week 14-28 na oppotten), viel onder andere op dat er een verschuiving was van investering van assimilaten in scheutgewicht naar wortelgewicht. De vraag is of dat deze teelt opnieuw zo was. Van de volle opkweekfase van 28 weken is groei en ontwikkeling halverwege na 15 weken en aan het einde na 28 weken gemeten. Parallel aan die teelt zijn planten tot 13 weken opgekweekt bij Levoplant en daarna tot 28 weken oud in de proef geteeld. Daarna zijn nogmaals planten van 0 tot 15 weken in de proef geteeld. Dit maakt het mogelijk om een vergelijking te maken tussen een teelt in het najaar (week 40/41 tot week 3/4) en het voorjaar (week 3/5 tot week 16/20). Zie het teelt- en meetschema Tabel 3. Hierbij is de opkweekfase opgesplitst in twee periodes van 0 tot 15 weken en van 13 of 15 tot 28 weken na oppotten.

De gemiddelde bladafplitsing is met ~1.9 bladeren in 15 weken vergelijkbaar met het aantal afgesplitste bladeren gedurende 14 weken groei in de energiebesparende LED-kas afgelopen jaar (2021-2022). In beide proeven was de etmaaltemperatuur gemiddeld 29°C. Het plaatsen van groeibuizen 70cm boven de potten dit jaar om het gewas effectiever te verwarmen, lijkt de bladafplitsing dus niet te hebben versneld, hoewel een zuiver vergelijk tussen de twee teeltseizoenen niet mogelijk is.

De drogestofmetingen laten zien dat van de planten bij de start de scheut ongeveer 60% van het plantgewicht beslaat. Dit geldt voor de planten uit plug en de 13 weken oude planten opgekweekt in de zomer in bij Levoplant de praktijk (Tabel 6). De partijen planten waarmee gestart is waren vergelijkbaar in drooggewicht en percentage gewicht in de scheut. Er was een vergelijkbare toename in drooggewicht bij de planten geteeld in het najaar (tot week 3/4) en in het voorjaar (tot week 16/20). Bij beide teelten vermindert het percentage gewicht in de scheut van 59-62% naar 43-45%. Dit laat zien dat er zowel in het voorjaar als in het najaar meer energie geïnvesteerd werd in de wortels dan in de scheut. De verschuiving naar relatief meer wortelgewicht gedurende de teelt in de proef was niet afhankelijk van de plantleeftijd. Bij zowel de planten waarbij gestart werd op 0 weken als de planten waarbij gestart werd op 13 weken na oppotten is een verschuiving zichtbaar naar een lager percentage scheutgewicht. De planten die de volle 28 weken geteeld zijn in de proef hadden na 15 weken al vrijwel dezelfde wortel/scheutverhouding als na 28 weken. De verschuiving in scheut/wortel verhouding komt overeen met de vorige kas-demoteelt van 2021-2022. De mogelijke oorzaken hiervan worden in de discussie verder besproken (zie hoofdstuk 6).

Na 15 en 28 weken teelt in de proefkas zijn foto's gemaakt van de planten (Figuur 13 en Figuur 14). Over het algemeen vonden de begeleidende telers het gewas wat kleiner en compacter dan praktijk. Gedurende de teelt viel op dat de planten rood oogden, vooral in oktober en

november, in april leek dit minder te worden. Het hartblad leek niet erg snel te groeien. Begin januari oogde het gewas dof en donker, mogelijk doordat de RV aan de lage kant was. Vanaf dit moment is de RV verhoogd naar minimaal 70%. Hierna oogde het gewas frisser en groeizamer. Verder viel op dat er relatief veel wortels buiten de pot waren. Langs de rand ontstonden er wel voortakken bij het ras Stellenbosch, mogelijk door de koude gevel.

Tabel 6 Aantal afgesplitste bladeren gedurende 13 weken groei, drooggewicht van scheut, wortel (inclusief overwortel), percentage overwortel t.o.v. totaal wortelgewicht (droog), totaal plantgewicht en het percentage scheutgewicht van het totaal (droog). N=10 voor de plug en praktijk, n=48 bij week 3 & 4, in week 16 & 20 zijn de planten gegroepeerd per 3, n=16 (48 planten) in week 16 en n=15 (45 planten) in week 20.

Cultivar	Leeftijd	Teelt	# blad	Scheut [g]	Wortel [g]	Overwortel [%]	Totaal [g]	% Scheut
Leeds	0w	plug		1.1	0.8		1.8	60%
	15w	tot w 03	1.6	2.3	3.0		5.2	43%
	28w	tot w 16	2.1	4.3	5.7		10.0	43%
	13w	praktijk		2.1	1.3		3.4	62%
	28w	tot w 04	2.0	3.5	4.7		8.2	42%
	0w	plug		1.2	1.0		2.2	54%
	15w	tot w 20	1.9	2.3	3.2		5.5	42%
Stellenbosch	0w	plug		1.0	0.7		1.7	62%
	15w	tot w 03	1.9	2.1	2.7		4.8	45%
	28w	tot w 16	2.3	4.3	4.9		9.2	47%
	13w	praktijk		1.9	1.1		3.0	64%
	28w	tot w 04	2.1	3.4	4.2		7.6	45%
	0w	plug		0.9	0.6		1.5	60%
	15w	tot w 20	1.9	2.1	2.6		4.7	45%
Elastic love	0w	plug		1.0	0.6		1.6	64%
	15w	tot w 03	1.8	2.4	2.6		4.9	48%
	28w	tot w 16	1.8	4.4	4.7	22.0%	9.1	49%
	13w	praktijk		1.8	0.9		2.7	67%
	28w	tot w 04	1.7	3.4	3.9		7.3	46%
	0w	plug		0.9	0.5		1.4	66%
	15w	tot w 20	1.8	1.8	2.1	4.5%	4.0	47%
Miraflore	0w	plug		1.0	0.7		1.7	59%
	15w	tot w 03	1.7	2.0	2.8		4.8	42%
	28w	tot w 16	2.0	4.1	5.7	13.7%	9.8	42%
	13w	praktijk		1.9	1.3		3.2	59%
	28w	tot w 04	1.7	3.1	4.3		7.4	42%
	0w	plug		0.9	0.7		1.6	59%
	15w	tot w 20	1.8	1.8	2.8	3.6%	4.6	39%
Cambridge	0w	plug		1.1	0.7		1.8	60%
	15w	tot w 03	1.8	2.2	3.2		5.4	40%
	28w	tot w 16	2.1	4.1	5.5	19.5%	9.6	42%
	13w	praktijk		1.8	1.3		3.1	57%
	28w	tot w 04	1.8	3.5	5.1		8.6	41%
	0w	plug		1.0	0.8		1.8	55%
	15w	tot w 20	1.9	2.1	3.0	5.1%	5.1	41%
Freeride	0w	plug		1.1	0.7		1.7	62%
	15w	tot w 03	1.8	2.1	2.7		4.9	43%
	28w	tot w 16	2.0	4.1	5.2		9.3	44%
	13w	praktijk		1.8	1.1		2.9	62%
	28w	tot w 04	2.0	3.6	5.1		8.8	41%
	0w	plug		0.7	0.5		1.2	59%
	15w	tot w 20	1.9	1.9	2.7		4.6	42%
Gemiddeld Alle cultivars	0w	plug		1.0	0.7		1.7	61%
	15w	tot w 03	1.8	2.2	2.8		5.0	44%
	28w	tot w 16	2.0	4.2	5.3		9.5	45%
	13w	praktijk		1.9	1.2		3.0	62%
	28w	tot w 04	1.9	3.4	4.6		8.0	43%
	0w	plug		0.9	0.7		1.6	59%
	15w	tot w 20	1.9	2.0	2.7		4.7	43%

Leeds



15W (week 40-03)



15W (week 05-20)



28W (week 41-04)



28W (week 41-16)

Stellenbosch



15W (week 40-03)



15W (week 05-20)



28W (week 41-04)



28W (week 41-16)

Elastic love



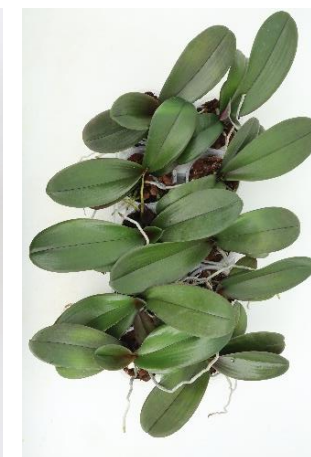
15W (week 40-03)



15W (week 05-20)



28W (week 41-04)



28W (week 41-16)

Figuur 13 Bovenaanzicht van Leeds, Stellenbosch en Elastic Love op de verschillende meetmomenten. Foto's zijn weergegeven met plantleeftijd in aantal weken vanaf oppotten en de kalenderweken in de proef.

Miraflöre



15W (week 40-03)



15W (week 05-20)



28W (week 41-04)



28W (week 41-16)

Cambridge



15W (week 40-03)



15W (week 05-20)



28W (week 41-04)



28W (week 41-16)

Freeride



15W (week 40-03)



15W (week 05-20)



28W (week 41-04)



28W (week 41-16)

Figuur 14 Bovenaanzicht van Miraflöre, Cambridge, en Freeride op de verschillende meetmomenten. Foto's zijn weergegeven met plantleeftijd in aantal weken vanaf oppotten en de kalenderweken in de proef.

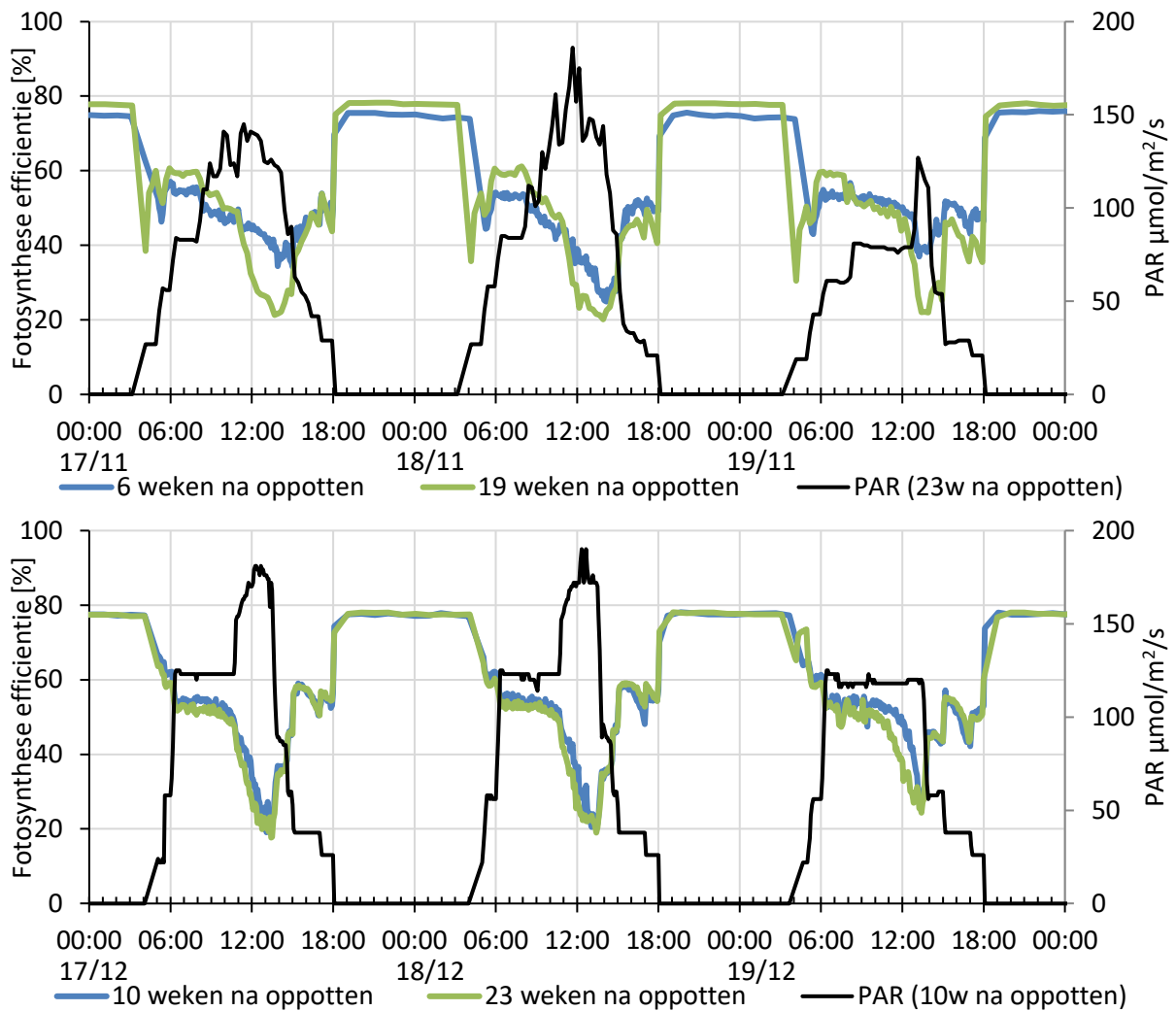
4.2 Fotosynthese

Tijdens de proef is met behulp van fotosynthesemetingen (LI-6800) en chlorofyl-fluorescentie (Sendot) het verloop van de fotosynthese gevolgd. Dit is gebruikt om de regeling van de belichting aan te passen op de fases van CAM-fotosynthese.

Zoals in eerdere rapporten toegelicht (Trouwborst *et al.*, 2014, 2016, 2017a,b, 2019) kenmerkt de CAM-fotosynthese zich door 4 fasen:

- I In de nacht zijn de huidmondjes open en nemen de bladeren CO₂ op dat wordt vastgelegd in de vorm van malaat.
- II Aan het begin van de dag sluiten de huidmondjes langzaam en wordt nog altijd CO₂ in de vorm van malaat opgeslagen. Een hoge intensiteit licht heeft dan geen zin.
- III Als de huidmondjes dicht zijn komt CO₂ weer vrij uit malaat en wordt met behulp van de energie van licht vastgelegd in suikers (assimilaten). Dus in fase III vindt de werkelijke fotosynthese plaats en moet er een voldoende hoge lichtsom zijn
- IV In de loop van de dag raakt het malaat op, gaan de huidmondjes open, en nemen de bladeren weer CO₂ op. Afhankelijk van de omstandigheden (tijdstip, plantleeftijd) wordt dat CO₂ direct geassimileerd of (lichtonafhankelijk) als malaat opgeslagen. Licht wordt dan niet efficiënt benut en kan gedimd worden.

Het lichtrendement voor elektronentransport (ETR), wat de drijvende kracht is voor de lichtreactie van de fotosynthese, kan gemeten worden met chlorofyl-fluorescentie (Hogewoning *et al.*, 2021, van Tongerlo *et al.*, 2021). Een gezond blad heeft in donker een maximaal rendement van iets meer dan 80%. Bij een toenemende lichtintensiteit daalt dit rendement. Bij Phalaenopsis kan deze meting gebruikt worden om vast te stellen wanneer CAM-fase II overgaat in fase III (stijging rendement) en vervolgens overgaat in fase IV (daling rendement). Tijdens CAM fase II en IV is het lichtrendement dus laag. Vooral bij een stabiele lichtintensiteit werkt dit goed. Dit is ook terug te zien in de meting van de fotosynthese-efficiëntie (Figuur 15). Aan het begin van de lichtperiode vanaf 4:00 uur is een dal zichtbaar, omdat licht dan nog niet goed wordt benut voor assimilatie (CAM-fase II). Dit is alleen goed zichtbaar bij de planten van 13 weken bij start, vanwege de timing van de fluorescentie-meting (in de nacht elk uur, overdag om de 15 minuten). Fase III start 2 uur na het begin van de lichtperiode en eindigt rondt 12:00 uur, de overgang van fase III naar IV vindt plaats tussen 11:00 uur en 13:00 uur. De fotosynthese efficiëntie daalt en stijgt vervolgens weer als de lichtintensiteit daalt later in de middag. Omdat in fase IV de belichting minder efficiënt benut wordt, is gedurende de proef (na 06 december 2022) besloten om vanaf 13:30 maximaal 85 μmol te belichten. Hierdoor wordt er minder belicht wanneer de efficiëntie laag is. Het effect hiervan is zichtbaar in de grafiek van december (Figuur 15 onder), waarin de periode waarin de efficiëntie laag is korter is doordat het licht eerder afgeschakeld wordt.

