

Phalaenopsis duurzaam geteeld



December 2022

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

Phalaenopsis duurzaam geteeld

December 2022

S.W. Hogewoning¹, M.W. Bongers¹, G. Trouwborst¹, 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

S.W. Hogewoning, M.W. Bongers, G. Trouwborst, L. Helmus-Schuddebeurs, P.J.M. van Beveren. 2022. Phalaenopsis duurzaam geteeld. Plant Lighting B.V., Bunnik. 89p.



Ministerie van Landbouw,
Natuur en Voedselkwaliteit



© 2022 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

SAMENVATTING	5
DANKWOORD	7
1 INLEIDING.....	8
1.1 Kansen voor energiebesparing in de Phalaenopsissteelt	8
1.2 Doelstellingen	9
2 VOORONDERZOEK EFFECT VAN VERROOD IN DE AFKWEEK.....	12
2.1 Introductie.....	12
2.2 Materiaal en methoden.....	12
2.3 Resultaten.....	16
2.4 Algemene discussie en conclusies lichtspectrum	22
3 DEMONSTRATIEPROEF KAS: MATERIAAL EN METHODEN	23
3.1 Proefopzet	23
3.2 Plantmateriaal en tijdslijn proef.....	26
3.3 Teelt en watergift	26
3.4 Metingen.....	27
3.5 Data-analyse en statistiek.....	28
4 DEMONSTRATIEPROEF KAS: KLIMAATSTRATEGIE EN WATER.....	29
4.1 Belichting en PAR-som.....	29
4.2 Temperatuur: buisgebruik en schermen.....	32
4.3 Strategie rondom watergift.....	38
4.4 CO ₂ -besparing	39
5 DEMONSTRATIEPROEF KAS: RESULTATEN METINGEN	40
5.1 Plantgewicht bij start, einde opkweek en einde afkweek	40
5.2 Bloemtak- en bloemtelling einde afkweek	46
5.3 Houdbaarheid.....	49
6 ENERGIEBEREKENINGEN PHALAEOPSIS	50
6.1 Werkwijze	50
6.2 Referentie praktijkkas.....	51
6.3 Scenario's energiebesparing	52
6.4 Besparen op warmtebehoefte zomer?	58
6.5 Conclusies energiebesparing in de opkweek.....	61
6.6 Energiegebruik in de kasproef vertaald naar praktijkkas	61
6.7 Energie in verwarmen gietwater	62
7 CONCLUSIES EN DISCUSSIE	63
REFERENTIES.....	66
BIJLAGEN	68

Samenvatting

Phalaenopsis is een energie-intensieve teelt met belichting, een warme opkweekfase en koeling voor bloemtakinductie. In dit onderzoek naar een energiezuinigere Phalaenopsis-teelt is vooral aandacht besteed aan mogelijkheden om elektra te besparen met LED-belichting, en om de warmtevraag te beperken. Ook is inzichtelijk geworden waar al dan niet knelpunten kunnen liggen in de verduurzaming van de Phalaenopsisteelt.

Vooronderzoek lichtspectrum afkweekfase

Om succesvol LED in te kunnen zetten, is het juiste spectrum van belang. Daarom is eerst in een klimaatcel van Plant Lighting onderzocht wat het effect is van LED RWB met en zonder toevoeging van 10% verrood in de afkweekfase van Phalaenopsis. Onder gesimuleerde winterse omstandigheden (daglichtsimulatie 1.5 mol/m²/dag) gaf de bijbelichting (6.5 mol/m²/dag LED) het grootste gedeelte van de lichtsom. Toevoeging van 10% verrood verkortte de teeltduur met 1 à 2 dagen, tot 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, er was eenzelfde aantal bloemknoppen en weinig abortie. Op basis van deze resultaten en het feit dat er continu winterdaglicht is gegeven, 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 RWB-spectrum zonder verrood uitgevoerd.

Demonstratieproef energiezuinige Phalaenopsisteelt in proefkassen

De demonstratieproef is uitgevoerd in twee proefkassen van Delphy Improvement Centre in Bleiswijk van september 2021 tot mei 2022. Vanaf 14 weken na oppotten zijn planten van 10 verschillende Phalaenopsis cultivars gedurende 16 weken opgekweekt, vervolgens 7 weken gekoeld en daarna afgekweekt. In de referentiekas met SON-t belichting is zoveel mogelijk praktijkconform geteeld. In de demokas is op elektra en warmte bespaard: Met dimbare LED is de belichting zo goed mogelijk op de CAM-fases van Phalaenopsis afgestemd. Er is ook intensiever geschermd en geen minimumbuis ingezet op dagen dat niet gegoten werd. Op momenten met weinig warmtevraag is daardoor fors minder buiswarmte ingezet, maar op momenten met veel warmtevraag is juist meer buis ingezet in de demokas LED, vanwege de lagere warmte-input vanuit de LED-belichting t.o.v. SON-t. Dat was ook terug te zien in de watergift, waarbij in weken met minder buis-inzet minder vaak gegoten is in de demokas-LED. Verder is in de demokas-LED de daglengte gedurende de laatste 8 weken van de opkweekfase verkort van 15 naar 12 uur om bloemtakinductie te bevorderen.

Na 14 weken warme opkweek is in week 50 (2021) het volgende gemeten of geconstateerd:

- De planten waren in totaal even zwaar (drooggewicht). In de demokas-LED waren de wortels zwaarder, en in de referentiekas SON-t de bladeren zwaarder (en langer). Ook was in de referentie meer blad bijgegroeid tijdens de proef (2.2 vs. 2.0 blad per plant).
- In de demokas-LED waren de bladeren donkerder groen of roder (anthocyaan).

De oorzaak van de verschillen in de opkweek kunnen zijn vanwege het verschil in lichtspectrum, en/of vanwege het verschil in klimaat. De planttemperatuur was lager in de demokas-LED gedurende de eerste 7 weken van de opkweek om warmte te besparen, maar vanwege ogenschijnlijk achterblijvende groei en voortakken bij één daarvoor gevoelige cultivar, is deze maatregel losgelaten. De verschillen aan het einde van de opkweek hebben geen effect gehad op de bloemtakuitloop in de koelfase (week 52- 07). Er zijn evenveel bloemtakken uitgelopen in beide proefkassen met gemiddeld 87% tweetakkers en slechts 5-6% ééntakkers. Aan het einde van de afkweek (van week 07 tot week 16-19) zijn geen opvallende verschillen gemeten in teeltduur, aantal bloemen per plant, vertakking, taklengte of houdbaarheid. Ook het plantgewicht was gemiddeld gelijk, met wederom zwaardere wortels en minder zware bladeren in de demokas LED, waarbij het verschil in bladgewicht niet groter geworden is dan aan het einde van de opkweek. De afkweekfase was in een periode waarin het aandeel belichting in de PAR-som steeds kleiner werd. 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 valt.

Klimaat en energie

De teeltstrategie in beide proefkassen is door B-Mex modelmatig voor de opkweekfase doorgerekend, wanneer die toegepast zou worden in een grote commerciële kas. De strategie in de demokas LED heeft het elektragebruik bijna gehalveerd en de berekende warmtevraag was zelfs net iets lager, vergeleken met de strategie in de referentie SON-t. 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. Het niet inzetten van de minimumbuis bespaart 5% en een alternatief voor bovenaf gieten 6%. De combinatie van LED, een derde scherm en het beperken van de buistemperatuur geeft een forse energiebesparing tot 33%. Het zuinigste scenario komt uit op 49 m³/m² berekende gas-equivalenten aan energie voor belichten en verwarmen over een heel jaar opkweek. Dat is een forse besparing vergeleken met de berekende 73 m³/m²/jaar voor de praktijk-referentie enkel glas en SON-t. In de zomer lijkt nog verder te besparen, met name door te sturen op minder verdamping, waardoor minder vochtafvoer en verwarming nodig is (±3 m³ gas).

Conclusie

In de proef is een goede kwaliteit Phalaenopsis geteeld. Halvering van de elektra voor belichting door LED en een reductie in totale energievraag van 73 m³/m²/jaar (enkel glas, SON-t) naar 46-49 m³/m²/jaar is niet gering. Hoewel de berekende extra warmtebesparende maatregelen nog wel getoetst zullen moeten worden. Toch is de warmtevraag nog altijd fors. Om een drastischere energiereductie voor de opkweek te kunnen realiseren, zal over een heel ander teeltsysteem nagedacht moeten worden, bijvoorbeeld met meerdere teeltlagen.

Dankwoord

Dit rapport geeft de resultaten weer van een onderzoek naar energiebesparing bij Phalaenopsis. Het onderzoek onder leiding van Plant Lighting vond plaats in een klimaatcel van Plant Lighting, en vervolgens in twee proefkassen van het Delphy Improvement Centre: een referentiekas met SON-t en een demokas met LED waarin een energiebesparings-strategie werd getoetst. 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 teeltbegeleiding in de wekelijkse 'kleine' BCO: Marcel van Twist (Anthura), Erwin van Vliet, (Levoplant), Henri Butterman (Pikoplant) en Ruud Duijvestijn (Opti-flor) en vanuit Signify de plantspecialisten Leontiene van Genuchten, Valentin Thonen, en Menno Gobielle (inmiddels Anthura). In de 'grote' maandelijkse BCO participeerden, Walter van der Spek (De Vreede Holland), Adrie Smits (Floricultura), Paul Arkesteijn (Ludvig Svensson), en Erwin Gräfe (Sendot), waarvoor dank. Erwin van Vliet (Levoplant), Andre 't Hoog (Ter Laak Orchids), Henri Butterman (Piko Plant) en Raymond van der Knaap (Opti-flor) worden bedankt voor het leveren van de planten voor het onderzoek. Ruud Duijvestijn (Opti-flor) wordt bedankt voor het beschikbaar stellen van bedrijfsgegevens voor de energieberekeningen. Vincent Jalink (Phenovation) wordt bedankt voor ondersteuning bij het gebruik van de Cropobserver. 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 onderzoekscoördinatoren Dennis Medema, Robert Solleveld en Leo Oprel van het programma Kas als Energiebron bedanken voor hun steun bij de totstandkoming en uitvoering van dit project.