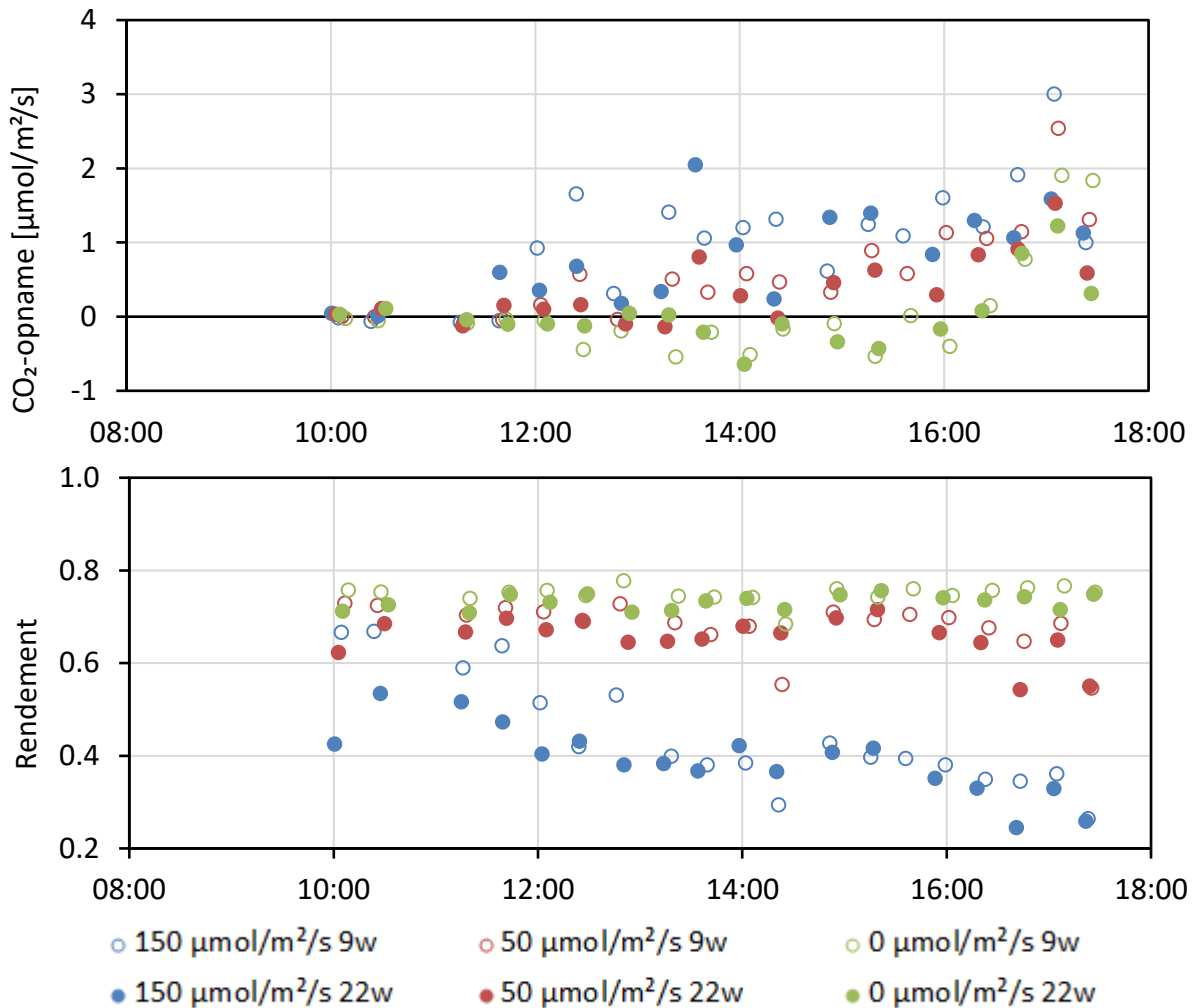


Figuur 15 Patroon lichtrendement gemeten met de Sendot-sensoren, boven in november, onder na 6 december 2022. De lijnen zijn het gemiddelde van 3 metingen aan cv. Stellenbosch bij twee plantleeftijden (6 en 19 weken, en 10 en 23 weken na oppotten).

De meting met chlorofyl-fluorescentie sensoren is vergeleken met nauwkeurige fotosynthese-meetapparatuur (Li-6400 en Li-6800). De CO₂ opname en het fotosynthese-rendement zijn bepaald om het moment van de verschuiving van CAM fase III naar CAM fase IV te bepalen.

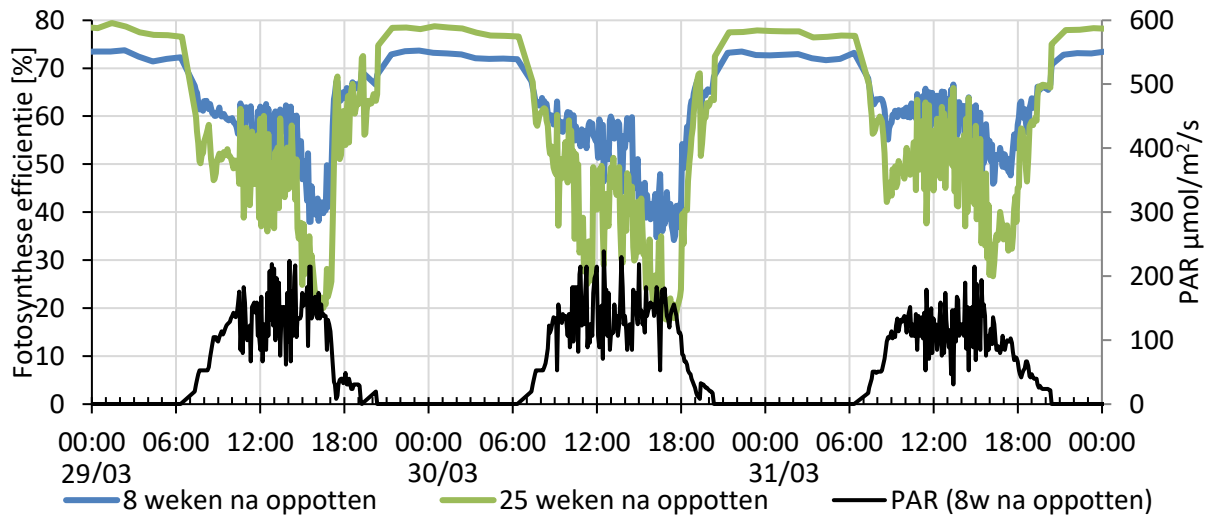
De CO₂ opname en het lichtrendement zijn weergegeven in Figuur 16 voor twee plantleeftijden (Zie bijlage III voor cv. Cambridge). Vanaf 12 uur begint de CO₂ opname op te lopen bij 50 en 150 μmol/m²/s en het lichtrendement daalt. Dit duidt de overgang aan van CAM fase III naar CAM fase IV. De huidmondjes gaan open en er vindt C₃ fotosynthese plaats (immers, bij 0 μmol/m²/s meetlicht is de CO₂-opname kleiner dan 0 en bij meetlicht aan groter dan 0). Na 16:00 uur is er een overgang van C₃ fotosynthese naar CO₂ opname via CAM: het opgenomen CO₂ wordt dan opgeslagen in de vorm van malaat voor de volgende dag. Dit is te zien aan de CO₂ opname bij 0 μmol/m²/s meetlicht, welke hoger dan 0 is en niet meer reageert op de lichtintensiteit. In de periode tussen 12:00 uur en 16:00 uur wordt het licht nog wel benut voor C₃ fotosynthese alleen is het rendement bij 150 μmol erg laag, belichting met een lagere intensiteit is dan nog wel zinvol. Er is weinig verschil tussen de plantleeftijden en de twee

cultivars gemeten. Er zijn geen duidelijke verschillen gevonden in het verloop van de fotosynthese tussen de twee cultivars.

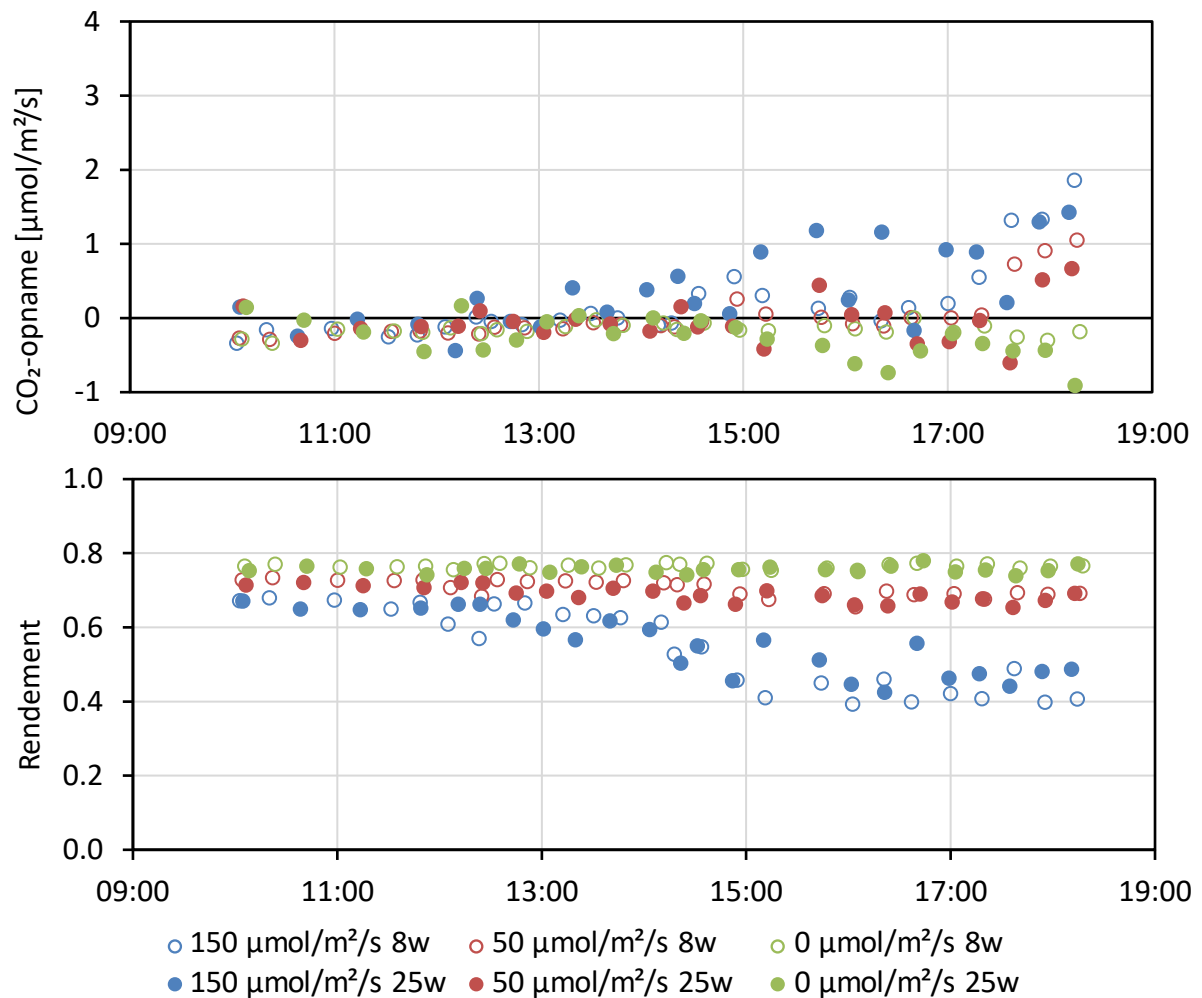


Figuur 16 CO₂-opname (boven) en lichtrendement (onder) van Stellenbosch op 9/12/2022 bij 9 en 22 weken na oppotten gemeten met de LI-6400/6800 apparatuur.

De fotosynthesemeting eind maart laat een ander verloop van de fotosynthese zien dan de fotosynthesemeting in december (Figuur 36 & Figuur 18). De dagperiode is vanaf 6 februari stapsgewijs verschoven van 4:00 – 18:00 uur naar 6:30 – 20:30 uur eind maart. Het resultaat hiervan is logischerwijs dat de overgang naar CAM-fase IV ook opschuift. Bij Cambridge (Bijlage III Figuur 36) valt op dat de CO₂ opname pas laat op gang komt. De fotosynthesemeting laat zien dat de belichting redelijk goed overeenkomt met de CAM-fase, ongeveer een uur nadat CAM-fase IV begint wordt de belichting gedimd. CAM-fase III valt tegelijk met de natuurlijke daglengte waardoor zonlicht goed benut wordt. De meting van het fotosyntheserendement met de chlorofyl-fluorescentie meter (Figuur 17) komt goed overeen met de meting met de Li-Cor (Figuur 18). De daling in rendement van lichtbenutting begint bij beide sensoren tussen 14:00 en 15:00 uur.



Figuur 17 Patroon lichtrendement gemeten met de Sendot-sensoren eind maart 2023. De lijnen zijn het gemiddelde van 3 metingen aan cv. Stellenbosch bij twee plantleeftijden (8 en 25 weken na oppotten).



Figuur 18 CO_2 -opname (boven) en lichtrendement (onder) van Stellenbosch op 30/3/2023 bij 8 en 25 weken oud gemeten met de LI-6400/6800 apparatuur.

4.3 Gewasgezondheid

Gedurende de teelt zijn de problemen omtrent gewasgezondheid beperkt geweest. Het plantmateriaal dat binnenkwam is tijdens de opkweek afgedekt geweest om potworm buiten de deur te houden. Ondanks deze acties en een schone kas bij aanvang, was er toch continu een lichte druk van potworm in de kas aanwezig, maar deze heeft waarschijnlijk geen gevolgen gehad voor het verloop van de teelt en het eindresultaat van de proef. De uitval van planten als gevolg van Fusarium was ook beperkt, gedurende de volledige teelt zijn slechts 8 planten uitgevallen.

5 Energieberekeningen

5.1 Inleiding

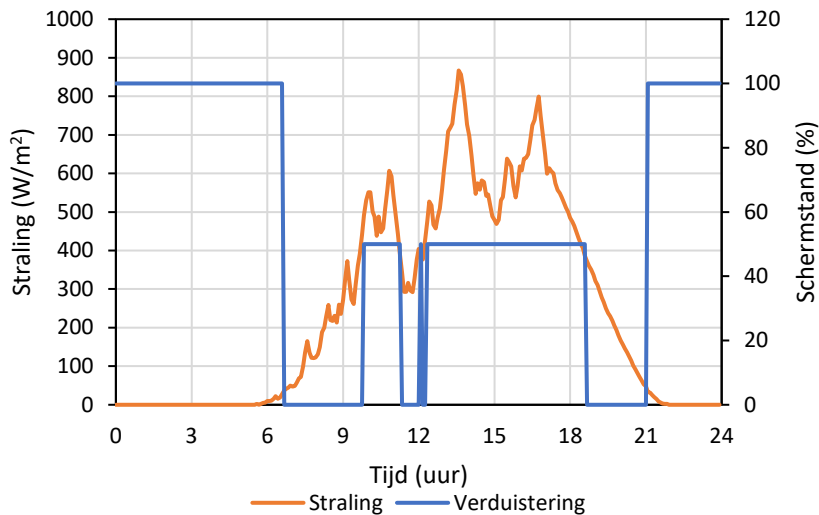
In de periode van 7 oktober 2022 tot en met 16 mei 2023 is er een kasproef uitgevoerd met *Phalaenopsis* in het Delphy Improvement Center in Bleiswijk. Deze proef is een vervolg op een eerdere kasproef op dezelfde locatie (2021-2022). Voor verdere energiebesparing zijn een aantal aanpassingen gedaan ten opzichte van de teelt in 2021-2022 (zie Hogewoning *et al.*, 2022). Er is een groeibuis boven het gewas toegevoegd om de warmte dicht bij de plant in te brengen en er is kaslucht gecirculeerd via slurven onder de tafels om voldoende afdroging te bevorderen zonder inzet van een minimumbuis. Ook is er een 4^e (aluminium-)schermdoek op hetzelfde dradenbed als het Harmony scherm toegevoegd. Verder is grotendeels dezelfde teeltstrategie gehanteerd als in de energiebesparende demokas in vorig teeltseizoen. Met een energiebalansmodel is de proef nagerekend voor een volledig jaar in een commerciële kas met enkel glas. Hiervoor is hetzelfde energiebalansmodel gebruikt als bij de vorige kasproef (Hogewoning *et al.*, 2022). De kaseigenschappen zijn veelal gelijk aan de situatie uit de vorige proef. In het model wordt verondersteld dat de luchtcirculatie voldoende is en de kaslucht perfect gemixt is. Dus een onderscheid tussen geen luchtslurven onder de teelttafels (vorige kasproef) of wel luchtslurven onder de teelttafels (deze kasproef) maakt het model niet. Van de groeibuis wordt alleen de toevoeging van warmte aan de kaslucht berekend. Data van schermen en belichting zijn bepaald op basis van de instellingen en realisatie tijdens de kasproef. Alle overige data (o.a. weerdata) zijn gebaseerd op praktijkdata uit 2021.

Schermen en krijt

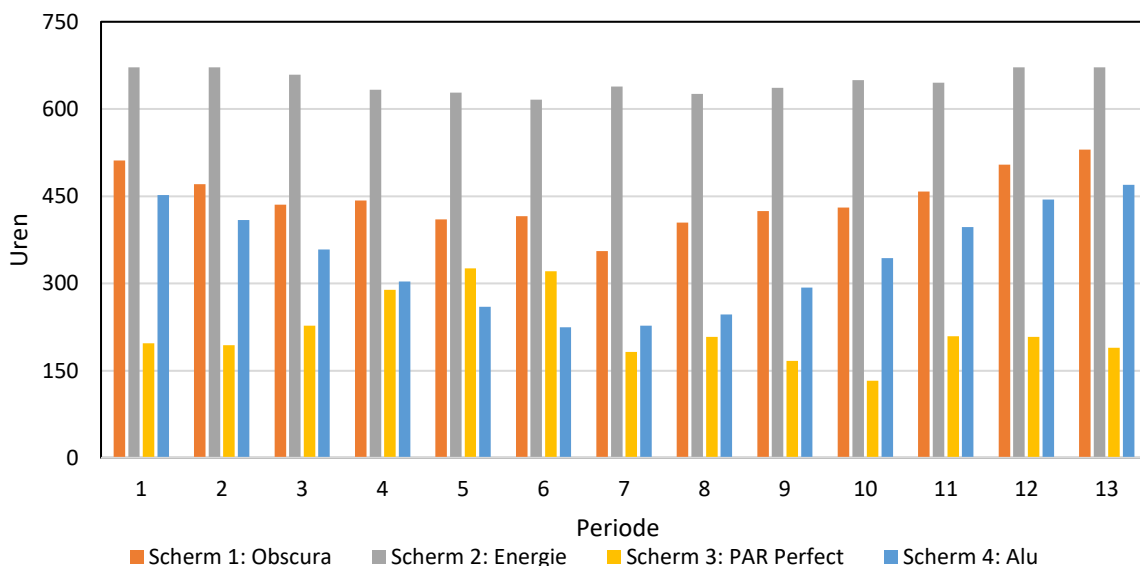
Op basis van de instellingen en realisatie van de schermstanden in de kasproef (zie hoofdstuk 3.4), zijn voor de modelberekeningen instellingen en grenswaarden bepaald per scherm wanneer deze open of dicht gaat, afhankelijk van buitentemperatuur en gemeten (buiten)straling. In Figuur 19 is een voorbeeld te zien van de gemeten buitenstraling en de berekende stand van het verduisteringsscherm op dag 200 (19 juli).

In de simulatie gaan we ervan uit dat er krijt op het kasdek wordt aangebracht op dag 74 (15 maart). Krijten verlaagt in de modelsimulaties de stralingstransmissie met 25%. Er is een degradatiefactor waardoor het effect van het krijten iedere dag iets afneemt. Het krijt wordt verwijderd op dag 239 (27 augustus). De dag van krijten is hetzelfde als in de kasproef. De dag van krijt verwijderen is hetzelfde als bij het praktijkbedrijf in 2021.

In Figuur 20 is het totaal aantal berekende schermuren te zien als de regels uit de kasproef voor het hele jaar 2021 worden doorgerekend.



Figuur 19 Straling en de modelmatig berekende stand van het verduisteringsscherm voor 19 juli 2021.



Figuur 20 Berekende aantal schermuren per type scherm per periode van 4 weken (continu dicht=672 uur).

Licht en belichting

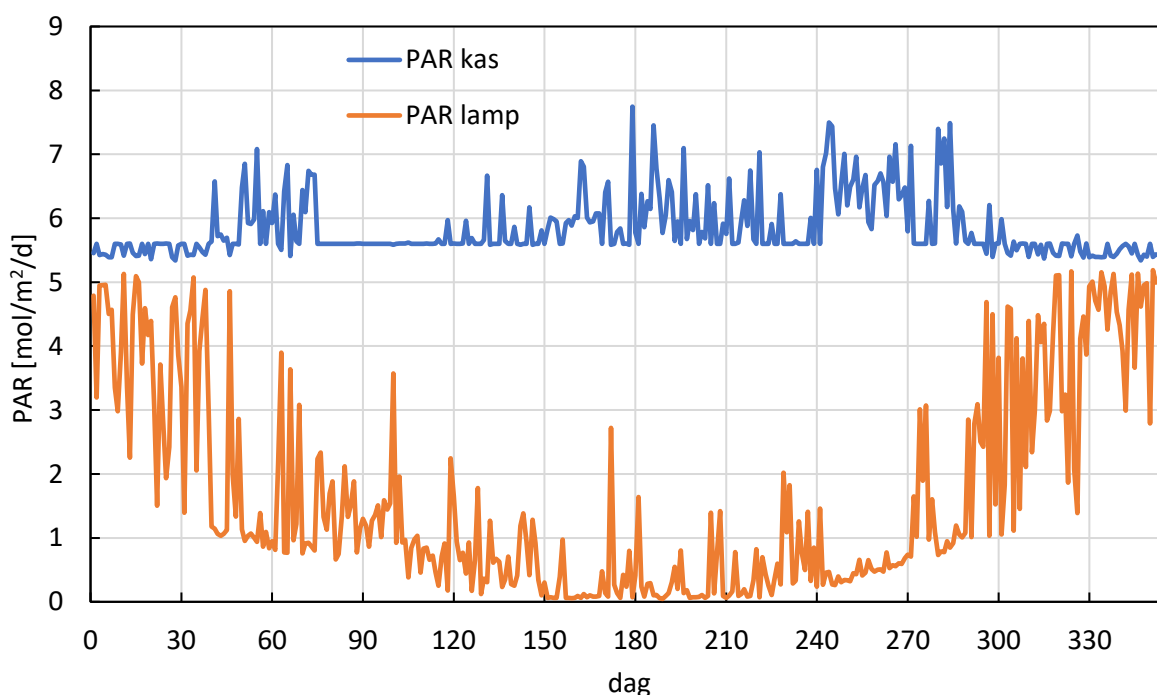
Op basis van de berekende schermstanden, gegevens over krijgt op het kasdek, gemeten straling, en eigenschappen van kas en schermen, kan het PAR niveau in de kas berekend worden. Samen met de regels voor de belichtingsstrategie kan in simulatie de lampsturing bepaald worden om een bepaalde lichtsom over de dag zo efficiënt mogelijk te realiseren. Dat wil zeggen, met zo min mogelijk belichting, rekening houdend met de grenswaarden in Tabel 7, welke niet veel afwijken van de uiteindelijke instellingen tijdens de kasproef zoals weergegeven in (Tabel 1). De gehanteerde strategie is om te belichten als het licht efficiënt benut wordt (dimmen in CAM-fases II en IV) en om het zonlicht efficiënt te benutten door te zorgen dat een gedeelte van CAM-fase III tegelijk valt met het daglicht.

Tabel 7 Grenswaarden voor belichtingsstrategie zoals mee is gerekend in de modelsimulaties.

CAM-fase	Uren voor zon onder	Uren fase	Max intensiteit belichting [$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$]	Max intensiteit belichting + buitenlicht [$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$]	Min intensiteit belichting + buitenlicht [$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$]
I	24 tot 14	10	0	0	0
II	14 tot 13	1	30	30	30
Overgang II -III	13 tot 12	1	60	60	60
III	12 tot 3	7.5	140	250	60
IV (1)	3 tot 1	2	50	200	50
IV (2)	1 tot 0	1	30	150	30

De gewenste dagsom is 5 mol in CAM-fase III en 5.6 mol per dag. De lampen kunnen in de berekende belichting gestuurd worden in stappen van 10 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$.

In Figuur 21 is de berekende PAR-som per dag in de kas te zien (blauw) en de berekende PAR-som van de lampen (oranje) voor het hele jaar 2021. Hierbij zijn de berekende schermstanden gebruikt en de gemeten straling voor 2021.



Figuur 21 Berekende PAR-som per dag in de kas en PAR-som van de lampen voor 2021. NB Soms is de PAR-som beduidend hoger dan streefwaarde 5.6 mol/m²/dag. Dit komt met name door de scherminstellingen: bij veel straling komt er volgens de modelberekening toch meer licht in de kas ondanks dat schermen gesloten zijn.

5.2 Doorrekenen kasproef en aanvullende scenario's

Er zijn in deze stap 3 scenario's doorgerekend:

- 1) Warmte en elektravraag gegeven de schermen en belichting zoals hiervoor beschreven.
- 2) Zoals in scenario 1, maar met 30% minder verdamping.
- 3) Simulatie met isolerend Geysir glas (zie beschrijving hieronder).

Door de instellingen van de kasproef te gebruiken in het model (scenario 1) kan bepaald worden hoeveel energie is verbruikt met de gevolgde teeltstrategie ten opzichte van de praktijk. Daarnaast is gerekend met 30% minder verdamping om een indruk te krijgen van waar kansen liggen tot energiebesparing. Verdamping is een belangrijke bron van energievraag bij Phalaenopsis doordat de kas afkoelt door verdamping en dit weer aangevuld moet worden uit buiswarmte. Hieruit blijkt of het zinvol is om te zoeken naar manieren om verdamping te verminderen.

Eén manier om de verdamping te verminderen is om gebruik te maken van een fijner substraat (Trouwborst en Hogewoning 2017b). Met dit fijner substraat kon er elke 7-8 dagen water gegeven worden in plaats van elke 5 dagen bij het grovere substraat, waardoor er minder vaak water direct vanaf het gewas (en daaromheen) verdampt. Ook was de gemiddelde verdamping per dag vanuit de pot lager bij het fijnere substraat. Een lager vochtdeficiet kan de dagelijkse verdamping ook beperken.

Geysir glas is een nieuw type glas met een speciale coating met lage emissiviteit (low-E), waardoor het betere isolerende eigenschappen heeft, gecombineerd met een hoge hemisferische transmissie. Volgens Breugel *et al.* (2021) kan dat een energiebesparing opleveren van 22% in koude perioden. De coating op het glas zorgt ervoor dat warmte terug de kas in wordt gereflecteerd in plaats van door het glas naar buiten. Omdat er minder condensatie optreedt tegen het kasdek is er een hogere lichttransmissie door het kasdek.

Uit de gegevens van de fabrikant kunnen we de volgende eigenschappen halen voor Geysir 2xAR glas:

- Dikte glas: 4 mm.
- Lichttransmissie: 83%.
- U-waarde (warmtegeleiding) 3.7 W/m²/K (voor standaard glas is dat 5.8 W/m²/K en 3.3 W/m²/K voor dubbel glas).
- Low-E coating heeft geen effect als er gekrijt is. Daarom is van dagnummer 54 tot 239 gerekend met de normale U-waarde.

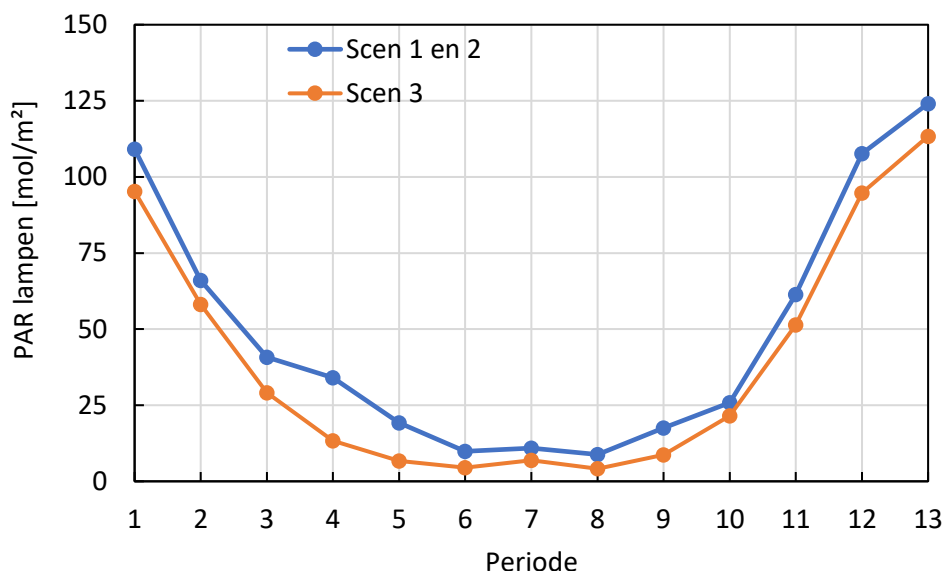
Om het effect hiervan te bepalen is een scenario doorgerekend met de eigenschappen van Geysir 2xAR glas. De instellingen van de schermstanden en belichting zijn gelijk aan scenario 1 & 2. Door de hogere lichttransmissie van het glas wordt er in totaal minder belicht om tot dezelfde lichtsom per jaar te komen in scenario 3.

Resultaten

In Tabel 8 is een overzicht gegeven van de verschillen in belichting tussen scenario 1 en 2 en scenario 3. De regels om tot de belichting te komen zijn gelijk, alleen de eigenschappen van het glas zijn aangepast. In scenario 3 is de totale lichtsom hoger en is er minder belichting nodig, omdat er meer licht van buiten in de kas komt. De schermsturing is in de drie scenario's gelijk gehouden omdat deze in de kasproef met name afhankelijk is van tijd en stralingsintensiteit.

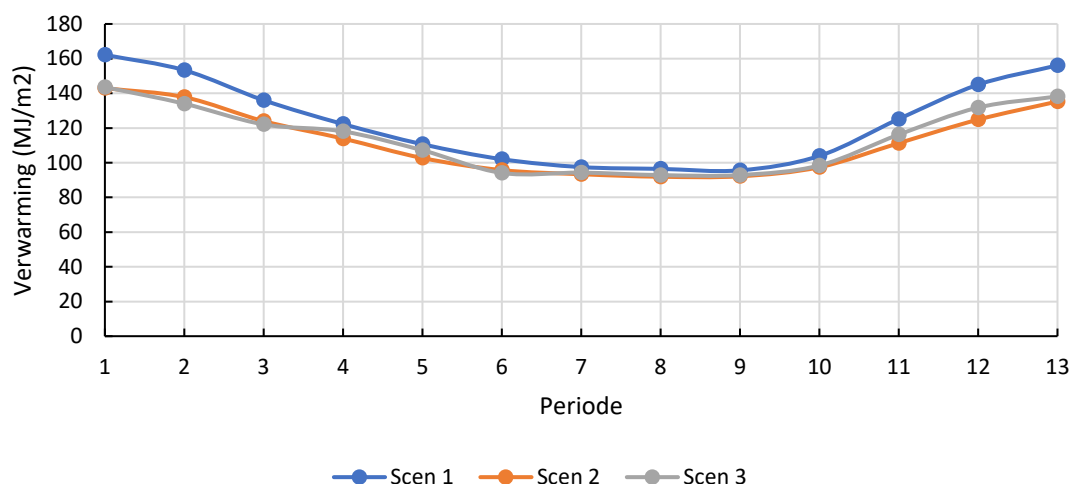
Tabel 8 Lichtsommen per jaar (2021) berekend voor scenario 1 & 2 met enkel glas en voor scenario 3 met Geysir-glas.

	Scenario 1 en 2	Scenario 3	Eenheid
Totale lichtsom PAR in kas	2126	2567	mol/m ² /jaar
Totale lichtsom belichting	636	508	mol/m ² /jaar
Aantal uur >10% belichting	2506	2014	uur
Aantal uur 100% belichting	264	213	uur



Figuur 22 PAR-som uit belichting per periode van 4 weken over het jaar 2021 berekend voor scenario 1 & 2 met enkel glas en voor scenario 3 met Geysir-glas. De hogere lichttransmissie van het Geysirglas resulteert in een lagere berekende belichting.

Verwarming per periode



Figuur 23 Berekende warmtevraag per periode 4 weken over het jaar 2021 berekend voor scenario 1 & 2 met enkel glas en voor scenario 3 met Geysir glas. De hogere lichttransmissie van het Geysirglas resulteert in een lagere berekende belichting.

De totale warmtevraag over 2021 voor scenario 1 was 1606 MJ/m² (Tabel 9). Dit is beduidend minder dan de 2258 MJ/m² warmtevraag in de praktijk met enkel glas zoals berekend bij de vorige kasproef (Hogewoning *et al.*, 2022). In scenario 2 met 30% minder verdamping is de totale warmtevraag 9% lager vergeleken met scenario 1. De elektravraag is in beide scenario's gelijk omdat de belichting onveranderd is gebleven. Geysirglas zorgt voor 9% minder energieverbruik ten opzichte van scenario 1 doordat de warmtevraag lager is (8%) en er ook minder belicht hoeft te worden om aan de PAR-som per dag te komen.