December 2022,

Sander Hogewoning

1 Inleiding

1.1 Kansen voor energiebesparing in de Phalaenopsissteelt

Phalaenopsis is in het kader van het streven naar een klimaatneutrale glastuinbouw een belangrijk gewas: met een areaal van meer dan 200 ha en een teeltduur van bijna een jaar is het een zeer energie-intensieve teelt. In de opkweekfase wordt gedurende 24-30 weken de kas verwarmd tot 29°C. Ten behoeve van de bloei inductie ($\pm 19^\circ\text{C}$) en de opvolgende afkweekfase ($\pm 21^\circ\text{C}$) is er in een gedeelte van het jaar koeling nodig, wat eveneens veel energie kost. Daar komt bij dat er aanzienlijke belichtingsniveaus worden gehanteerd met voornamelijk SON-t tot meer dan 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. 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 $\pm 130 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{jaar}$.

In het streven naar een energiezuinigere en uiteindelijk klimaatneutrale teelt is op meerdere deelaspecten al plantfysiologisch onderzoek gedaan de afgelopen jaren. Omdat Phalaenopsis een CAM-plant is, zijn er een aantal bijzonderheden aan de fysiologie die mogelijkheden bieden tot besparing (Hogewoning et al, 2021). Per etmaal kent Phalaenopsis vier verschillende CAM-fasen waarin verschillende fysiologische processen plaatsvinden:

- I. In de nacht zijn de huidmondjes open en nemen de bladeren CO_2 op dat wordt vastgelegd in de vorm van malaat.
- II. Aan het begin van de dag sluiten de huidmondjes langzaam en wordt nog altijd CO_2 in de vorm van malaat opgeslagen.
- III. Als de huidmondjes dicht zijn komt CO_2 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 CO_2 op. Afhankelijk van de omstandigheden (tijdstip, plant-leeftijd) wordt dat CO_2 direct geassimileerd of (lichtonafhankelijk) als malaat opgeslagen.

Per fase kan het klimaat en energiegebruik worden geoptimaliseerd. Proeven van Plant Lighting en partners hebben de afgelopen 5 jaar onder andere de volgende inzichten opgeleverd:

- Phalaenopsis produceert in CAM-fase II (begin dag) en CAM-fase IV (laatste uren van de dag) bij een hele lage intensiteit belichting even goed als bij volle intensiteit (Trouwborst et al., 2014, 2016a, 2017a).
- Binnen CAM-fase III kan gebruikt gemaakt worden van lichtintegratie. Dat biedt kansen om daglicht beter te benutten en te besparen op lamplicht, en/of te belichten op uren met lagere elektraprijzen (Hogewoning et al., 2021; Trouwborst et al., 2019).
- CO_2 doseren is nuttig bij Phalaenopsis, maar overdag gedurende CAM-fase III is het onnodig, want dan zijn de huidmondjes gesloten (Trouwborst et al., 2016b, 2017b). Omdat juist overdag meer gelucht wordt, kan zo extra op CO_2 bespaard kan worden.

- In de koelfase levert LED (R95%/B5%) even goede resultaten op als SON-t (Kromwijk et al, 2017). LED tijdens de koelfase reduceert niet alleen elektragebruik voor belichting, maar ook voor koeling bij hogere buitentemperaturen.
- Een korte daglengte gedurende de laatste 8 weken van de opkweek geeft meer bloemtakken (Trouwborst *et al.*, 2020), wat ook weer aanleiding geeft om te besparen op belichting.

Er is dus een plantkundig sterk onderbouwde basis om op energie te kunnen besparen in de Phalaenopsis-teelt. In combinatie met een aantal technische ontwikkelingen kunnen die inzichten in een energiezuiniger teeltconcept worden ingepast:

- Elektra-input kan sterk worden gereduceerd door volledig met LED te gaan belichten. Zeker in de koelfase en afkweekfase is dat interessant, omdat dan vaak warmte over is en gekoeld moet worden. Het mes snijdt dan aan twee kanten. Over de effecten van lichtspectrum in de opkweek- en afkweekfase is nog niet veel bekend.
- LED heeft bij Phalaenopsis bovendien een extra toegevoegde waarde, door de mogelijkheid te dimmen op de momenten dat de lichtbenutting laag is (CAM-fase II en IV). Door de dim-regeling op basis van chlorofyl-fluorescentie metingen in de kas in te stellen, kan hierop scherp worden gestuurd.
- Met een PARperfect scherm kan de benutting van natuurlijke daglicht optimaal benut worden en is er dus geen krijt nodig op het kasdek. De resulterende hogere lichtsom aan natuurlijk licht beperkt de noodzaak tot belichting verder.
- De warmtevraag in de opkweekfase is hoog, en zal zo duurzaam mogelijk moeten worden ingevuld. Goede isolatie is belangrijk. Voor de praktijk zal warmte-koude opslag onmisbaar zijn gezien de grote temperatuurverschillen per teeltfase. Verder bleek uit een eerdere analyse (Dueck *et al.*, 2011) dat zowel in de opkweek als in de koelfase verlaging van de minimumbuis veel warmte-input bespaart.

1.2 Doelstellingen

De doelstelling van dit onderzoeksproject is om kennis te ontwikkelen voor een duurzame en op termijn fossielvrije Phalaenopsis-teelt. Het project bestaat uit drie onderdelen:

1. Vooronderzoek naar spectrum LED-belichting in de afkweek (hoofdstuk 2).
2. Demonstratie-kasproef energiezuinige teelt Phalaenopsis (hoofdstuk 3-5).
3. Rekenwerk energiebesparende maatregelen (hoofdstuk 6).

1.2.1 Vooronderzoek LED-spectrum afkweek

Om tot een grote besparing aan benodigde elektra voor belichting te komen zal SON-t volledig door LED-belichting vervangen moeten worden. Over de effecten van lichtspectrum op de ontwikkeling van Phalaenopsis in de opkweek- en afkweekfase is nog weinig bekend. Omdat de spectrale samenstelling van licht juist veel effect kan hebben op de bloei van gewassen, richt de aandacht van het vooronderzoek zich op de afkweekfase. In een klimaatcel

wordt onderzocht hoe Phalaenopsis reageert op het al dan niet ontbreken van verrood licht. Op basis van de resultaten wordt het lichtspectrum voor de kasproef gekozen.

1.2.2 Kasproef energiezuinige teelt Phalaenopsis

In een demonstratieteelt in een proefkas worden energiebesparende maatregelen toegepast. In een tweede proefkas is ter controle een praktijkconforme controle-teelt met SON-t belichting en een praktijkconforme warmte-invulling (dus geen zuiver vergelijk tussen SON-t en LED).

De grootste aandacht in de demonstratieproef gaat uit naar een goede Phalaenopsisteelt met een besparing van ruim 50% op elektra voor belichting¹. Dit door de volgende maatregelen:

1. Belichten met volledig LED.
2. Minimalisering van het aantal LED-branduren door te dimmen in CAM-fase II en IV.
3. Optimalisatie van benutting daglicht, en daarmee minimalisatie van inzet belichting. Dit door gebruik te maken van:
 - Lichtintegratie gedurende CAM-fase III, waarvan de duur met chlorofyl-fluorescentie sensoren gemeten wordt in de kas.
 - Gebruik van PARperfect scherm (traploze scherming daglicht 20%-100%).
4. Verkorten daglengte tot 12 uur per dag gedurende de laatste 8 weken opkweek.

Verder is de warmte-input geminimaliseerd in energiezuinige demonstratie-proefkas. Hierbij is afgewogen welke maatregelen wel of niet te risicovol zijn om mee te nemen in deze demonstratie. Warmte-besparende maatregelen die wel worden genomen:

1. Minder warm telen in de opkweekfase (alleen gedurende de eerste zes teeltweken)
2. Maximaal isoleren met schermen
3. Beperken inzet minimumbuis

Onderstaande warmtebesparende maatregelen bieden wellicht ook kansen voor een toekomstbestendige Phalaenopsisteelt, maar zijn te kostbaar of te risicovol bevonden om in dit project mee te nemen in de proef:

- Invulling van (een deel van) de warmtevraag met een warmtepomp, vanuit de ontvochtiging uit de afdeling (in praktijk is dat efficiënter door combinatie warme en koude afdelingen, maar niet in deze proefopzet).
- Andere watergiftstrategie, waardoor de kaslucht minder ontvochtigd hoeft te worden, al dan niet in combinatie met een beter vocht-vasthoudend substraat.

CO₂ is in beide afdelingen niet gedoseerd tijdens de 8- 11 uur durende CAM-fase III. Fase III valt juist overdag, wanneer het meest gelucht wordt en het CO₂-verbruik dus het hoogst is.

¹ Besparen op elektra voor koeling in de zomer is nadrukkelijk ook belangrijk voor een toekomstbestendige Phalaenopsisteelt. In de huidige proefopzet is hier geen aandacht voor. Dit vanwege de keuze om het zwaartepunt van de koelperiode van de teelt in de winter te leggen. In die periode wordt het meest belicht, en is onderzoek naar besparing op elektra voor belichting het meest interessant.

Deze demonstratieproef levert dus kennis op over hoever we kunnen gaan richting een klimaatneutrale Phalaenopsisteelt met de kennis en middelen die nu voorhanden zijn. Ook wordt inzichtelijk waar eventuele knelpunten kunnen liggen.

1.2.3 Rekenwerk energiebesparende maatregelen

De gerealiseerde energiebesparing door de maatregelen in de demonstratiekas wordt inzichtelijk gemaakt voor de situatie van een moderne commerciële kas. Dit met behulp van modelmatige berekeningen over meerdere jaren met een kasklimaat-model. Gegevens uit een commerciële kas zijn daarbij gebruikt als ijkpunt. Met deze berekeningen worden de effecten van de afzonderlijke energiebesparende maatregelen inzichtelijk gemaakt. Verder wordt gerekend aan de warmtevraag bij LED-belichting, en aan de bijdrage van verschillende methoden om die warmtevraag duurzaam te kunnen invullen.