De hierboven genoemde besparingen zijn gemiddelden over het jaar 2021. In de winterperiode is de besparing door een lagere verdamping en door Geysirglas hoger dan in de zomer. In periode 1 (januari) is de berekende besparing op verwarming door zowel een lagere verdamping als door Geysirglas ieder in de orde van 12%. De combinatie van beide zou tot een besparing op verwarming leiden van 21% in januari.

Tabel 9 Berekende warmte- en elektravraag 2021 voor scenario 1, strategie zoals kasproef, scenario 2 met 30% minder verdamping, scenario 3 met Geysirglas en praktijk met enkel glas en SON-T belichting (scenario 12 in Hogewoning *et al.* 2022).

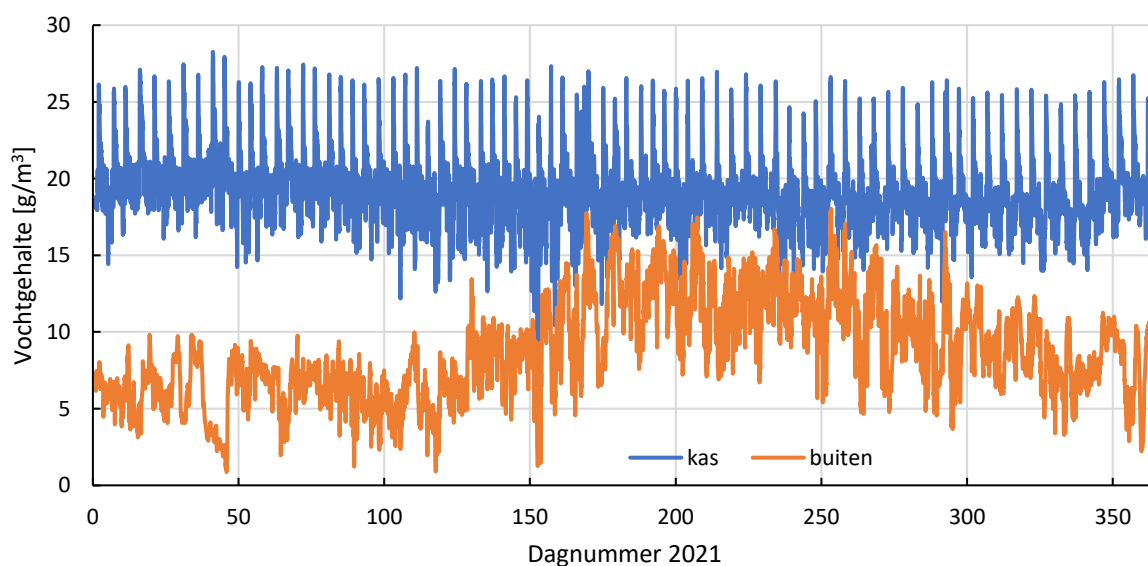
	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Praktijk
Elektra lampen (kWh/m ²)	47.7	47.7	38.1	83.0
Warmtevraag (MJ/m ²)	1606	1464	1484	2258
Totaal gas eq. [m ³ /m ² /jr]	50.6	46.5	46.1	72.7

5.3 Rekenen aan vocht

Verdamping is een belangrijke component in de energiebalans. Het energieverlies door verdamping moet aangevuld worden met buiswarmte. In het volgende hoofdstuk wordt er gerekend aan het telen met meerdere lagen in de kas. Hierbij wordt de relatieve bijdrage van verdamping op de energiebalans groter, doordat het energieverlies van het kasdek en ventilatie verdeeld wordt over meer gewasoppervlak. Er is gerekend aan de vochtbalans om te bepalen of er verbeteringen mogelijk zijn aan het verdampingsonderdeel van het model. Verdamping, ventilatie en condensatie zijn de drie belangrijkste vochtstromen die de hoeveelheid vocht in de kaslucht bepalen. Door verdamping neemt de vochtconcentratie in de kaslucht toe. Door ventilatie en condensatie neemt de vochtconcentratie in de kaslucht juist af. Als de vochtconcentratie in de kas gelijk blijft zijn deze drie fluxen in balans.

Phalaenopsis is een CAM-plant. Hierdoor is de huidmondjesopening grotendeels tegengesteld aan die van C3-gewassen. De gewasverdamping is vergeleken met de meeste andere tuinbouwgewassen extreem laag. Verdamping in de kas komt door verdamping door het gewas, het substraat, en verdamping van vocht dat op andere kasonderdelen (zoals de grond) achterblijft na watergeven. Van de totale verdamping kan substraatverdamping 50-80% uitmaken en vochtdeficiet heeft een grote invloed op de mate van verdamping (Baas, 2008, 2009).

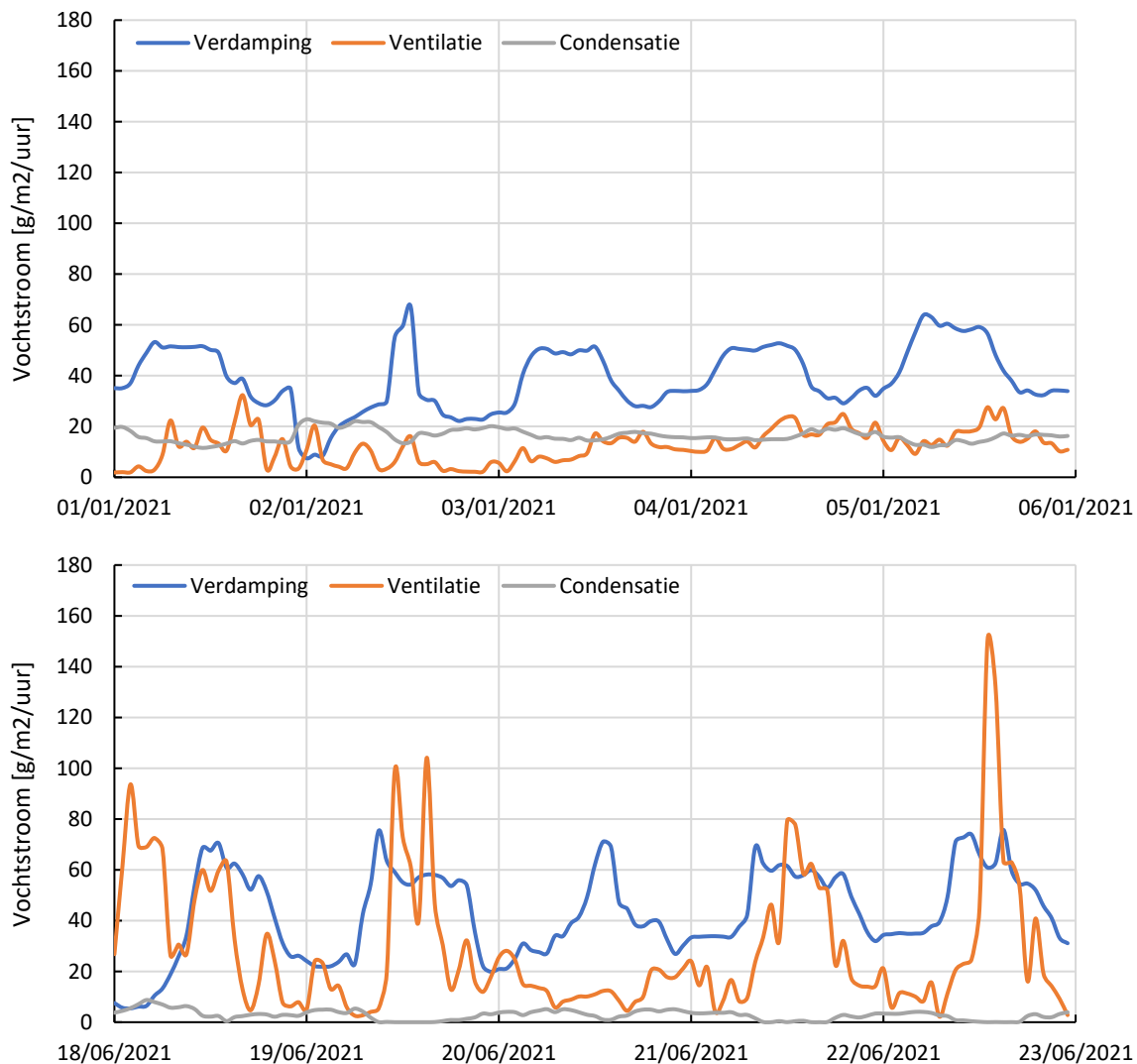
Met de data van het praktijkbedrijf uit 2021 waar ook de energieberekeningen mee zijn uitgevoerd, zijn ook berekeningen aan vocht in de kas gedaan. In Figuur 24 is het absoluut vochtgehalte in g/m^3 in de kas en buiten voor het hele jaar 2021 weergegeven. De watergeefmomenten zijn duidelijk te zien aan de pieken in het absolute vochtgehalte in de kas. In het verloop van het absolute vochtgehalte buiten is een duidelijke ontwikkeling gedurende het jaar zichtbaar, terwijl de omstandigheden in de kas veel constanter zijn.



Figuur 24 Absoluut vochtgehalte in de kas en buiten in 2021.

De totale vochtstroom door ventilatie is voor het hele jaar 2021 berekend op 313 kg/m². De totale verdamping is berekend op 379 kg/m². Het verschil tussen de totale verdamping en ventilatie is 66 kg/m², wat toegeschreven wordt aan de totale condensatie in 2021.

Voor 5 dagen in januari en 5 dagen in juni zijn de berekende verdamping, ventilatie en condensatie op uurbasis weergegeven in Figuur 25. De condensatie is berekend op basis van een eenvoudig model op basis van binnen- en buiten temperatuur en absoluut vochtgehalte in de kas (Bontsema *et al.*, 2007).



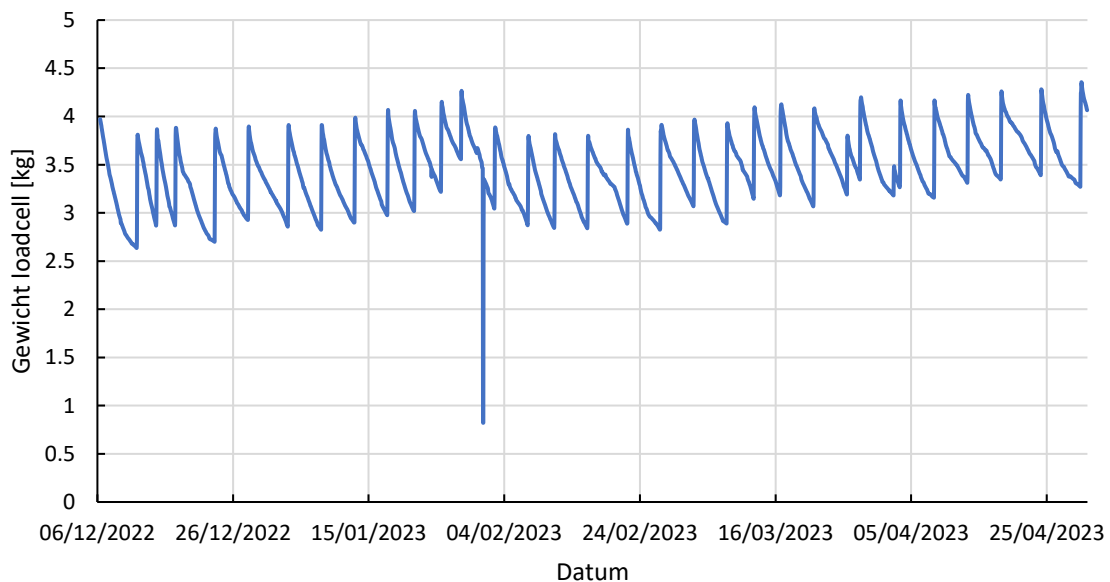
Figuur 25 Berekende verdamping, ventilatie en condensatie op uurbasis voor 5 dagen in januari (boven) en juni (onder). De condensatie is berekend op basis van een model op basis van binnen- en buiten temperatuur en absoluut vochtgehalte in de kas (Bontsema *et al.*, 2007).

Er is een duidelijk verschil tussen de vochtstroom door ventilatie in januari en juni. In januari is het kouder en wordt er zo min mogelijk gelucht. In juni is er duidelijk meer uitwisseling tussen binnen en buiten door de grotere raamopeningen. De berekende condensatiestroom is juist in januari hoger dan in de periode in juni. Het niveau van de verdamping ligt in beide perioden ongeveer op gelijke hoogte. In de berekende verdamping is een duidelijk dag/nacht

patroon zichtbaar door de invloed van licht in het verdampingsmodel. Het gebruikte verdampingsmodel heeft licht en vochtdeficiet als input. De lichtfactor draagt bij aan 29% van de totale verdamping en het vochtdeficiet factor 71% van de totale berekende verdamping in 2021. Het gebruikte model geeft op dagbasis resultaten die aansluiten bij eerder gevonden waarden in de literatuur (Hogewoning *et al.*, 2022).

Load cell data kasproef

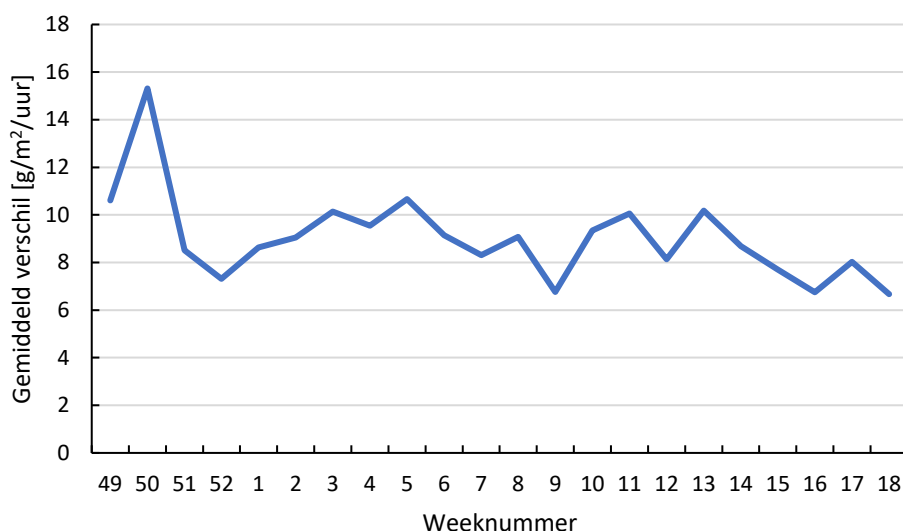
Tijdens de kasproef zijn er metingen gedaan met een load cell (Foto 1). Dit is een weegschaal die op een oppervlak van 0.164 m² iedere 5 minuten het gewicht van 10 planten registreert. In Figuur 26 zijn de uurgemiddelde data van de load cell te zien voor de periode van 6 december 2022 t/m 30 april 2023. De verticale lijnen zijn de watergeefmomenten. De uitschieter naar beneden rond 31 januari 2023 is het gevolg van het verplaatsen van planten in de kas en de load cell.



Figuur 26 Ruwe data load cell van 6 december 2022 t/m 30 april 2023.

Van de gemiddelde uurdata is het verschil tussen ieder datapunt en het vorige datapunt berekend. Alle waarden groter dan 0 vertegenwoordigen een toename in gewicht. Alle waarden kleiner dan 0 vertegenwoordigen een afname in gewicht. Positieve waarden worden voor de verdere analyse buiten beschouwing gelaten. Alle waarden kleiner -0,2 worden verondersteld uitschieters te zijn door bijvoorbeeld het verplaatsen van planten. Deze punten worden ook buiten beschouwing gelaten. Resultaat na deze filterstappen is dat van de in totaal 3657 waarden (uurgemiddelden) nog 3360 datapunten over zijn.

De totale gewichtsafname over de geanalyseerde periode was 30,4 kg. Dat is gemiddeld 55,2 gram/m²/uur een periode van 140 dagen en omgerekend naar m² per jaar is dat 483 kg/m²/jaar. Dat is meer dan de eerder berekende 379 kg/m², echter, de slechts 0.164 m² van de load cell kan om meerdere redenen niet representatief zijn voor de absolute verdamping in de hele kas. De gemiddelde gewichtsafname van de load cell per week is te zien in Figuur 27.



Figuur 27 Afname gewicht load cell in gram per m² per uur gemiddeld per week, op basis waarvan veranderingen in het verdampingspatroon over de tijd inzichtelijk worden.