1.2.4 Leeswijzer

- Hoofdstuk 2 omvat het vooronderzoek naar het effect van de toevoeging van verrood licht aan een LED RWB-spectrum in de afkweek.
- Hoofdstuk 3 omvat de proefopzet (materiaal en methoden) van de kasproef.
- Hoofdstuk 4 omvat de klimaatstrategie en het gerealiseerde klimaat in de kasproef.
- Hoofdstuk 5 omvat de teeltresultaten uit de kasproef.
- Hoofdstuk 6 omvat het rekenwerk aan energiebesparende maatregelen.
- Hoofdstuk 7 omvat de conclusies van het onderzoek.
- Bijlagen 1 t/m 4:
 1. Plantmateriaal.
 2. Plattegrond proefkassen.
 3. Gewasgezondheid.
 4. Sensoren: fotosynthese en chlorofyl fluorescentie-metingen, en verdamping en huidmondjesgeleidbaarheid op basis van de energiebalans.

2 Vooronderzoek effect van verrood in de afkweek

2.1 Introductie

Effecten van lichtspectrum

Uit eerder onderzoek is al gebleken dat bij Phalaenopsis voor de inductie van bloemtakken (koelfase) vooral temperatuur bepalend is (Kromwijk *et al.*, 2017). Bij een inductietemperatuur van 19°C had lichtspectrum (wel of geen verrood) geen effect. Alleen bij een hogere temperatuur (22°C) zorgt een hoger aandeel verrood voor vermindering van het aantal tweetakkers. Minder verrood gaf meer tweetakkers, mogelijk doordat de dominantie van de eerst uitgelopen tak werd verminderd (Dueck *et al.*, 2015 & 2016). De spectrale samenstelling van belichting zou ook invloed kunnen hebben op de vorming en uitgroei van de bloemknoppen gedurende de afkweekfase. Hoewel de bloemen al aangelegd zijn in de afkweekfase volgend op de koelfase (inductie), kan in de afkweekfase de bloei nog steeds verstoord worden. Bijvoorbeeld, bij een te hoge temperatuur kan op een bloemtak een vegetatieve plant uitgroeien ('een keiki') in plaats van bloemen, knoppen kunnen aborteren, of de tak groeit door zonder bloemen (Hsiao *et al.*, 2011). Met name verrood licht kan in allerlei gewassen een sterk invloed hebben op bloei, bloeisnelheid en strekking van stengels (Trouwborst *et al.*, 2013).

Doelstelling proef

Een antwoord op de vraag of een aandeel verrood licht belangrijk is voor een goede bloemtakontwikkeling van Phalaenopsis in de afkweekfase, is belangrijk voor de toepassing van LED in de Phalaenopsisteelt. Toevoeging van verrood verhoogt het elektra-verbruik van de LED-armaturen ten opzichte van een R(W)B-spectrum zonder verrood. Als verrood niet noodzakelijk is voor een goede teelt, dan is het efficiënter om verrood weg te laten. Het doel van de proef in dit vooronderzoek is om te bepalen of aanwezigheid van verrood noodzakelijk is in de afkweekfase bij Phalaenopsis. De resultaten worden toegepast in de daaropvolgende demonstratieproef in proefkassen (hoofdstuk 3 en 4).

2.2 Materiaal en methoden

2.2.1 Proefopzet

Het hoofddoel van deze proef is om te bepalen of verrood een noodzakelijke toevoeging is aan een 'standaard' LED RWB-spectrum tijdens de afkweek bij Phalaenopsis om kwalitatief goede bloemtakken te ontwikkelen. Hiervoor zijn bij Plant Lighting te Bunnik in een klimaatkamer twee lichtspectra getoetst in de afkweekfase. De klimaatkamer had een netto teeltoppervlak van 17 m² met twee teeltafels en een scheidingswand in het midden. Er is een vergelijking gemaakt tussen een RWB-spectrum zonder en met toegevoegd verrood. De planten zijn in de klimaatkamer gezet op 5 tot 7 weken na start van de koelfase en na 2 weken koelfase zijn de planten gedurende 7 tot 11 weken afgekweekt. Aan het eind van de teelt zijn de planten gestokt en zijn de planteigenschappen vastgelegd.



Foto 1. Overzichtsfoto van de klimaatkamerproef kort na start (boven, links RWB-spectrum, rechts RWB+Vr-spectrum) en op het moment de snelste cultivars bijna rijp zijn (onder, met alleen wit licht aan voor de foto).

Er zijn 8 cultivars getoetst: Cambridge, Elastic Love, Ferrara, Joyride, Leeds, Limelight, Morelia (multiflora) en Stellenbosch. Per cultivar per behandeling waren er 54 planten, waarvan 50 meetplanten. Aan het begin van de proef hadden de planten een leeftijd van 37-41 weken na oppotten, behalve Morelia (30 weken na oppotten). Alle cultivars waren 5 tot 7 weken voor de start van de proef de koelfase ingegaan. In de proef is begonnen met 2 weken koeling, dit brengt de totale koelperiode op 7 tot 9 weken. Zie Tabel 1 voor de week waarin is opgepot en is gestart met koelen per cultivar en de tijdlijn van de proef in Tabel 2.

Tabel 1. Historie en herkomst planten voor start proef in week 15.

Cultivars	Herkomst	Oppotweek (2020)	Start koeling week (2021)
Cambridge	Levoplant	30	8
Elastic Love	Piko Plant	34	10
Ferrara	Piko Plant	27	8
Joyride	Levoplant	30	8
Leeds	Levoplant	30	8
Limelight	Piko Plant	30	9
Morelia	Opti-flor	38	9
Stellenbosch	Levoplant	30	8

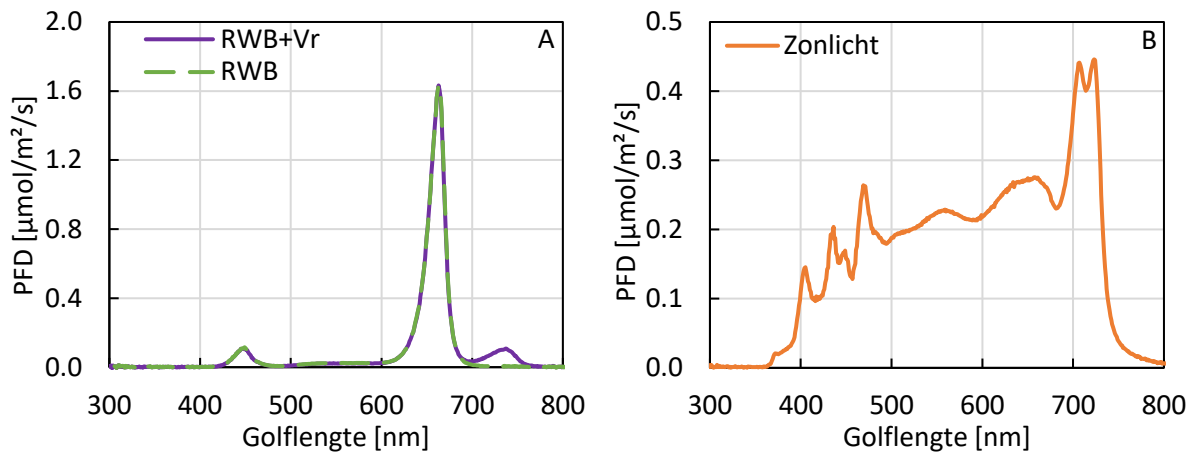
Tabel 2. Tijdslijn proef.

Week	Datum	Actie
15	13-04-2021	Start proef. Temperatuur 20.5°C/19.0°C (D/N), daglengte 16 uur
17	28-04-2021	Start afkweek. Etmaaltemperatuur≈21.3°C, daglengte 16 uur
19	10-05-2021	Enkele planten uitgevallen van Morelia door fusarium
23	09-06-2021	Start bloemtelling Leeds RWB+Vr
23	11-06-2021	Start telling Leeds RWB, Stellenbosch RWB+Vr, Joyride RWB+Vr
24	15-06-2021	Start telling Stellenbosch RWB, Joyride RWB
25	25-06-2021	Start telling Morelia RWB+Vr
26	28-06-2021	Start telling Cambridge RWB+Vr, Cambridge RWB, Morelia RWB
26	30-06-2021	Start telling Limelight RWB+Vr, Limelight RWB
26	02-07-2021	Start telling Elastic Love RWB+Vr
27	05-07-2021	Start telling Ferrara RWB+Vr, Ferrara RWB, Elastic Love RWB

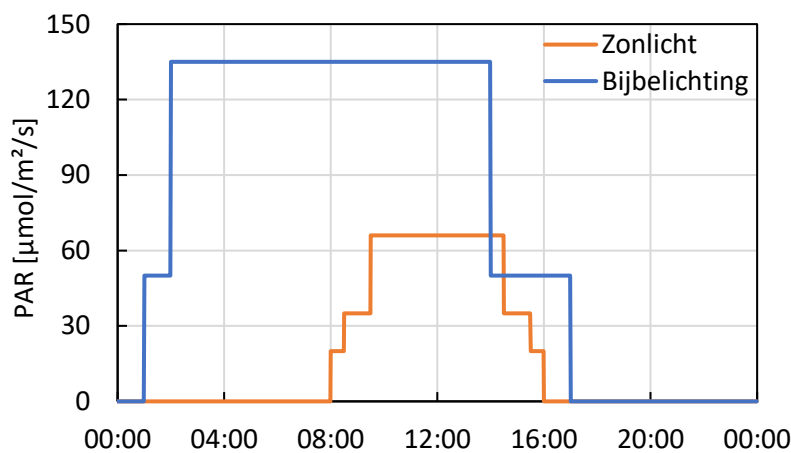
2.2.2 Belichting

Met zonlichtsimulatoren (Sunlite modules, Specialty Lighting Holland B.V.) is zonlicht in een kas tijdens een winterperiode gesimuleerd. De daglengte van het zonlicht was 8 uur met een dagsom van 1.5 mol/m² (Figuur 1).

De bijbelichting was LED met een RWB-spectrum. Dit bestond uit 88% rood, 5% groen (op basis van 10% wit) en 7 % blauw (Figuur 1) tot een intensiteit van maximaal 135 µmol/m²/s. Bij de behandeling RWB+Vr is 10% verrood toegevoegd (maximaal 13.5 µmol/m²/s). De belichting werd gedimd op momenten dat de lichtbenutting laag is (CAM-fase II en IV, zie Hogewoning *et al.*, 2021). 12 uur per dag stond de belichting voluit en 4 uur gedimd. De schakelmomenten van de bijbelichting waren om 1:00 uur op 50 µmol/m²/s, 2:00 uur voluit (135 µmol/m²/s), 14:00 op 50 µmol/m²/s en om 17:00 uit (Figuur 2). De lichtsom van de belichting was 6.5 mol/m²/dag en inclusief (kunst)daglicht 8.0 mol/m²/dag.



Figuur 1. A: Spectrum van de LED-belichting met en zonder verrood. De piek tussen 700 en 750 nanometer is de toevoeging van verrood. B: Spectrum van de winter-zonlichtsimulatie.



Figuur 2. Verloop van de belichting over de dag. Om 01:00 uur gaat de bijbelichting gedimd aan. Om 02:00 gaat de bijbelichting voluit aan. Om 14:00 wordt de bijbelichting gedimd. Om 17:00 gaat de bijbelichting uit. Het zonlicht is aan van 08:00 uur tot 16:00 met twee dimstappen bij het aan- en uitschakelen.

2.2.3 Klimaat en watergift

Tijdens de koelfase was de dag- en nachttemperatuur respectievelijk 20.5 en 19 °C. Na twee weken startte de afkweekfase en lag de etmaaltemperatuur tussen de 21.2 en 21.5°C. De dag/nacht temperatuur was 21.7/20.2°C. De luchtvochtigheid was 70% tussen 14:00 en 2:00 uur en 60% tijdens CAM fase III tussen 2:00 uur en 14:00 uur. Op het moment dat de huidmondjes dicht zijn, is de luchtvochtigheid lager voor een betere afdroging van de pot. Temperatuur en luchtvochtigheid waren vrijwel perfect gelijk voor beide lichtspectrum-behandelingen. Watergift werd uitgevoerd naar behoefte, elke ±7 dagen.

CO₂ werd gedoseerd op 900 ppm tussen 14:00 uur en 2:00 uur. Hiermee werd geen CO₂ gedoseerd tijdens de CAM-fase III wanneer de huidmondjes dicht zijn.

2.2.4 Metingen en statistische analyse

Alle tellingen zijn uitgevoerd op het moment dat er aan een plant 3-4 open bloemen waren. Dat garandeert een gelijk rijpheidsstadium per individuele plant bij telling, wat voorkomt dat het aantal getelde knoppen per bloemtak beïnvloed wordt door verschillen in rijpheid. De volgende metingen zijn gedaan aan iedere meetplant:

- Teeltduur
- Aantal open bloemen (ter controle rijpheid bij tellen)
- Aantal bloemtakken (al uitgelopen voor start proef, dus alleen ter controle)
- Aantal bloemknoppen (commercieel (>0.5cm) en botanisch)
- Bloembreedte rijpste bloem
- Aantal zijtakken (met ≥ 3 bloemknoppen)
- Lengte en gelijkheid bloemtakken
- Knopabortie

De veilingdefinitie (VBN) voor knoppen en (zij)takken die commercieel gezien geteld mogen worden, komt samengevat op het volgende neer:

- Alleen bloemknoppen groter dan 0.5 cm tellen mee.
- Takken met 3 of meer bloemknoppen (>0.5 cm) tellen mee als tak, mits de lengte van de tak groter is dan de laagst zittende bloem(knop) van de voorgaande tak.
- Een zijtak moet minimaal 3 bloemen en/of knoppen (>0.5 cm) hebben.
- Een plant is 'vertakt' als de plant tenminste 10 knoppen (>0.5 cm) heeft en er tenminste drie bloemknoppen (>0.5 cm) op een zijtakken zitten.

Voor de statistische analyse is het effect van behandeling en cultivar geanalyseerd met ANOVA gevolgd door een T-test per cultivar in JASP (versie 0.16 2021). Voor knopabortie en vertakkingen is een Z-test voor proporties per cultivar uitgevoerd in R (R core team 2022).

2.3 Resultaten

2.3.1 Teeltduur, aantal bloemtakken, en takkwaliteit

Toevoeging van verrood leverde voor de meeste cultivars een 1 tot 2 dagen kortere teeltduur op, met als uitschieter Stellenbosch, die 4 tot 5 dagen sneller was met verrood (Tabel 3). In Foto 2 wordt dit geïllustreerd voor Leeds. Deze foto is genomen op het moment dat de eerste planten in de behandeling met verrood drie open bloemen hadden. De planten zonder verrood zijn duidelijk minder rijp. Het verschil in gemiddelde teeltduur was significant voor 6 van de 8 cultivars, echter, het verschil is niet heel groot op een proefduur van gemiddeld 84 dagen.



Foto 2. Leeds (witte bloemen) op 8 juni 2021, links zonder verrood, rechts met verrood. Het verschil in rijpheid is op dit moment duidelijk zichtbaar.

Tabel 3. Aantal open bloemen, gemiddelde teeltduur en teeltduur tot 95% van de planten rijp zijn. N=50. (*=significant behandelingseffect ($P < 0.05$); als geen * is weergegeven, is het niet significant).

Cultivar	Behandeling	Open bloemen [#]	Gemiddelde teeltduur [d]	Verskil teeltduur [d]	Teeltduur tot 95% rijp [d]	Verskil teeltduur tot 95% rijp [d]
Cambridge	RWB	3.9	83.5	1.2	90.3	1.2
	RWB+Vr	3.9	82.3		89.1	
Elastic Love	RWB	3.5	*89.0	1.4	94.2	0.9
	RWB+Vr	3.6	87.6		93.3	
Ferarra	RWB	3.2	*89.5	1.6	95.2	1.8
	RWB+Vr	3.3	87.9		93.4	
Joyride	RWB	3.5	*72.0	2.3	79.4	0.4
	RWB+Vr	3.6	69.7		79.0	
Leeds	RWB	4.4	*64.4	2.6	70.2	3.2
	RWB+Vr	4.3	61.8		66.9	
Limelight	RWB	3.9	84.0	0.0	88.2	0.1
	RWB+Vr	3.5	84.0		88.3	
Morelia	RWB	3.7	*80.4	2.0	85.2	1.7
	RWB+Vr	3.7	78.4		83.5	
Stellenbosch	RWB	3.6	*70.4	4.8	75.9	4.5
	RWB+Vr	3.5	65.6		71.4	

De kwaliteitsparameters zijn verder samengevat in Tabel 4. De bloemtakken waren al aangelegd in de koelingsfase voorafgaand aan de proef. Dit aantal is dus niet beïnvloed door de behandelingen. Het aantal open bloemen verschilde per cultivar niet of nauwelijks tussen de behandelingen, wat betekent dat de planten uit beide behandelingen bij een gelijke rijpheid geteld zijn. Het aantal knoppen, zowel botanisch en commercieel, is niet beïnvloed door de aanwezigheid van verrood. Er is wel abortie gevonden. Knoppen die verdroogd zijn werden geteld als geaborteerd. Abortie is maar op enkele planten per behandeling geconstateerd. Als er knoppen geaborteerd waren was dat een enkele knop per plant. Er is geen duidelijk effect van verrood op knopabortie gevonden.

Tabel 4. Gemiddeld aantal bloemtakken, aantal bloemknoppen, abortie en bloembreedte van de rijpste bloem (bovenste tabel) en taklengte van langste tak per plant, lengteverschil tussen langste en één na langste tak, aantal zijtakken en percentage vertakt. Er wordt onderscheid gemaakt in het aantal knoppen volgens de commerciële (comm.) definitie en de botanische definitie. Voor abortie is het aantal planten weergegeven waar 1 of meer knoppen geaborteerd zijn en het percentage knoppen van alle 50 meetplanten per behandeling per cultivar dat is geaborteerd. N=50. (*=significant behandelingseffect ($P<0.05$); als geen * is weergegeven, is het niet significant).

Cultivar	Behandeling	Bloem- takken [#]	Knoppen comm. [#]	Knoppen botanisch [#]	Planten met abortie [%]	Knop abortie [%]	Bloem- breedte [cm]
Cambridge	RWB	2.1	20.1	23.2	6%	0.3%	9.4
	RWB+Vr	2.2	21.3	24.9	6%	0.3%	9.5
Elastic Love	RWB	2.1	24.0	28.3	8%	0.4%	9.3
	RWB+Vr	2.2	24.6	28.4	2%	0.1%	9.5
Ferrara	RWB	1.8	15.3	20.4	6%	0.6%	8.8
	RWB+Vr	1.8	15.2	20.5	6%	0.4%	9.1
Joyride	RWB	2.0	19.7	22.1	10%	0.6%	9.1
	RWB+Vr	2.0	20.1	24.2	2%	0.3%	9.0
Leeds	RWB	2.3	23.4	27.6	2%	0.2%	9.7
	RWB+Vr	2.3	22.8	25.9	2%	0.7%	9.4
Limelight	RWB	2.1	24.2	29.1	10%	0.4%	8.2
	RWB+Vr	2.1	25.8	32.5	9%	0.7%	8.4
Morelia	RWB	3.2	53.2	65.4	15%	0.4%	5.5
	RWB+Vr	3.1	51.2	65.3	6%	0.2%	5.4
Stellenbosch	RWB	2.1	17.5	19.9	4%	0.3%	8.0
	RWB+Vr	2.0	17.0	20.1	0%	0.0%	8.0

Cultivar	Behandeling	Langste bloemtak [cm]	Lengte- verschil [cm]	Zijtakken comm. [#]	Zijtakken botanisch [#]	Vertakt comm. [%]	Vertakt botanisch [%]
Cambridge	RWB	61.6	5.4	0.2	0.3	16%	24%
	RWB+Vr	65.4	5.2	0.2	0.4	20%	33%
Elastic Love	RWB	62.4	9.5	1.4	2.6	67%	98%
	RWB+Vr	61.1	7.5	1.4	2.8	67%	98%
Ferrara	RWB	*59.5	6.5	0.0	1.3	2%	86%
	RWB+Vr	63.3	6.2	0.1	1.5	9%	87%
Joyride	RWB	*62.3	7.0	0.5	0.9	35%	*51%
	RWB+Vr	65.0	6.8	0.6	1.6	42%	79%
Leeds	RWB	70.1	5.1	0.5	1.0	30%	50%
	RWB+Vr	71.8	5.5	0.6	0.7	36%	40%
Limelight	RWB	56.5	6.7	1.6	2.8	86%	98%
	RWB+Vr	57.8	4.4	2.1	3.9	92%	100%
Morelia	RWB	*38.4	3.1	6.5	10.5	100%	100%
	RWB+Vr	39.8	2.5	6.3	10.8	100%	100%
Stellenbosch	RWB	*63.8	3.6	0.0	0.1	0%	7%
	RWB+Vr	67.4	4.9	0.0	0.0	0%	0%

Toevoeging van verrood leidde tot gemiddeld ruim 2 centimeter langere takken, waarbij Elastic Love als enige van de acht cultivars juist iets kortere takken had met verrood (Tabel 4). Verrood had daarentegen geen consistent effect op het verschil in lengte tussen de eerste en tweede tak. Dit verschil is een maat voor uniformiteit.