Opvallend in Figuur 27 zijn de hogere waarden in de eerste 2 weken begin december 2023. Het verschil met de periode vanaf half december is te verklaren doordat er in week 50 een koude periode was met een gemiddelde temperatuur van -1.2°C . In deze periode was de luchtvochtigheid daardoor ook laag. Vanaf 3 januari is mede daarom besloten om de minimum RV te verhogen (zie ook hoofdstuk 3.2). De extra gewichtsafname rond week 50 zorgt ervoor dat het gemiddelde verdamping omhoog gaat. De gemiddelde gewichtsafname komt op $53.7 \text{ gram/m}^2/\text{uur}$ ($=1.29 \text{ liter/m}^2/\text{dag}$) als alleen wordt gekeken naar de data vanaf 1 januari ($-2,6\%$).

Er is een analyse gemaakt om het verband tussen de gewichtsafname en PAR, RV en VD te kunnen duiden (Bijlage IV). Dit is gedaan door de gewichtsafname per uur uit te zetten tegen PAR, RV en VD. Hieruit zijn geen duidelijke verbanden gekomen. Dit betekent niet dat er geen verband is, alleen dat er in de data te veel ruis is om een verband aan te tonen.

Discussie

Verdamping vanuit plant en pot (inzichtelijk via load cell gewicht) is niet al het water dat wordt toegevoegd aan de kaslucht. Er komt ook water op de vloer wat nog vrij kan verdampen. De totale verdamping van water zal dus nog hoger zijn na een watergeefbeurt. Dit duurt zolang nog niet al het vrije water is verdampt. Zodra de vloer droog is, is deze bijdrage 0 tot het volgende watergeefmoment. Uit waarnemingen blijkt dat het ongeveer 7 uur duurde voordat de vloer droog was.

Het gebruikte model om de verdamping te berekenen geeft op jaarbasis waarden vergelijkbaar met eerder gevonden getallen in de literatuur ($389 \text{ L/m}^2/\text{jaar}$, Dueck et al., 2011). Uit de data gemeten met de load cell in de kasproef komen hogere waarden voor de totale gewichtsafname. Hoewel er geen volledig jaar aan meetdata beschikbaar is, lijkt de totale verdamping toch zo'n 20% hoger te liggen. De meest waarschijnlijke oorzaak voor deze hogere

verdamping is de extra luchtbeweging dankzij de aanwezigheid van ventilatoren met luchtslurven onder de tafel. De luchtvochtigheid en VD lijken ook van invloed te zijn op de totale verdamping. Toen in december 2022 de RV te laag was tijdens een koude periode was er meer verdamping dan in de periode daarna.

Uit de analyse van de load cell data blijkt geen duidelijk verband tussen verdamping, PAR, RV en VD. Het gebruikte verdampingsmodel gebruikt PAR en VD als input. In de berekening van de verdamping op dagbasis is een duidelijk dag/nacht patroon zichtbaar (Figuur 25), waarbij er overdag meer berekende verdamping is en ook meer PAR en meer ventilatie in de zomer (hogere VD). Dit patroon komt niet duidelijk terug uit de load cell data. Het is mogelijk dat de invloed van de lichtfactor in het model te groot is. Op jaarbasis komt het model wel op logische waarden, maar het model heeft dus nog wel onvolkomenheden.

5.4 Meerlagenteelt

Een mogelijk alternatief voor de 'traditionele kasteelt' is telen in meerdere lagen in de kas. Dit maakt energiebesparing mogelijk doordat een groter teeltoppervlak in dezelfde kas geplaatst wordt. Er is gerekend met een systeem met 2 teeltlagen en met 4 teeltlagen. Beide systemen zijn doorgerekend met een belichtingscapaciteit van 100 en 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Het systeem met één teeltlaag is al eerder doorgerekend (hoofdstuk 5.2), waarbij de maximale belichting 140 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ belichting was.

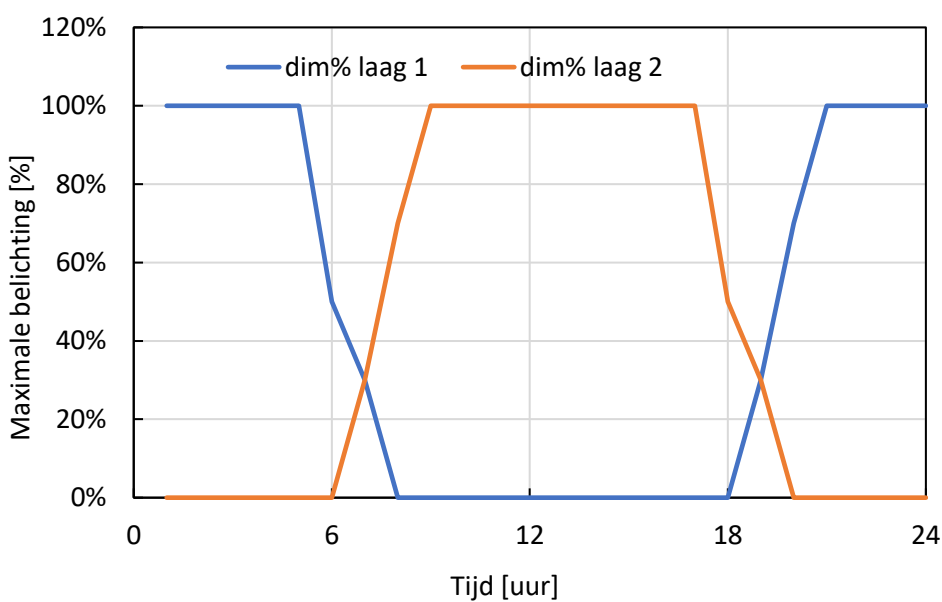
Voor het opstellen van het belichtingsschema bij meer dan 1 teeltlaag zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Warmtetoevoer LED vrij constant over etmaal.
- Stroomvraag nooit hoger dan 100%: aansluitingskosten beperkt.
- Stroomvraag minimaliseren op uren met vaak hoge kWh-prijs in ochtend en namiddag waar dat kan.
- Bovenste teeltlaag daglicht benutten in CAM-fase III en LED dimmen waar het kan.

Op basis van die uitgangspunten is gerekend met het belichtingsschema zoals weergegeven in Tabel 10. De onderste teeltlaag is altijd laag 1. De laag daarboven is laag 2. Bij 2 teeltlagen heeft teeltlaag 2 ook zonlicht, bij 4 teeltlagen geldt dat alleen voor teeltlaag 4. Het maximale belichtingspercentage voor 2 teeltlagen is te zien in Figuur 28.

Tabel 10 Maximale output LED (%) per teeltlaag in belichtingsschema met 2 teetlagen (links) en 4 lagen (rechts).

2 teetlagen				4 teetlagen					
uur	onder dim%	boven dim%	SOM	uur	onder dim%	midden dim%	midden dim%	boven dim%	SOM
etmaal	laag 1	laag 2		etmaal	laag 1	laag 2	laag 3	laag 4	
1	100%		100%	1	100%		100%		200%
2	100%		100%	2	100%		100%		200%
3	100%		100%	3	100%		100%		200%
4	100%		100%	4	100%		100%		200%
5	100%		100%	5	100%		100%		200%
6	50%		50%	6	50%		50%		100%
7	30%	30%	60%	7	30%	30%	30%	30%	120%
8		70%	70%	8		70%		70%	140%
9		100%	100%	9		100%		100%	200%
10		100%	100%	10		100%		100%	200%
11		100%	100%	11		100%		100%	200%
12		100%	100%	12		100%		100%	200%
13		100%	100%	13		100%		100%	200%
14		100%	100%	14		100%		100%	200%
15		100%	100%	15		100%		100%	200%
16		100%	100%	16		100%		100%	200%
17		100%	100%	17		100%		100%	200%
18		50%	50%	18		50%		50%	100%
19	30%	30%	60%	19	30%	30%	30%	30%	120%
20	70%		70%	20	70%		70%		140%
21	100%		100%	21	100%		100%		200%
22	100%		100%	22	100%		100%		200%
23	100%		100%	23	100%		100%		200%
24	100%		100%	24	100%		100%		200%



Figuur 28 Maximale output LED (%) per teeltlaag in belichtingsschema met 2 teetlagen.

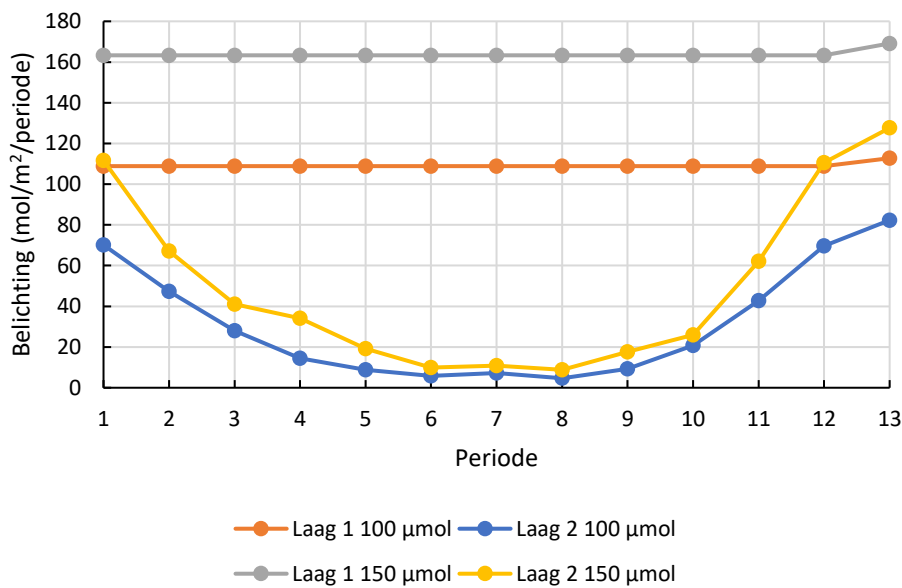
Er zijn in totaal 6 scenario's die doorgerekend worden:

- 1) 1 laag, maximale belichting 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$
- 2) 1 laag, maximale belichting 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$
- 3) 2 lagen, maximale belichting 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$
- 4) 2 lagen, maximale belichting 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$
- 5) 4 lagen, maximale belichting 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$
- 6) 4 lagen, maximale belichting 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$

De belichtingseigenschappen en de regeling van de schermstanden voor de bovenste teeltlaag zijn berekend zoals in de voorgaande scenario's. De gewenste dagsom (DLI) is 3.9 mol/m²/d voor de scenario's met 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ en 5.6 mol/m²/d voor de scenario's met 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Voor de teeltlagen zonder daglicht resulteert het belichtingsschema (Tabel 10) in 3.9 mol/m²/dag bij 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ en 5.8 mol/m²/dag bij 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Aanname in de berekeningen is dat de verdamping evenredig toeneemt met het aantal teeltlagen. Dezelfde praktijkdata uit 2021 als bij voorgaande scenario's zijn gebruikt bij de enkele teeltlaag.

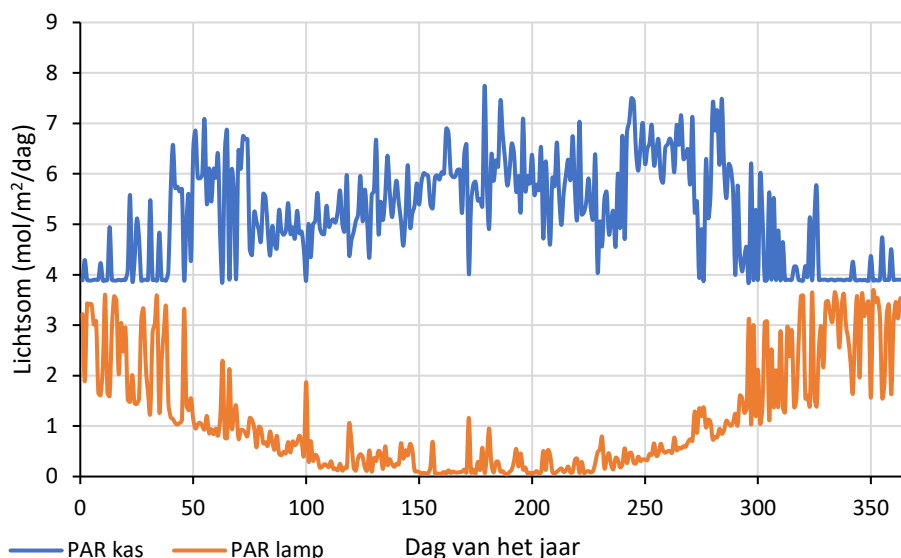
Belichting

De totale belichting per periode van 28 dagen is weergegeven in Figuur 29. Laag 1 is de onderste laag en laag 2 is de bovenste teeltlaag met zonlicht. In het scenario met 4 lagen wordt de totale lichtsom per vierkante meter grondoppervlak 3 keer laag 1 plus de belichting op laag 2. In dit scenario is de lichtsom van de onderste 3 lagen gelijk aan elkaar.



Figuur 29 Belichting in $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ gemiddeld per kalenderperiode van 4 weken per teeltlaag in een tweelagensysteem met maximaal 100 en 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ belichtingscapaciteit, waarbij gestuurd is op een dagsom van respectievelijk 3.9 en 5.8 mol/m² (dat is in een periode van 4 weken respectievelijk 109 en 162 mol/m²)

In Figuur 30 is de totale lichtsom per dag op de bovenste teeltlaag te zien voor de scenario's met 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Op alle dagen in het jaar is het mogelijk om met de gegeven maximale intensiteit van 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ de gewenste lichtsom van minimaal 3.9 mol/m²/dag te bereiken. De grafiek toont eveneens de benodigde belichting in mol/m²/d (oranje lijn).



Figuur 30 Totale lichtsom in mol/m² per dag en lichtsom van de belichting op de bovenste teeltlaag met maximaal 100 μmol/m²/s LED-belichting. Soms wordt belicht en is de lichtsom toch hoger dan de minimale streefwaarde van 3.9 mol/m²/dag (bijvoorbeeld dag 50). Dit is vanwege de belichting in de ochtend (voor zon op) op dagen dat er wel ruim voldoende daglicht is.

De totale belichting die nodig is per m² grondoppervlak bij de verschillende aantallen teeltlagen is gegeven in Tabel 11. Gegeven de efficiency van de LED-belichting van 3.7 μmol/J waarmee is gerekend, kan de elektriciteit worden berekend die nodig is om deze lichtsom te maken.

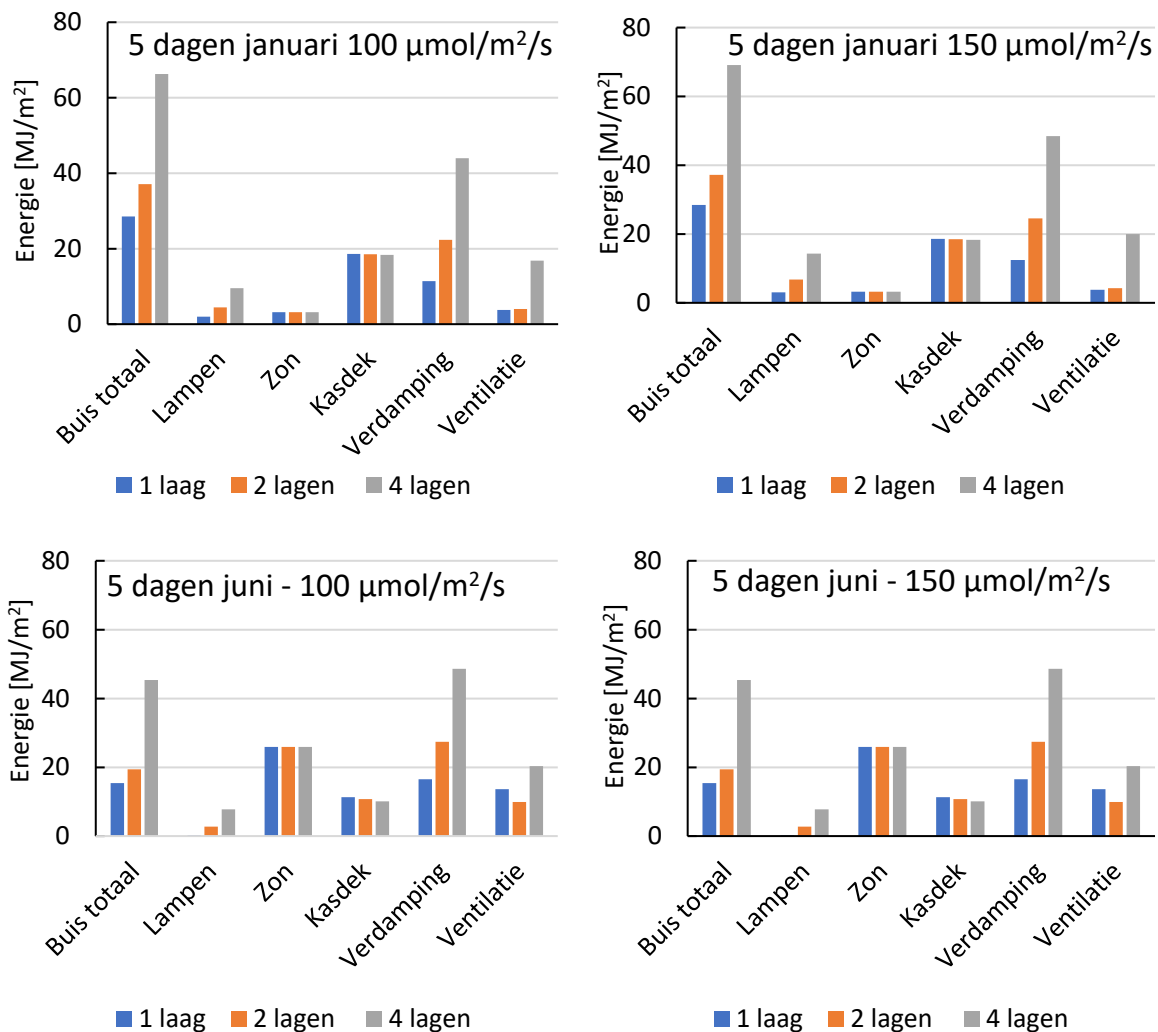
Tabel 11 Totaal benodigde belichting per vierkante meter grondoppervlak en benodigde elektra voor LED-belichting per vierkante meter grondoppervlak, waarbij gestuurd is op een dagsom van 3.9 en 5.8 mol/m² met een belichtingscapaciteit per teeltlaag van respectievelijk 100 en 150 μmol/m²/s.