Ook op vertakking en bloembreedte is geen effect gevonden van het al dan niet toevoegen van verrood (Tabel 4).

2.3.2 Plantkwaliteit en verkleuring bloemblad

Bij Cambridge en Limelight viel op dat er sprake was van verkleuring van de bloembladeren (Foto 6). Dit is een ongewenste eigenschap. Een witte bloem hoort ook wit te zijn. Om na te gaan of dit beïnvloed werd door het lichtspectrum, zijn de bloemen van 30 planten per behandeling beoordeeld. Deze verkleuring vond plaats bij alle beoordeelde planten van zowel de RWB als RWB plus verrood behandeling. Dit laat zien dat de verkleuring van de bloembladeren niet is beïnvloed door de aanwezigheid van verrood. Verder was over het algemeen de plantkwaliteit goed en waren er weinig opvallende verschillen. Zie Foto's 3-5 voor een indruk van de oogstrijpe planten.



Foto 3. *Elastic Love* bij oogst, links=RWB, rechts= RWB+Vr.



Foto 4. Ferrara bij oogst, links=RWB, rechts= RWB+Vr.



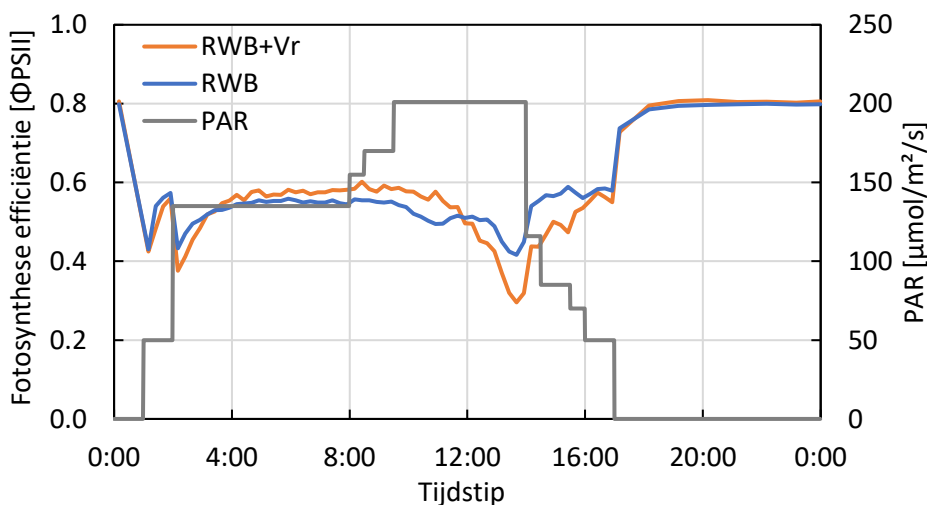
Foto 5. Leeds bij oogst, links=RWB, rechts=RWB+Vr.



Foto 6. Verkleuring van de knop en een bloemblad bij Limelight (links) en Cambridge (rechts).

2.3.3 Verloop lichtrendement gedurende de dag.

Met behulp van chlorofyl-fluorescentiesensoren van Sendot is het verloop van de fotosynthese-efficiëntie (lichtrendement) gemeten. Phalaenopsis is een CAM-plant, waarbij de bladeren in de nacht wordt CO₂ opslaan als malaat. Overdag wordt de CO₂ uit malaat gebruikt voor fotosynthese. De snelheid waarmee het malaat opgebruikt wordt, is afhankelijk van de hoeveelheid licht (Hogewoning *et al.*, 2021). Met behulp van chlorofyl fluorescentie is het mogelijk te bepalen op welk moment deze malaatpool leeg is. Op dit moment daalt namelijk de het lichtbenuttings-rendement voor electronentransport door fotosysteem II (Φ_{PSII}). De plant gaat dan de malaatpool voor de volgende dag weer vullen en er kan soms nog enige tijd directe C3-fotosynthese plaatsvinden. Vanwege de lagere lichtbenutting kan op dit moment de belichting het beste gedimd worden. Uit de chlorofyl-fluorescentiemeting blijkt dat het lichtrendement al begint te dalen voordat de belichting afgeschakeld wordt (indicatief voorbeeld in Figuur 3). Na verlaging van de lichtintensiteit stijgt het rendement (Φ_{PSII}) weer. Dit is een normale reactie op de verlaagde lichtintensiteit.



Figuur 3. Lichtrendement voor electronentransport door fotosysteem II (Φ_{PSII}) gemeten met de chlorofyl-fluorescentie sensoren van Sendot bij Cambridge (indicatieve meting van 1 blad).

2.4 Algemene discussie en conclusies lichtspectrum

Het doel van de proef was om te bepalen of aanwezigheid van verrood in de bijbelichting noodzakelijk is in de afkweekfase bij Phalaenopsis. Toevoeging van verrood verhoogt het elektraverbruik van de LED-armaturen. Als verrood niet noodzakelijk is voor een goede kwaliteit, maakt een spectrum zonder verrood de belichting efficiënter.

Het is belangrijk om op te merken dat gedurende de proef continu winterdaglicht aangeboden is (1.5 mol/m²/dag, 8 uur daglengte), waardoor de bijbelichting (6.5 mol/m²/dag, 16 uur daglengte) het grootste gedeelte van de lichtsom gaf. Het in de proef gebruikte winterdaglicht is representatief voor de periode december-januari. In een kas is er 10 maanden per jaar meer daglicht, en natuurlijk daglicht bevat een substantieel aandeel verrood. De effecten van het lichtspectrum in deze proef zullen dus uitvergroot zijn ten opzichte van de situatie in een commerciële kas.

De toevoeging van verrood resulteerde in een iets kortere teeltduur. Voor de meeste cultivars was het verschil maar één à twee dagen. Uitschieter was Stellenbosch met een 4 tot 5 dagen snellere teelt met verrood. Op een totale proefduur van ±84 dagen is het gemiddelde verschil in teeltsnelheid van nog geen 2 dagen over alle 8 cultivars beperkt. Toevoeging van verrood leidde ook tot gemiddeld ruim 2 centimeter langere takken. Er was geen effect op de uniformiteit van de taklengte, gemeten als het verschil tussen de langste en op één na langste bloemtak. Afwezigheid van verrood leidde ook niet tot belangrijke problemen met de kwaliteit. Het aantal knoppen werd niet beïnvloed door verrood. Er is weinig abortie gevonden. Ook het aantal planten met abortie werd niet beïnvloed door de aanwezigheid van verrood.

Op basis van deze resultaten en het feit dat er continu winterdaglicht is gegeven, zijn de effecten van verrood waarschijnlijk te klein om de extra investering en operationele kosten (elektra) voor de toevoeging van verrood in de afkweekfase van Phalaenopsis te rechtvaardigen. Daarom is de demonstratieproef in de kas van september 2021 tot mei 2022 met een RWB-spectrum zonder verrood uitgevoerd (zie volgende hoofdstukken).

3 Demonstratieproef kas: materiaal en methoden

3.1 Proefopzet

Van 06 september 2021 (week 36) tot begin mei 2022 (week 19) is in twee proefkassen een demonstratieproef uitgevoerd met *Phalaenopsis*. De planten zijn vanaf 14 weken na oppotten gedurende 16 weken opgekweekt in de proef (totaal 30 weken opkweek), vervolgens 7 weken gekoeld, en afgekweekt. De demonstratieproef is uitgevoerd in proefkassen van 120 en 150 m² bruto bij Delphy Improvement Centre in Bleiswijk. In de kleinste proefkas is een referentieteelt met SON-t belichting zoveel mogelijk praktijkconform uitgevoerd. In de andere proefkas is een energiebesparende demonstratieteelt uitgevoerd. De demonstratieteelt was met full-LED-belichting en bovendien is daar verdergaand op energie bespaard dan in de referentiekas. De proef is dus niet als een pure vergelijkingsproef tussen LED en SON-t opgezet.

Het LED-spectrum in de demokas was gebaseerd op de resultaten van het vooronderzoek in een klimaatcel van Plant Lighting (zie voorgaand hoofdstuk 2). De conclusie was dat een RWB LED-spectrum zonder verrood prima zou moeten werken in de afkweek. In de koelfase van de teelt is al eerder vergelijkend onderzoek gedaan tussen een LED RB spectrum en SON-t, wat minimale verschillen gaf (Kromwijk *et al.*, 2017).

In de demokas met LED zijn de volgende elektrabesparende maatregelen genomen:

- Full-LED belichting met dimbare LED (nagemeten: R86%-G6%-B8%) van Signify.
- Intensiteit belichting maximaal 142 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Binnen een tijdsduur van maximaal 11 uur voor CAM-fase III is dat 5.6 mol/m^2 belichting.
- Lichtintegratie binnen CAM-fase III.
- 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. Die streef-PAR-som verschilde per teeltfase.
- In CAM-fase II en IV alleen daglicht toegelaten, of 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).
- Start CAM-fase III & IV is gemeten met chlorofyl fluorescentie sensoren in de kas. Op basis daarvan is moment van schermen, dimmen belichting en CO₂ dosering bepaald.

In de demokas met LED zijn de volgende warmte-besparende maatregelen genomen:

- Kasuitrusting met 3 schermen, waarbij voor een verduisteringsscherm gekozen is om in de laatste 8 weken van de opkweek de daglengte te kunnen verkorten om bloemtakinductie te bevorderen (zie Trouwborst *et al.*, 2020).
 - Bovenste dradenbed: (10070 FR WB+B 99.9% verduisteringsscherm).
 - Middelste dradenbed: energiedoek (Luxous 1147 FR).
 - Onderste dradenbed: Harmony PAR Perfect 2047 FR (transmissie $\leq 80\%$).

- Geen inzet van een minimumbuis, behalve op de dag van gieten (50°C). In de referentiekas is wel een minimumbuis van 45°C en vanaf de koelfase van 30°C aangehouden. Geen inzet van een minimumbuis als er geen warmtevraag is, bespaart veel warmte bleek uit een eerdere analyse (Dueck *et al.*, 2011). Toename in ziektedruk wordt beperkt met geforceerde ventilatie en gebruik van een uitvloeier bij het gieten.
- Minder warm telen gedurende de opkweek-fase (28°C in plaats van 29°C); dit is na zes teeltweken losgelaten.

Tabel 5 geeft een overzicht van de verschillen in hardware en klimaatstrategie tussen beide kassen voor de belichting, CO₂-dosering, verwarming en RV.

Het volgende geldt voor beide kas-afdelingen en zijn dus geen proeffactor:

- CO₂ is niet overdag gedurende CAM-fase III gedoseerd. Start en einde CAM-fase III zijn met chlorofyl-fluorescentie gemeten. Niets doseren in de 8 tot 11 uur durende CAM-fase III reduceert CO₂ dosering sterk, want fase III valt overdag en dan wordt juist veel gelucht.
- Op 11 maart 2022 is gekrijt met een dun laagje Redufuse IR (Redu-Systems). Uit een berekening van de daglichttransmissie voor en na krijten kwam naar voren dat het daglicht in de kas-afdelingen hierdoor 11% lager werd.
- Beide kasafdelingen zijn uitgerust met een koelinstallatie (Alfa) van 51 kW.

Details over de klimaatstrategie en het gerealiseerde klimaat staan in hoofdstuk 4.

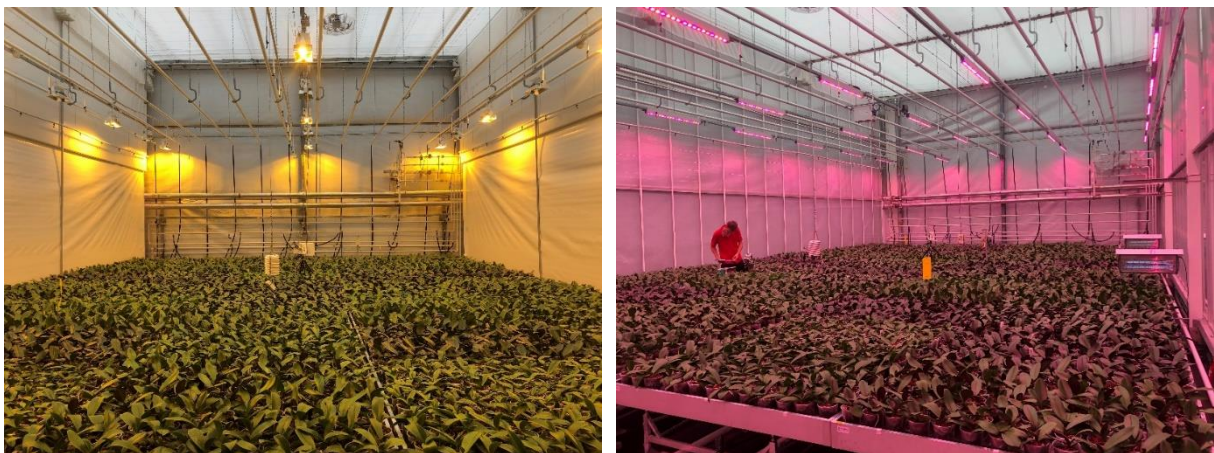


Foto 7. Referentiekas met SON-t (links) en demokas met o.a. LED-belichting (rechts).

Tabel 5. Uitgangspunten referentiekas SON-t en demokas LED.

	Referentiekas SON-t	Demokas LED
Teeltoppervlak netto	101 m ²	119 m ²
Aantal tafels	5 (1.7m breed)	5 (1.7m breed)
Telvakken per cultivar	4x1 strekkende meter (4 x 1.7 m ²) 4 ^e telvak stond op de binnenste helft van beide randtafels 1 en 5	4x1 strekkende meter (4 x 1.7 m ²) 4 ^e telvak stond op de binnenste helft van beide randtafels 1 en 5
Maximale intensiteit	142 μmol/m ² /s	142 μmol/m ² /s
Schakelbaarheid	50% en 100%	Traploos dimbaar
Daglength (uren tot zon onder)	-15 uur vanaf start proef -14 uur vanaf 17 maart	-15 uur vanaf start proef -15 tot 12 uur: tussen 12 en 24 november afgebouwd naar 12 uur -15 uur vanaf 29 december -14 uur vanaf 17 maart
Lichtintensiteit 1^e uur (~Camfase II)	71 μmol/m ² /s (50%)	50 μmol/m ² /s
Lichtsom	Sturen op een dagsom PAR (oplopend gedurende de proef)	Sturen op som binnen CAM-fase III (oplopend gedurende de proef)
Lichtintensiteit laatste uren dag (~Camfase IV)	Lampen uit als dagsom gehaald	50 μmol/m ² /s
CO₂-dosering	900 ppm (behalve CAM-fase III)	900 ppm (behalve CAM-fase III)
Temperatuur opkweek	Stoken tot 28.0°C overdag en 28.5°C 's nachts. Etmaal ±28.5°C. Luchten >30°C	Etmaal tot 28 oktober 2021 ±0.4°C lager dan de referentiekas, daarna gelijk. Luchten >30°C
Minimumbuis opkweek	Minimumbuis 45°C in principe altijd; bouwt af op instraling	Minimumbuis: geen, behalve bij warmtevraag en dag van gieten (50°C)
Temperatuur koelfase	Etmaal T _{lucht} van 19.5°C (eerste 2 weken koeling) naar 18.8°C	Etmaal van 19.8°C (eerste 2 weken koeling) naar 19.1°C. Sturen op gelijke T _{plant} als in referentiekas, dus iets hogere T _{lucht}
Temperatuur afkweekfase	Etmaal T _{lucht} van 20.5°C oplopend tot 21.5°C >8 mol/m ² /dag PAR	Etmaal T _{lucht} van 20.5°C oplopend tot 21.5°C >8 mol/m ² /dag PAR. Sturen op gelijke T _{lucht} als in referentiekas
Minimumbuis koel- en afkweekfase	Minimumbuis 30°C of meer bij warmtevraag of dag gieten (50°C)	Minimumbuis: geen, behalve bij warmtevraag en dag gieten (50°C)
Luchtvochtigheid	Dag vernevelen tot 60% Nacht vernevelen tot 65% Vochtkier >75%	CAM-fase III overdag minimaal 55% (vernevelen koelt af en nut hoge RV in fase III twijfelachtig) Overige CAM-fases vernevelen tot 65%. Na gieten lagere RV om afdrogen te bevorderen Vochtkier >75%

3.2 Plantmateriaal en tijdlijn proef

In de proef zijn de volgende 10 cultivars geteeld: Cambridge, Leeds, Narbonne en Stellenbosch (alle vier van Anthura), en Angel Eyes, Beautiful Smile, Elastic Love, Freeride, Miraflore en Pure Silk (alle zes van Floricultura). Cultivar Narbonne is gevoelig voor het ontwikkelen van voortakken en is ingezet als graadmeter voor een verhoogd risico hierop. De planten zijn in week 22 van 2021 opgepot bij Ter Laak Orchids in een mengsel van twee fracties bark (30% bark 1 en 70% bark 2), 1.5 kg spagnum mos en voorraadbemesting. In week 36 zijn de planten in de proefkassen uitgezet. Bij het op ruimte zetten in week 51, zijn de planten die sterk in groei achterbleven, door (waarschijnlijk) potworm-vraat, verwijderd. De tijdlijn van de proef staat in Tabel 6 en het plantmateriaal en plattegrond in Bijlage 1 en 2.

Tabel 6. Tijdlijn proef.

Week	Jaar	Actie
22	2021	10 cv's* 1125 planten opgepot bij Ter Laak: 14 weken opkweek voor start proef
36	2021	Start kasproef na 14 weken opkweek; destructieve meting startgewicht planten; plantdichtheid = 61.2 planten/m ²
39	2021	Markeren jongste bladeren van enige cm's voor latere meting bladafsplijting
46	2021	Demo-kas LED naar 12 uur daglengte (15 min. korter per dag 12-24 november)
50	2021	Destructieve oogst na 28 weken opkweek (14 weken in proef)
51	2021	Planten in vazen (Levoplant) en op ruimte: plantdichtheid = 49.4 planten/m ² De planten met zichtbaar slechte groei (potworm?) zijn hierbij verwijderd.
52	2021	Koeling (na 30 weken opkweek)
07	2022	Afkweek (na 7 weken koeling)
10	2022	Gekrijt met Redufuse IR (11% daglichtreductie)
14-15	2022	Planten gestokt
16-19	2022	Eindtelling 10 cv's bij 3 open bloemen

3.3 Teelt en watergift

In beide kassen is met een regenleiding gegoten naar behoefte. Dat wil zeggen, als de pot droog werd. Vooral op momenten dat er geen buisvraag was in de demokas met LED, leidde het niet inzetten van een minimumbuis tot minder frequente watergift (zie verder hoofdstuk 4.3). De watergift startte met 12 l/m² en liep op tot 16 l/m² gedurende de proef. De EC varieerde tussen 1.0 en 1.5 mS/cm, afhankelijk van de wekelijks gemeten drain-EC. De meeste gietbeurten is met 1.5 tot 2 l/m² schoon water nagegoten. Bij te hoog oplopende drain-EC werd incidenteel met alleen schoon water gegoten, of met meer liters per m² en een lagere EC. Vanaf week 45 (09 nov 2021) is besloten om uitvloeier (Motto-BASF) mee te gieten in de demokas met LED om het gewas sneller te laten afdrogen, wat ook warmte bespaart. De samenstelling van de voeding van het gietwater is een aantal keren gemeten door Groen Agro Control (Tabel 7). Rond 15 februari 2022 aan het einde van de koelfase is een lage pH-waarde van het drainwater gemeten (pH<4). Hierop is de voeding vanaf 4 maart aangepast (minder Ureum, meer CaNO₃), echter de drain-pH bleef de weken daarna relatief laag. Voortakken zijn tijdens de opkweekfase weggeknipt en geregistreerd (alleen cv. Narbonne).