Totale belichting	100 μmol/m ² /s	150 μmol/m ² /s	Eenheid
1 laag	411.1	646.5	mol/m ² grond/jaar
2 lagen	1830.2	2775.2	mol/m ² grond /jaar
4 lagen	4668.5	7032.5	mol/m ² grond /jaar

Elektra voor belichting	100 μmol/m ² /s	150 μmol/m ² /s	Eenheid
1 laag	30.9	48.5	kWh/m ² grond/jaar
2 lagen	137.4	208.3	kWh/m ² grond/jaar
4 lagen	350.5	528.0	kWh/m ² grond/jaar

Warmtevraag

De energiestromen zijn voor 5 dagen in januari (1 t/m 5 januari 2021) en 5 dagen in juni (18 t/m 22 juni 2021) doorgerekend. De energiestromen over deze periode uitgedrukt in MJ/m² zijn weergegeven voor de twee verschillende maximale belichtingsintensiteiten (Figuur 31). Voor de RV is een maximale waarde van 80% gebruikt. Zodra de RV in de kas boven deze waarde komt is er in de simulatie extra geventileerd om vocht af te voeren (wat ook warmte kost).



Figuur 31 Som van de energiestromen voor 5 dagen in januari en 5 dagen in juni 2021 bij een maximale intensiteit van $100 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ LED-belichting (links) en $150 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (rechts). Buis, lampen en zon zijn positieve waarden, en kasdek, verdamping en ventilatie zijn negatieve waarden op de energiebalans.

Met meer planten per vierkante meter grondoppervlak door de extra teeltlagen neemt de verdamping toe. In de winterperiode is het aandeel ventilatie in de energiebalans veel kleiner vergeleken met de zomerperiode. Doordat er meer verdamping is bij meer lagen is er minder ventilatie nodig vanwege temperatuur. In de periode in juni is er met 1 teeltlaag geen belichting nodig om de gewenste lichtsom te bereiken. Door het toevoegen van daglichtloze teeltlagen is er wel belichting nodig. Het aandeel stralingswarmte van de zon is fors hoger vergeleken met de dagen in januari.

In januari is ook in de berekening met 1 teeltlaag belichting nodig. Het aandeel warmte van de lampen schaal evenredig mee met het aantal teeltlagen. De toename in verdamping wordt vooral gecompenseerd door extra buisverwarming en de warmte van de lampen. Door de extra verdamping moet er ook meer vocht afgevoerd worden om de RV in de kas niet te hoog te laten oplopen. In de berekeningen is extra geventileerd om vocht af te voeren en niet boven

de maximaal toegestane RV van 80% te komen. Een lager RV-setpoint zal leiden tot een hogere ventilatiestroom om vocht af te voeren en dus ook in een hogere warmtevraag.

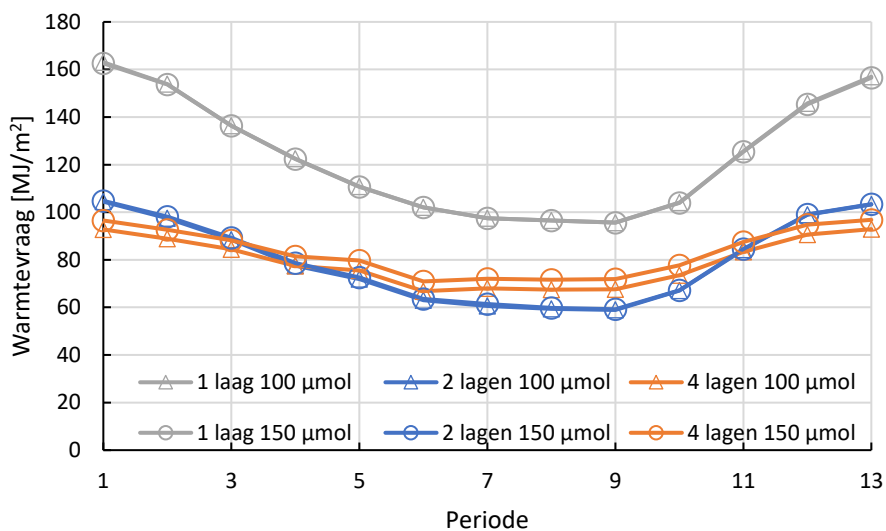
De totale warmtevraag neemt toe in zowel de winter- als de zomerperiode bij meer lagen. De warmtevraag per teeltlaag neemt echter af naar mate er meer lagen worden toegevoegd in januari (Tabel 12). In juni is er wel een afname in warmtevraag van 1 naar 2 lagen, maar juist een toename van 2 naar 4 lagen. Deze toename wordt veroorzaakt door de extra ventilatie die nodig is om het extra verdampte vocht af te voeren door de extra teeltlagen. Ventilatie voor ontvochtiging geeft relatief veel energieverlies. Naarmate het aantal lagen toeneemt, neemt ook het relatieve effect van de bovenlaag met zonlicht op de totale warmtevraag af.

De elektravraag per vierkante meter gewas neemt toe naarmate meer lagen worden toegevoegd. De grootste toename is tussen 1 en 2 teeltlagen omdat het aandeel zonlicht op de bovenste laag ten opzichte van het totaal aantal teeltlagen steeds kleiner wordt.

Tabel 12 Gemiddelde lichtsom (LED + daglicht), lichtsom LED, elektra- en warmtevraag per laag per dag gemiddeld over 5 dagen in januari en 5 dagen in juni bij 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ LED-belichting.

Belichting	150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ - januari			150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ - juni		
	1 laag	2 lagen	4 lagen	1 laag	2 lagen	4 lagen
Gemiddelde lichtsom [$\text{mol}/\text{m}^2/\text{d}$]	5.6	5.7	5.7	6.0	5.9	5.8
Gemiddelde LED-som [$\text{mol}/\text{m}^2/\text{d}$]	4.7	5.2	5.5	0.7	3.3	4.5
Elektra lampen [kWh/m^2 gewas]	0.35	0.39	0.41	0.06	0.25	0.34
Elektra lampen [MJ/m^2 gewas]	1.27	1.42	1.49	0.20	0.88	1.23
Warmtevraag [MJ/m^2 gewas]	28.5	18.6	17.3	15.3	9.9	12.1
Totale energievraag [MJ/m^2 gewas]	29.7	20.0	18.8	15.5	10.8	13.3

De warmtevraag per laag over het hele jaar is ook berekend en wordt per laag fors lager bij het toevoegen van een tweede teeltlaag (Tabel 13). Bij 4 teeltlagen is bij 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ de warmtevraag over het hele jaar per teeltlaag zelfs net ietsje hoger dan bij 2 teeltlagen. Bij 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ is de warmtevraag per teeltlaag bij 4 lagen bijna gelijk aan 2 teeltlagen. De iets hogere warmtevraag bij 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ en 4 teeltlagen is het gevolg van extra verdamping waardoor er ook meer geventileerd moet worden (Figuur 31). In de zomermaanden is de warmtevraag per teeltlaag daardoor bij 4 lagen iets hoger dan bij 2 teeltlagen, in de winter is de warmtevraag per teeltlaag bij 4 teeltlagen juist iets lager (Figuur 32). Doordat er bij 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ minder verdamping is, is bij deze intensiteit het verschil tussen 4 en 2 teeltlagen kleiner. Uit Tabel 13 komt duidelijk weer naar voren dat verdamping en ventilatie relatief grote energieverliezen opleveren in een situatie waarin wordt ontvochtigd via de luchtramen.



Figuur 32 Berekende warmtevraag per m^2 gewas zonder actieve ontvochtiging per periode van 4 weken in 2021 voor 1, 2 en 4 teeltlagen bij een maximale intensiteit LED-belichting van 100 en 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ en streef-lichtsom van 3.9 en 5.8 $\text{mol}/\text{m}^2/\text{dag}$ per laag.

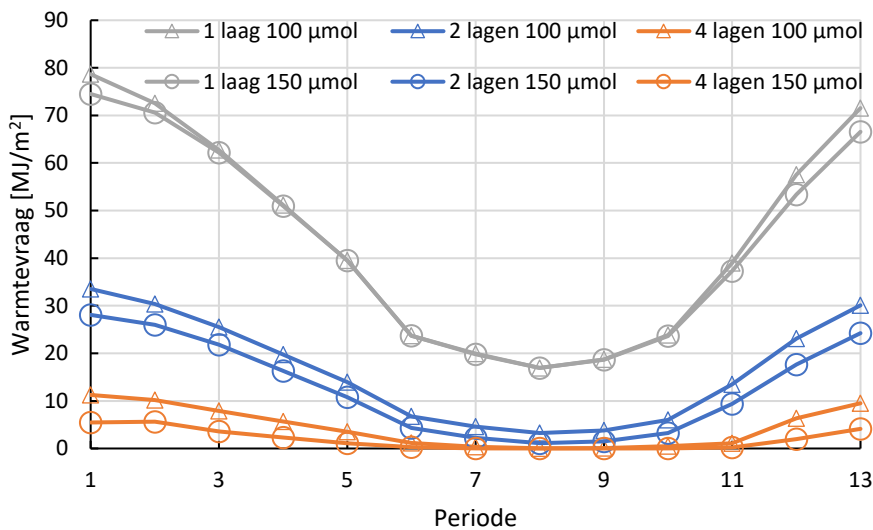
Tabel 13 Energiestromen voor een kas zonder actieve ontvochtiging in MJ/m² over het hele jaar 2021 voor 1, 2 en 4 lagen bij een maximale intensiteit LED-belichting van 100 μmol/m²/s (links) en 150 μmol/m²/s (rechts) en een streef-lichtsom van 3.9 en 5.8 mol/m²/dag per laag voor respectievelijk 100 en 150 μmol/m²/s. Met + en - staat aangegeven welke energiestromen positief of negatief zijn op de energiebalans. Het elektraverbruik en de warmtevraag zijn onderaan de tabel omgerekend naar aardgasequivalenten.

		100 μmol/m ² /s			150 μmol/m ² /s		
		Energiestromen per m ² grond			Energiestromen per m ² grond		
		1 laag	2 lagen	4 lagen	1 laag	2 lagen	4 lagen
Buis totaal (+)	[MJ/m ²]	1610	2071	4118	1609	2083	4328
Lampen (+)	[MJ/m ²]	48	230	596	81	341	888
Zon (+)	[MJ/m ²]	1342	1342	1342	1342	1342	1342
Kasdek (-)	[MJ/m ²]	1071	1043	1015	1071	1043	1015
Verdamping (-)	[MJ/m ²]	1111	1943	3583	1141	2046	3856
Ventilatie (-)	[MJ/m ²]	819	657	1458	819	677	1687
Elektra lampen	[kWh/m ²]	30.9	137.4	350.5	48.5	208.3	528.0
Elektra lampen	[m ³ /m ²]	3.2	14.1	35.9	5.0	21.3	54.0
Warmtevraag	[m ³ /m ²]	45.8	58.9	117.1	45.7	59.2	123.1
Totaal gas eq.	[m ³ /m ²]	48.9	72.9	153.0	50.7	80.6	177.1
		Energiestromen per m ² gewas			Energiestromen per m ² gewas		
		1 laag	2 lagen	4 lagen	1 laag	2 lagen	4 lagen
Buis totaal (+)	[MJ/m ²]	1610	1035	1029	1609	1042	1082
Lampen (+)	[MJ/m ²]	48	115	149	81	170	222
Zon (+)	[MJ/m ²]	1342	671	335	1342	671	335
Kasdek (-)	[MJ/m ²]	1071	521	254	1071	521	254
Verdamping (-)	[MJ/m ²]	1111	972	896	1141	1023	964
Ventilatie (-)	[MJ/m ²]	819	328	364	819	338	422
Elektra lampen	[kWh/m ²]	30.9	68.7	87.6	48.5	104.2	132.0
Elektra lampen	[m ³ /m ²]	3.2	7.0	9.0	5.0	10.7	13.5
Warmtevraag	[m ³ /m ²]	45.8	29.4	29.3	45.7	29.6	30.8
Totaal gas eq.	[m ³ /m ²]	48.9	36.5	38.2	50.7	40.3	44.3

De energiebesparing met meerlagen zal hoger zijn wanneer actieve ontvochtiging met warmteterugwinning toegepast kan worden. Het elektragebruik zal hierdoor wel stijgen, maar de warmtevraag zal afnemen, doordat minder ventilatie nodig is en latente warmte uit waterdamp via condensatie kan worden teruggewonnen. Het energieverbruik van de zes scenario's is opnieuw berekend met toepassing van een condensatie-ontvochtiger (Tabel 14). Hierbij is uitgegaan van een efficiëntie van de ontvochtiger van 0.2 kWh/L. De RV-setpoint in de simulatie is 80%. Daarboven gaat de ontvochtiging aan, in plaats van het openen van de ramen om vocht af te voeren. Daarnaast komt er warmte vrij uit elektra en teruggewonnen latente warmte. Wanneer er gelucht wordt op temperatuur schakelt de ontvochtiging uit.

Doordat de ramen veel vaker gesloten blijven, wordt er fors bespaard op warmteverlies door ventilatie (Tabel 14, vergelijk met de situatie zonder actieve ontvochtiging in Tabel 13). Daarnaast blijft met behulp van de ontvochtiging de latente warmte in de kas. Dit zorgt ervoor dat er in de zomermaanden bij meerdere teeltlagen bijna geen warmtevraag via de buizen

overblijft. De warmtevraag wordt dan ingevuld door de energie van de lampen, de zon en terugwinning van latente warmte door ontvochtiging. Dit betekent dat er een verschuiving plaatsvindt in energieverbruik van gas naar elektriciteit. Daarnaast daalt het totale energieverbruik naar 25.8 of 23.6 m³ aardgasequivalenten per m² gewas bij respectievelijk 2 en 4 teeltlagen (situatie lichtsom 3.9 mol/m²/dag met 100 μmol/m²/s belichting; Tabel 14). Dat is fors minder dan de 36.5 of 38.2 m³ aardgasequivalenten per m² gewas bij respectievelijk 2 en 4 teeltlagen in de eerder berekende situatie zonder actieve ontvochtiging (Tabel 13). Verder blijkt uit de berekening dat met ontvochtiging bij 1 teeltlaag de totale energievraag daalt van 48.9 m³/m² naar 31.8 m³/m² aardgasequivalenten. Dit is al 35% lager dan zonder ontvochtiging. Dit laat zien dat ook zonder de stap naar meerdere teeltlagen ontvochtiging fors kan bijdragen aan energiebesparing in de teelt van Phalaenopsis.



Figuur 33 Berekende warmtevraag per m² gewas met actieve condensatie-ontvochtiging per periode van 4 weken in 2021 voor 1, 2 en 4 teeltlagen bij een maximale intensiteit LED-belichting van 100 en 150 μmol/m²/s en streeflichtsom van 3.9 en 5.8 mol/m²/dag per laag

Tabel 14 Energiestromen met ontvochtiging in MJ/m² over het hele jaar 2021 voor 1, 2 en 4 lagen bij een maximale intensiteit LED-belichting van 100 μmol/m²/s (links) en 150 μmol/m²/s (rechts) en een streef-lichtsom van 3.9 en 5.8 mol/m²/dag per laag voor respectievelijk 100 en 150 μmol/m²/s. Met + en - staat aangegeven welke energiestromen positief of negatief zijn op de energiebalans. Het elektraverbruik en de warmtevraag zijn onderaan de tabel omgerekend naar aardgasequivalenten.