Tabel 7. Metingen van nutriëntenconcentraties in het gietwater. Ureum is niet altijd gemeten (-), maar vanaf 19 oktober 2021 wel meegegoten.

Parameter	Eenheid	20-09-2021	23-10-2021	15-02-2022	25-03-2022
EC	mS/cm	1.4	1.5	1.2	1.1
pH		5.7	5.5	5.6	6.2
Ureum	mmol/l	-	-	2.5	-
Ammonium (NH ₄ ⁺)	mmol/l	0.6	1.9	1.6	1.1
Kalium (K ⁺)	mmol/l	4.0	4.2	3.9	3.4
Natrium (Na ⁺)	mmol/l	0.2	0.2	0.4	0.3
Calcium (Ca ²⁺)	mmol/l	2.7	1.6	1.1	1.6
Magnesium (Mg ²⁺)	mmol/l	1.2	1.3	1.2	1.0
Silicium (Si)	mmol/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Nitraat (NO ₃ ⁻)	mmol/l	9.0	8.3	5.9	6.0
Chloride (Cl ⁻)	mmol/l	<0.1	0.3	0.3	0.4
Sulfaat (SO ₄ ²⁻)	mmol/l	1.1	1.3	1.1	1.2
Waterstofcarbonaat (HCO ₃ ⁻)	mmol/l	0.2	<0.1	0.1	0.3
Fosfaat (H ₂ PO ₄ ⁻)	mmol/l	1.3	1.6	1.2	0.8
IJzer (Fe)	µmol/l	34.4	32.6	24.6	10.4
Mangaan (Mn)	µmol/l	12.8	11.8	10.9	9.0
Zink (Zn)	µmol/l	3.9	4.8	5.1	5.9
Borium (B)	µmol/l	24.0	11.0	10.0	21.0
Koper (Cu)	µmol/l	0.7	0.6	0.6	0.5
Molybdeen (Mo)	µmol/l	0.5	0.4	0.3	0.2

3.4 Metingen

De volgende metingen zijn verricht:

- Patroon verschillende CAM-fases met chlorofyl-fluorescentie. Daarbij zijn de meetwaarden van de Cropobserver (camera-systeem van Phenovation) vergeleken met puntmetingen ('fotosynthesemeter' van Sendot). Deze metingen zijn gecontroleerd met geavanceerde fotosynthese-meetapparatuur (Li-6400/6800). Dit geeft een indruk van de toepasbaarheid van commerciële systemen voor Phalaenopsistelers. Tevens is nagegaan of de Energiebalans-methode voor huidmondjespatronen over de dag (o.a. Trouwborst *et al.*, 2021) ook werkbaar is in de praktijk. Resultaten hiervan staan in Bijlage 4.
- Bij start van de proef (week 36) is aan 8 planten per cultivar het aantal bladeren, en het vers- en drooggewicht van bladeren en wortels gemeten.
- Voortakken tijdens de opkweek zijn gescoord (alleen bij cultivar Narbonne).
- Uitval door bijvoorbeeld Fusarium is bijgehouden (Bijlage 3).
- Het aantal potworm-muggen op vangkaarten in twee UV-vanglampen per proefkas is wekelijks geteld (Bijlage 3).
- Na 28 weken opkweek (week 50), dus na 14 weken in de proef, zijn bladafsplijting, wortel- en spruitgewicht gemeten aan 32 planten per cultivar per behandeling (8 planten per cultivar per roltafel, het 4e telvak bestond uit de binnenste helft van de twee randtafels).

- Bladafsplijting is gemeten vanaf de in week 39 gemarkeerde bladeren die toen enige cm's groot waren. Bij deze telling is de grootte van het jongste onvolgroeide blad ingeschat als percentage van een volgroeid blad.
- Van de bovengrondse groei (spruit) is het vers- drooggewicht van het gedeelte boven en beneden de markering gemeten, zodat scherper bepaald kan worden of de twee proefbehandelingen hebben geleid tot een verschil in groei.
- De wortels zijn voorzichtig gescheiden van het groeimedium en het vers- en drooggewicht zijn gemeten.
- Van vier cultivars zijn aan het laatste (bijna) volgroeide blad van twee planten detailmetingen uitgevoerd. Dit is dus slechts een indicatieve meting, gezien het kleine aantal meetplanten. Iedere plant die hiervoor werd geselecteerd, had een hartblad van 3-7 cm, waardoor het voorgaande blad waarschijnlijk volgroeid was. Van deze bladeren is de lengte, breedte, het oppervlak en het gewicht per oppervlak (LMA: gram droog/m² blad) bepaald.
- Planten zijn per 8 stuks per cultivar per behandeling in een tray bij een gelijke belichting gefotografeerd in de fotostudio van Plant Lighting.
- Aan het einde van de afkweek (week 16-19 2022, teeltduur verschild per cultivar) zijn de eindmetingen gedaan, waarbij getracht is aan alle meetplanten per cultivar de metingen uit te voeren in een gelijk rijpheidsstadium (gelijk aan aantal open bloemen).
 - Wortel-, spruit en bloemtakgewicht zijn bepaald aan 32 planten per cultivar per behandeling (behalve bij cultivar Narbonne vanwege de vele voortakken eerder). Wortelgewicht van wortelgroei in en boven de pot is apart van elkaar gemeten aan de cultivars Cambridge, Beautiful Smile en Elastic Love, welke zichtbaar veel wortels boven de pot hadden.
 - Teeltduur en het aantal bloemtakken per plant zijn geregistreerd aan 280 planten per cultivar per behandeling (5600 planten totaal). Verder zijn aan alle cultivars (behalve Narbonne) aan 280 planten per cultivar per behandeling geteld en gemeten: aantal bloemen per bloemtak (meegeteld als knop net aan los kwam van bloemstengel), aantal vertakkingen (telt mits ≥ 3 knop per zijtak), taklengte, gelijkheid van bloemtakken en aantal geaborteerde knoppen.
 - Planten zijn per 2 stuks per cultivar per behandeling gefotografeerd in de fotostudio van Plant Lighting, in eenzelfde opstelling bij eenzelfde belichting.
- De houdbaarheid is onderzocht door Royal Flora Holland. Er zijn van Stellenbosch en Miraflore per behandeling 10 planten aangeleverd die na 7 dagen afzetsimulatie volgens protocol 42 dagen in 'consumentenfase' zijn beoordeeld.

3.5 Data-analyse en statistiek

Voor statistische analyse is het effect van behandeling en cultivar geanalyseerd met ANOVA, bij een significant behandelingseffect gevolgd door een T-test per cultivar in R (R core team '22). De experimentele eenheid was een tafel (n=4). Statistische analyse is gedaan op het gemiddelde per tafel.

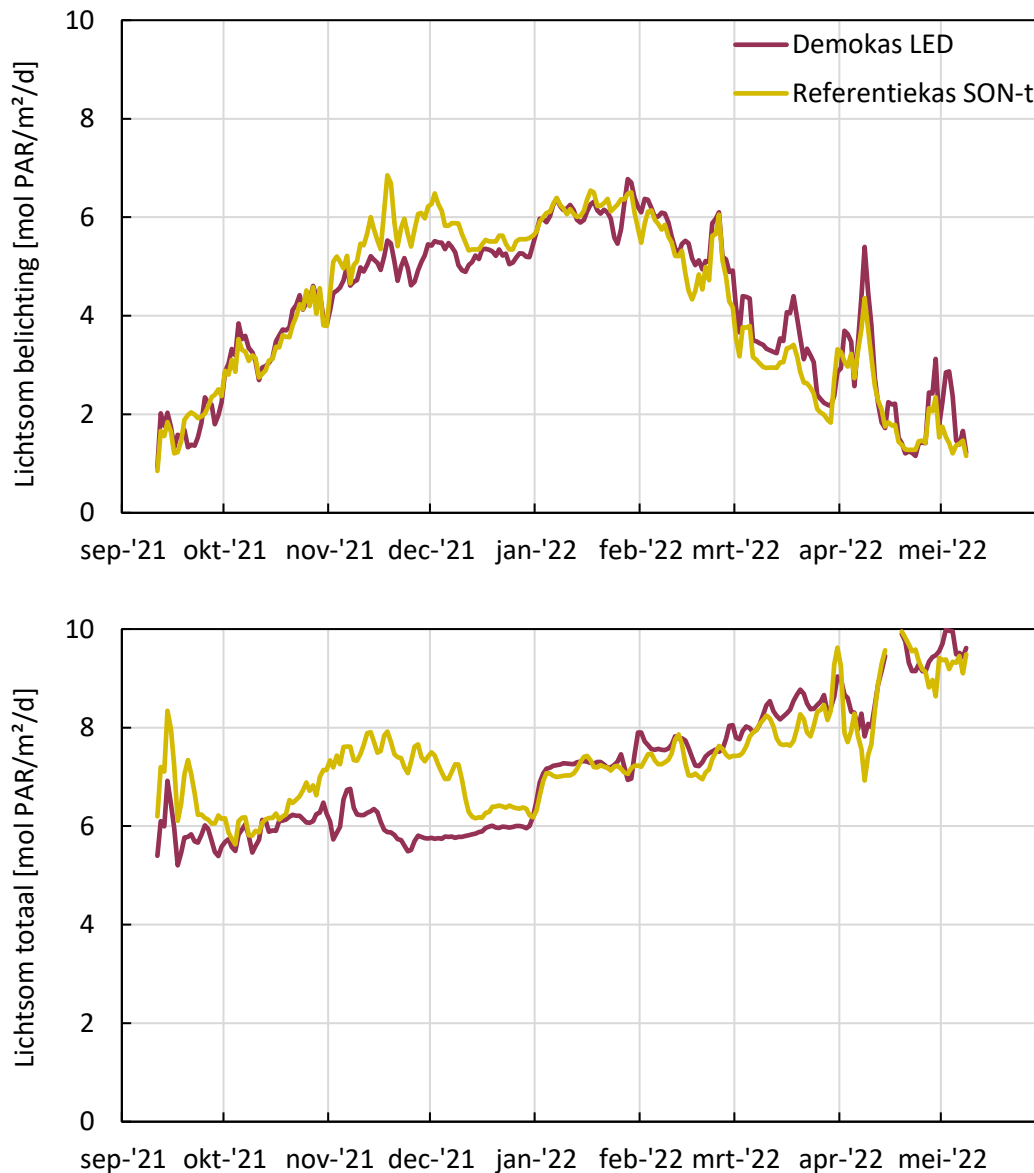
4 Demonstratieproef kas: klimaatstrategie en water

4.1 Belichting en PAR-som

Voor het realiseren van de PAR-som waren in de opkweekfase de uitgangspunten verschillend voor de beide afdelingen:

- Demokas LED:
 - Start opkweek tot 12 nov: 15 uur daglengte, tot 17:00 lichtsom van 5 mol/m² halen. Vanaf 17:00 tot zon-onder minimaal 50 μmol in de kas (lamplicht + daglicht)
 - 12 nov tot einde opkweek: 12 uur daglengte (daglengte afgebouwd van 15 naar 12 uur tussen 12 en 24 november). Vanaf 17 november 6 mol/m² per dag realiseren.
- Referentiekas SON-t:
 - 15 uur daglengte, sturen op dagsom van 5.5 mol/m² (6 mol m² na 17 november). SON-t uit om 17:00 en na 16:00 maximaal 50% aan.