		100 μmol/m ² /s			150 μmol/m ² /s		
		Energiestromen per m ² grond			Energiestromen per m ² grond		
		1 laag	2 lagen	4 lagen	1 laag	2 lagen	4 lagen
Buis totaal (+)	[MJ/m ²]	576	428	230	558	333	99
Lampen (+)	[MJ/m ²]	48	230	613	67	341	888
Zon (+)	[MJ/m ²]	637	637	654	637	637	637
Kasdek (-)	[MJ/m ²]	1048	1052	1101	1048	1059	1103
Verdamping (-)	[MJ/m ²]	904	1763	3570	922	1874	3875
Ontvochtiging (+)	[MJ/m ²]	779	1605	3298	796	1709	3535
Ventilatie (-)	[MJ/m ²]	89	86	123	89	88	181
Elektra lampen	[kWh/m ²]	30.9	137.4	350.5	48.5	208.3	528.0
Elektra ontvochtiging	[kWh/m ²]	120.3	247.6	508.9	122.9	263.7	545.5
Elektra lampen	[m ³ /m ²]	3.2	14.1	35.9	5.0	21.3	54.0
Elektra ontvochtiging	[m ³ /m ²]	12.3	25.3	52.1	12.6	27.0	55.8
Warmtevraag	[m ³ /m ²]	16.4	12.2	6.5	15.9	9.5	2.8
Totaal gas equivalenten	[m ³ /m ²]	31.8	51.6	94.5	33.4	57.8	112.7
		Energiestromen per m ² gewas			Energiestromen per m ² gewas		
		1 laag	2 lagen	4 lagen	1 laag	2 lagen	4 lagen
		1 laag	2 lagen	4 lagen	1 laag	2 lagen	4 lagen
Buis totaal (+)	[MJ/m ²]	576	214	58	558	167	25
Lampen (+)	[MJ/m ²]	48	115	153	67	170	222
Zon (+)	[MJ/m ²]	637	319	164	637	319	159
Kasdek (-)	[MJ/m ²]	1048	526	275	1048	529	276
Verdamping (-)	[MJ/m ²]	904	882	893	922	937	969
Ontvochtiging (+)	[MJ/m ²]	779	802	824	796	855	884
Ventilatie (-)	[MJ/m ²]	89	43	31	89	44	45
Elektra lampen	[kWh/m ²]	30.9	68.7	87.6	48.5	104.2	132.0
Elektra ontvochtiging	[kWh/m ²]	120.3	123.8	127.2	122.9	131.9	136.4
Elektra lampen	[m ³ /m ²]	3.2	7.0	9.0	5.0	10.7	13.5
Elektra ontvochtiging	[m ³ /m ²]	12.3	12.7	13.0	12.6	13.5	14.0
Warmtevraag	[m ³ /m ²]	16.4	6.1	1.6	15.9	4.7	0.7
Totaal gas equivalenten	[m ³ /m ²]	31.8	25.8	23.6	33.4	28.9	28.2

Eerder onderzoek naar meerlagenteelt bij tulp (Wildschut *et al.*, 2012 en 2013) heeft laten zien dat circa 47% energie bespaard kan worden bij toepassen van 3 lagen gecombineerd met LED-belichting en actieve ontvochtiging. Enkele aandachtspunten uit genoemde rapporten waren een goede lichtverdeling op de daglichtloze lagen, horizontale verschillen in temperatuur en RV, en verschillen in ontwikkeling en productie tussen de lagen door verschillen in klimaat. Uit metingen is gebleken dat het boven de bovenste laag gemiddeld warmer was dan boven

de onderste laag, en dat het absoluut vochtgehalte van onder naar boven toenam. In het rapport van Wilschut *et al.* (2014) worden enkele ontwerpen voor meerlagenteelt gepresenteerd die rekening houden met de hiervoor genoemde aandachtspunten. Teelt in meerdere lagen kan dus zeker de volgende grote stap in energiebesparing zijn. Om deze stap te zetten is het belangrijk om te bepalen wat de minimale lichtsom is (lopend onderzoek Plant Lighting 2023-2024). Daarnaast moet bepaald worden hoe het beste te telen zonder daglicht.

5.5 Conclusie en discussie energieberekeningen

Het doorrekenen van de strategie van de kasproef laat zien dat er een forse besparing mogelijk is ten opzichte van de praktijk. In de kasproef is de minimumbuis weggelaten dankzij inzet van luchtslurven onder de tafel. Daarnaast is er een aluminiumscherm toegevoegd. Het totale energieverbruik met de in de proef gehanteerde strategie berekend voor de situatie in een commerciële kas is $50.6 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jaar}$ (aardgasequivalent). Dit is $20 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jaar}$ lager dan de berekening voor de praktijkreferentie met SON-T en enkel glas. Het beperken van verdamping kan ook een substantiële bijdrage leveren aan het verminderen van de energievraag. De berekende besparing bij 30% minder verdamping is over het hele jaar 2021 gemiddeld 8% ten opzichte van de kasproef (12% in de winter), terwijl bijvoorbeeld het vervangen van SON-T voor LED slechts een energiebesparing (elektra + warmte) oplevert van 2.5% in het totale energiegebruik (Hogewoning *et al.* 2022), hoewel de procentuele besparing op elektra wel veel groter is. Het overstappen op LED of het plaatsen van isolerend glas is een forse investering. Het verminderen van verdamping daarentegen kan mogelijk bewerkstelligd worden met teeltmaatregelen waar geen extra investering voor nodig is. Een manier waarop verdamping beperkt kan worden is het gebruiken van een fijner substraat waardoor minder vaak gegoten hoeft te worden (Trouwborst en Hogewoning 2017b) en het beperken van verdamping door te telen bij een lager vochtdeficiet (Baas, 2009). Geysirglas kan ook een optie zijn om energie te besparen, hoewel de energiebesparing met dubbel glas mogelijk groter is.

Een grotere stap in energiebesparing kan gezet worden door over te gaan op meerdere lagen in de kas. Per m^2 gewas levert twee lagen in een situatie zonder actieve ontvochtiging al een energiebesparing (elektra + warmte) op van 25% of 20% (bij respectievelijk een lichtsom van 3.9 of 5.8 $\text{mol}/\text{m}^2/\text{dag}$). Meer dan 2 lagen levert geen verdere besparing op doordat de verdamping dan zwaarder gaat meetellen en er meer geventileerd moet worden om vocht af te voeren. Met actieve ontvochtiging hoeft er niet extra geventileerd te worden om vocht af te voeren. De energie die verloren gaat door verdamping blijft dan in de kas. Hierdoor wordt de totale energievraag wel lager bij 4 teeltlagen ten opzichte van 2. Bij 1 teeltlaag levert toepassing van actieve ontvochtiging al een berekende besparing op van 35% aan totale energievraag per jaar. Bij 2 teeltlagen met actieve ontvochtiging komt het totale berekende energiegebruik per m^2 gewas uit op 26 of 28 m^3 aardgasequivalenten per m^2 gewas per jaar (voor respectievelijk een lichtsom van 3.9 of 5.8 mol per m^2 teeltlaag per dag). Dit is iets meer dan de helft van het berekende energieverbruik voor de kasproef. Wel kost de ontvochtiging relatief veel elektriciteit. Mogelijk zijn hier nog efficiëntere technieken voor.

6 Conclusie en discussie

Teelt

De resultaten in drogestofmetingen komen overeen met wat eerder gezien is in een energiebesparende teelt onder LED. De verschuiving in percentage drooggewicht in de scheut (t.o.v. scheut + wortels) van 59-62% bij start van de proef naar 43-45% na teelt in de proefkas (Tabel 6) komt overeen met de vorige kas-demoteelt van 2021-2022 (Hogewoning *et al.*, 2022). Toen was het percentage gewicht in de scheut bij start met 14 weken oude planten opgekweekt in de zomer in de praktijk (Ter Laak Orchids) gemiddeld over 10 rassen 60%. Na 14 weken opkweek in de proef daalde het percentage gewicht in de scheut tot 50.3% in de referentiekas met SON-T en nog verder tot 46.2% in de kas met LED en warmtebesparende maatregelen. Het valt op valt op dat in deze proef (2022-2023) het relatief hoge wortelgewicht ook geldt voor de planten opgekweekt van week 05 (0 weken) tot 20 (15 weken oud), welke in een periode met een toenemend aandeel daglicht in de totale lichtsom zijn opgekweekt (Figuur 11). Dus lichtspectrum (LED) lijkt niet bepalend voor de verschuiving in wortel-scheut verhouding. Dat blijkt ook uit de proeven met verschillende lichtspectra in deelrapport I (Boonman *et al.*, 2023). Daaruit blijkt ook dat een hogere dagtemperatuur wel zorgt voor relatief meer scheutgroei. Wellicht dat ook de voor de opkweekfase relatief hoge lichtsom van 5.2 tot 6.2 mol/m²/dag (Figuur 11) invloed heeft op het relatief hoge wortelgewicht in de proef. De planten uit de praktijk waren opgekweekt bij een lagere gemiddelde lichtsom. In het winterseizoen 2023-2024 vindt een nieuwe proef plaats waarin Phalaenopsis bij twee verschillende lichtsommen (± 3.9 en ± 5.8 mol/m²/dag) wordt opgekweekt (Plant Lighting in samenwerking met Delphy Improvement Centre). Hieruit zal onder andere blijken wat het effect van lichtsom op de scheut/wortelverhouding is.

In het algemeen is in de energiebesparende proef een prima kwaliteit Phalaenopsis opgekweekt. Aan de randen van de kas kwamen enige voortakken voor bij het daarvoor meest gevoelige ras. Zoals aangetoond in de klimaatcellen is een voldoende hoge dagtemperatuur belangrijk om voortakken te voorkomen (zie deelrapport I, Boonman *et al.*, 2023).

Energieberekeningen

Met een energiebalansmodel is de teeltmethode in de demonstratieproef nagerekend voor een volledig jaar voor de situatie in een commerciële kas met enkel glas. Daaruit komt dat de energiebesparende maatregelen het totale energieverbruik hebben verlaagd naar 50.6 m³/m²/jaar, t.o.v. 72.7 m³/m²/jaar (aardgasequivalenten) berekend voor de praktijkreferentie met enkel glas en SON-T. Het energieverbruik bij 30% minder verdamping is ook doorgerekend om te bepalen of het zinvol is om te zoeken naar manieren om de verdamping te beperken. Uit de berekening blijkt dat hierdoor op jaarbasis 8% energie bespaard kan worden en 12% in de winter. Het is dus zeker zinvol om te onderzoeken of verdamping met teeltmaatregelen beperkt kan worden. Bijvoorbeeld door te telen bij een hogere luchtvochtigheid en/of het gebruik van een fijner substraat waardoor er minder vaak gegoten

hoeft te worden. De besparing van toepassing van Geysir glas dat door een coating een lagere emissiviteit heeft, is ook berekend en bespaart 9% op jaarbasis (12 % in de winter).

Overgaan op een teeltsysteem met twee teeltlagen levert zonder actieve ontvochtiging een berekende besparing op van 25% of 20% per m² gewas. De berekende totale energievraag is dan 36.5 of 40.3 m³/m²/jaar aan aardgasequivalenten gerekend met een lichtsom van respectievelijk 3.9 of 5.8 mol per m² teeltlaag per dag. De besparing per m² gewas is zonder actieve ontvochtiging zelfs minder groot bij vier teeltlagen dan bij twee teeltlagen. De verdamping gaat dan zwaarder meetellen en er moet meer geventileerd worden om vocht af te voeren, wat weer warmte kost. De situatie met actieve ontvochtiging met warmteterugwinning is ook doorgerekend. Dit levert bij 1 teeltlaag al een berekende besparing op van 35%, de energievraag is dan 31.8 m³/m²/jaar. Bij 4 teeltlagen met actieve ontvochtiging is de berekende besparing ten opzichte van 1 teeltlaag zonder ontvochtiging 52% of 44%, gerekend met een lichtsom van respectievelijk 3.9 of 5.8 mol per m² teeltlaag per dag. De energievraag is dan 23.6 of 28.2 m³/m²/jaar aan aardgasequivalenten (gerekend met een lichtsom van respectievelijk 3.9 of 5.8 mol/m²/dag). Teelt in meerdere lagen kan dus zeker de volgende grote stap in energiebesparing zijn. Om deze stap te zetten is het belangrijk om te bepalen wat de minimale benodigde lichtsom is. Daarnaast moet bepaald worden hoe te telen zonder daglicht.

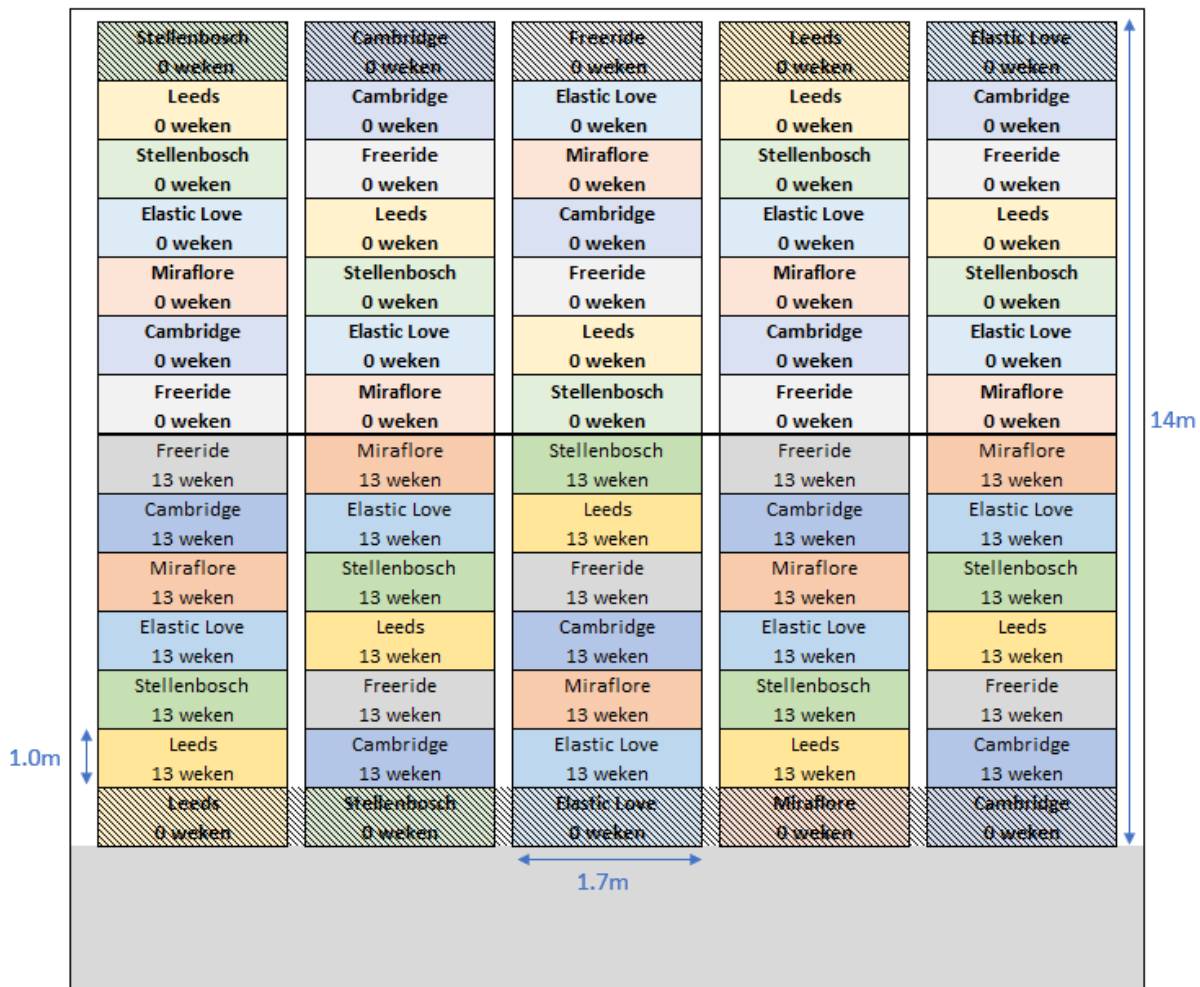
7 Referenties

- Baas R.** 2008. Voldoende vocht cruciaal voor bloeiresultaat Phalaenopsis. Vakblad Bloemisterij 15: 58-59.
- Baas R.** 2009. Invloed luchtbeweging op de verdamping en groei van Phalaenopsis in semi-gesloten kas, 1–34.
- Bontsema, J, Hemming, J, Stanghellini, C, de Visser, P, van Henten, E.J, Budding, J, Rieswijk T, Nieboer, S.** 2007. On-line monitoring van transpiratie en fotosyntheseactiviteit. Wageningen UR, Glastuinbouw, Wageningen 40p.
- Boonman A, Bongers M, Hogewoning SW.** 2023. Phalaenopsis duurzaam geteeld II. Deelrapport I: effecten van lichtspectrum en temperatuur op groei en voortakken in de opkweekfase. Plant Lighting B.V., Bunnik. 45p.
- Breugel B, Baeza E, Raaphorst M, Aninat R, Shayesteh M, Zwart F, Linden H, Liefbrig V.** 2021. With Low Emission to High Transmission: Integrating low thermal emissivity in antireflective coatings on glasses for energy saving in greenhouse horticulture. Wageningen UR, BU Greenhouse Horticulture., Bleiswijk. 79p.
- Dueck T, Baas R, Kromwijk A, Campen J, van Noort F.** 2011. Energiezuinig teeltconcept Phalaenopsis. Rapport Wageningen UR Glastuinbouw, Bleiswijk, 40p.
- Hogewoning SW, van den Boogaart SAJ, van Tongerlo E, Trouwborst G.** 2021. CAM-physiology and carbon gain of the orchid Phalaenopsis in response to light intensity, light integral, and CO₂. Plant, Cell, and Environment 44: 762-774.
- Hogewoning SW MW Bongers, G Trouwborst, Helmus-Schuddebeurs L, van Beveren PJM.** 2022. Phalaenopsis duurzaam geteeld. Plant Lighting B.V., Bunnik. 89p.
- Stanghellini S, van 't Ooster B, Heuvelink E,** 2019 Greenhouse Horticulture, Technology for optimal crop production. Wageningen Academic Publishers 311p.
- Van Tongerlo E, Trouwborst G, Hogewoning SW, van Ieperen W, Dieleman JA, Marcelis LFM.** Crassulacean acid metabolism species differ in the contribution of C3 and C4 carboxylation to end of day CO₂ fixation. Physiologia Plantarum 172: 134-145.
- Trouwborst G, Hogewoning SW, Pot CS.** 2014. Minder belichten Phalaenopsis zonder productieverlies? Plant Lighting B.V., Bunnik. 60p.
- Trouwborst G, Hogewoning SW, van der Spek R.** 2016. Minder belichten Phalaenopsis zonder productieverlies II. Plant Lighting B.V., Bunnik. 45p.
- Trouwborst G, Hogewoning SW, van der Spek R.** 2017a. Minder belichten Phalaenopsis zonder productieverlies III. Maximale daglichtbenutting voor minimale belichting Phalaenopsis. Plant Lighting B.V., Bunnik. 52p.

- Trouwborst G, Hogewoning SW.** 2017b. Phalaenopsis met minimale input: CO₂, licht en vocht naar gewasbehoefte. Deelrapport I: Plantenfysiologisch onderzoek op procesniveau. Plant Lighting B.V., Bunnik, 27p.
- Trouwborst G, Van den Boogaart SAJ, Hogewoning SW.** 2019. Minder belichten Phalaenopsis zonder productieverlies IV: Belichten Phalaenopsis op plantbehoefte. Plant Lighting B.V., Bunnik. 59p.
- Trouwborst G, Boonman A, Sam-Sin G, Hogewoning SW.** 2020. Bloemtakuitloop Phalaenopsis sturen met daglengte: meer resultaat met minder elektra. Plant Lighting B.V., Bunnik. 29p.
- Wildschut, J, Van der Putten K, Van Dam M, & Campen, JB.** 2012. Meerlagenteelt in de praktijk, Energie-efficiënter tulpen broeien 2011. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Lisse
- Wildschut, J, Promes E.** 2013. *Meerlagenteelt in de praktijk, Energie-efficiënter tulpen broeien 2012.* Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Lisse
- Wildschut, J, Speetjens B, & Campen, J.** (2014). *Meerlagenteelt 2.0, Een nieuw basisontwerp.* Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Lisse

8 Bijlage

Bijlage I Plattegrond



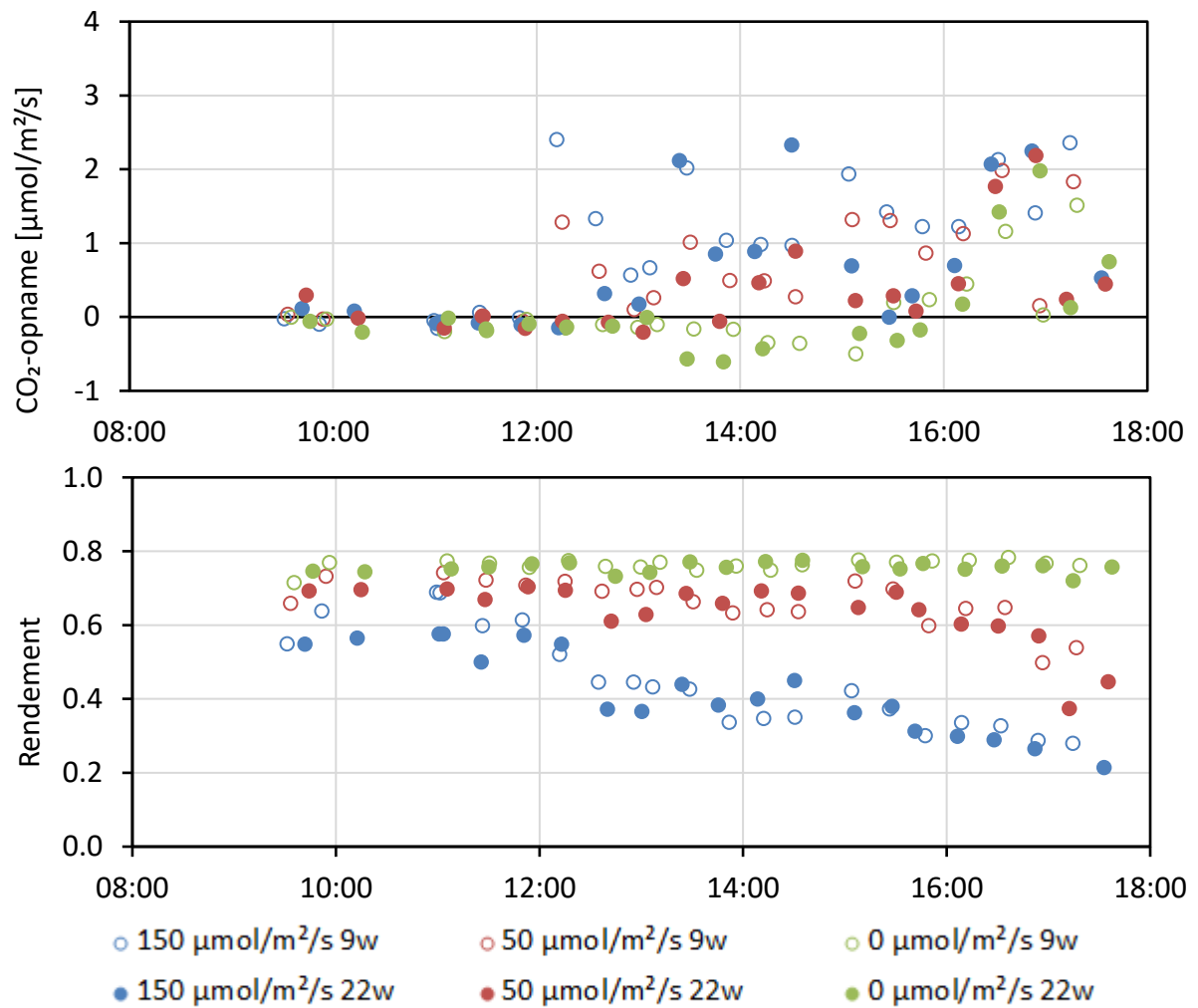
Figuur 34 Plattegrond bij aanvang proef. De gestreepte vakken zijn randplanten en tellen niet mee voor de proef. Langs de linker en rechtergevel werd de buitenste helft van de tafel tevens beschouwd als randplanten.

Bijlage II voedingsschema

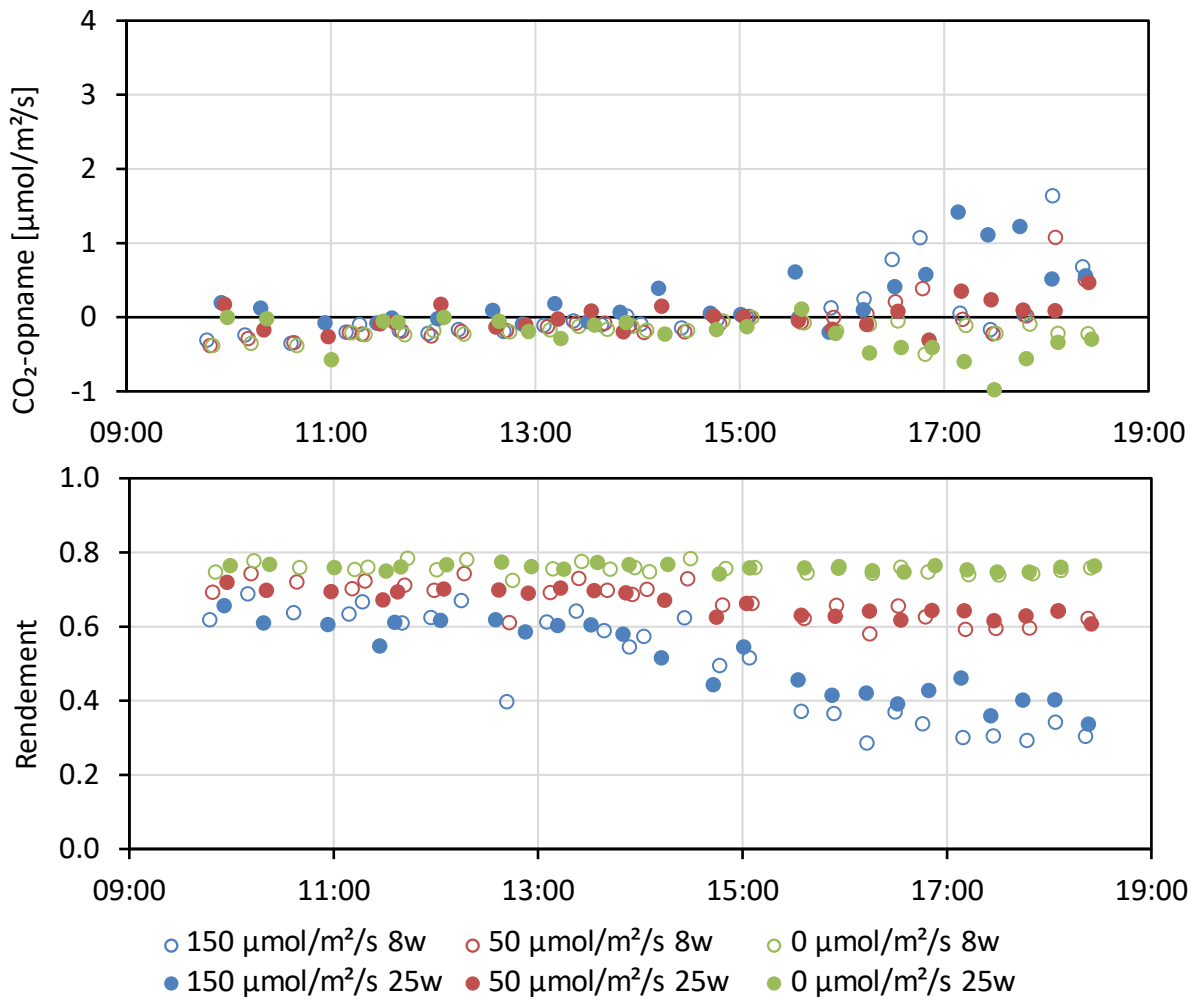
Tabel 15 Voedingsschema

mS/cm		mmol/L													
EC	pH	N _{tot}	Ureum	NH ₄ ⁺	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Si	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	
1.1	5.8	8	0.9	1.1	4.3	0.1	0.9	1	<0.1	5.1	0.1	1.5	0.3	1.3	
		µmol/L													
		Fe	Mn	Zn	B	Cu	Mo								
		38.2	7.8	4.1	6.1	0.4	0.5								

Bijlage III Fotosynthese

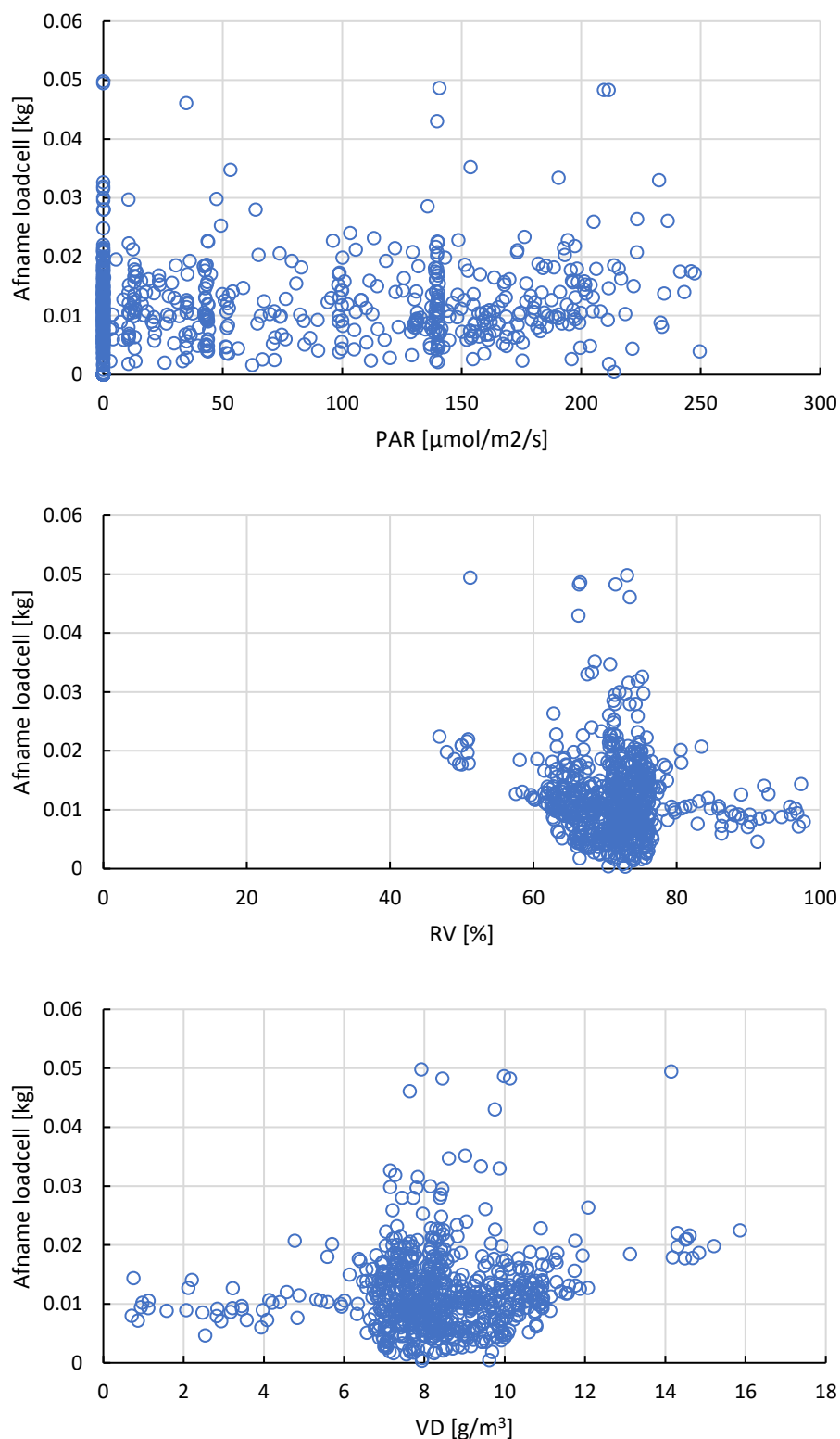


Figuur 35 CO₂-opname (boven) en lichtrendement (onder) van Cambridge op 9/12/2022 bij 9 en 22 weken oud gemeten met de LI-6400/6800 apparatuur.



Figuur 36 CO₂-opname (boven) en lichtrendement (onder) van Cambridge op 30/3/2023 bij 8 en 25 weken oud gemeten met de LI-6400/6800 apparatuur.

Bijlage IV Analyse verdamping



Figuur 37 Verband tussen gewichtsafname per uur en PAR (boven), RV (midden) en VD (onder). Voor deze analyse zijn de data gefilterd zoals beschreven in hoofdstuk 5.3 en alleen de data gebruikt van de dagen op 2 dagen na watergift.