In de koel- en afkweekfase was de streef-PAR-som gelijk, voor het meest efficiënt realiseren van deze PAR-som werd de mogelijkheid voor dimmen van de LED wel benut. Figuur 4 toont de gerealiseerde PAR-som van de belichting en totaal (lamplicht + buitenlicht). Wat opvalt, is dat vanaf november een hogere totale lichtsom is gerealiseerd in de referentiekas SON-t (Figuur 4 boven). SON-t is hierop een aantal uren voor 50% aangezet om de lichtsom te verlagen. Het duurde relatief lang voordat de lichtsom in de referentiekas weer op de streefwaarde was. In de koel- en afkweekfase was er weinig verschil in lichtsom tussen de twee proefkassen. Totaal heeft de referentiekas SON-t dus iets meer licht ontvangen, waarvan het verschil hoofdzakelijk is gemaakt in de periode november-begin december. Het verschil in lichtsom in de opkweekfase was 93 mol/m² over 111 dagen tijd, waarvan 30 mol/m² vanwege meer belichting is gerealiseerd, de overige 60 mol is gerealiseerd door meer buitenlicht, doordat in de middag meer buitenlicht in combinatie met de belichting werd toegelaten. Een groot deel van die hogere lichtsom is waarschijnlijk in CAM-fase IV gevallen, waardoor het effect daarvan op de gewasfotosynthese beperkt is. Over de gehele teelt is er exact evenveel licht van de lampen gegeven, 1000 mol/m² in beide afdelingen. In de koeling- en afkweekfase (139 dagen) is in demokas LED dus 30 mol/m² meer lamplicht gegeven.

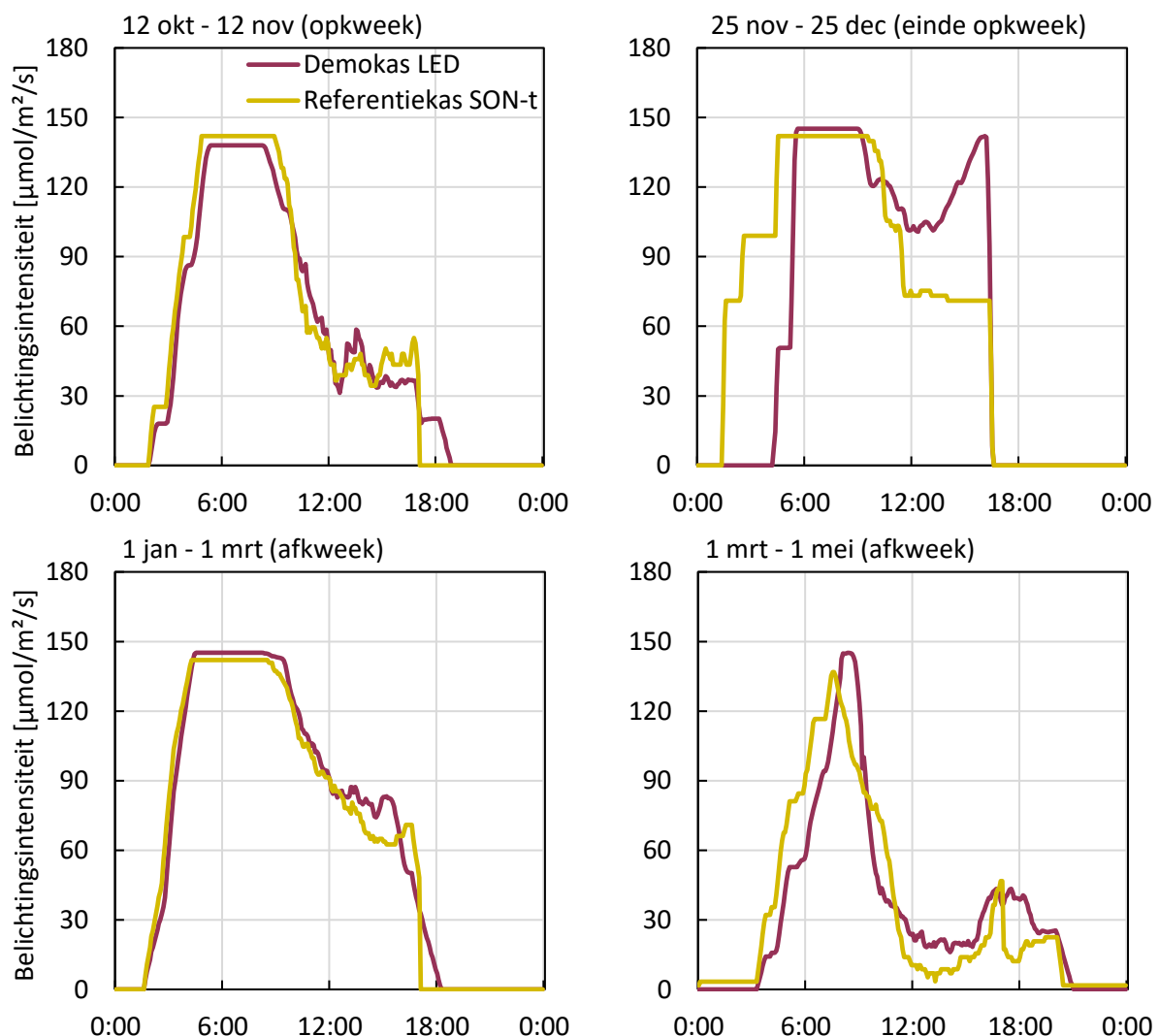


Figuur 4. Gerealiseerde lichtsom per dag [mol PAR/m²/dag] van de belichting (boven) en van totaal (belichting + buitenlicht). (De waardes zijn weergegeven als voortschrijdend gemiddelde per 3 dagen om de grafieken beter leesbaar te maken). Half november ging de daglengte van de LED-kas naar 12 uur, 28 december startte de koelfase en 17 februari startte de afkweek.

Figuur 5 toont de inzet van de belichting voor 4 verschillende fases van de teelt:

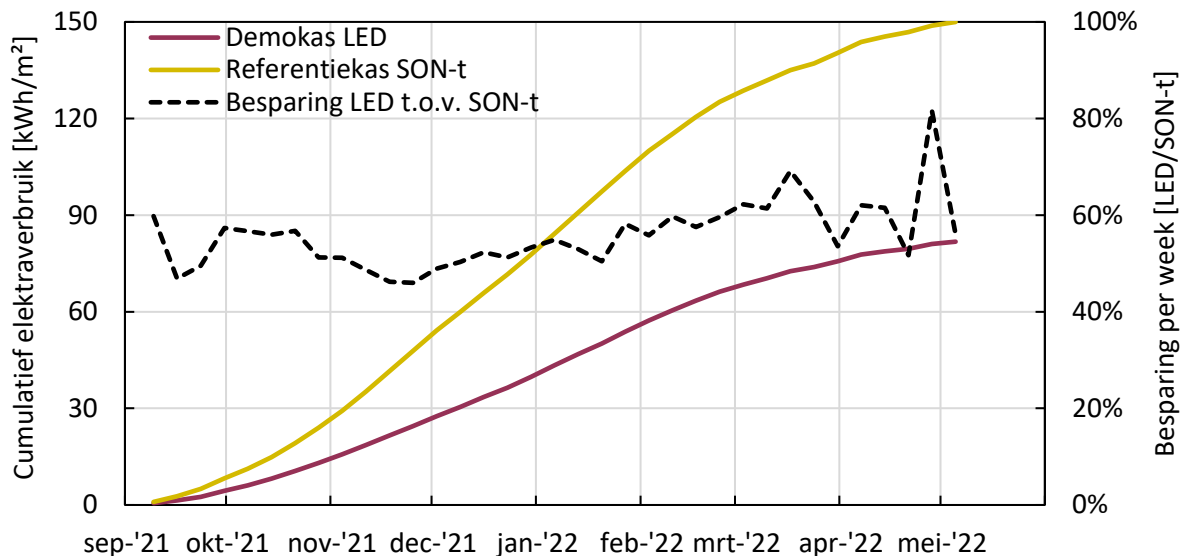
- Opkweekperiode van 12/10/2021 (lamplicht ± 50% van de totale lichtsom) tot 12/11/2021: te zien is dat de strategie in beide afdelingen vrij vergelijkbaar is. Aan het einde van de dag is een verschil te zien: onder LED kan tussen 14:00 en 16:00 iets meer gedimd worden, waar voor SON-t alleen de optie is voor 50% of uit. Tot zon-onder wordt in de demokas LED nog met een lage intensiteit belicht. Let op: Omdat belichting aanging op aantal uren voor zon onder, is de lichtintensiteit gemiddeld over een langere periode soms een gemiddelde van lampen wel en niet aan. Vandaar dat de intensiteit aan het begin van de dag in Figuur 5 lager is dan in Tabel 5 vermeld.

- Opkweekperiode van 25/11/2021 (daglengte bij LED teruggebracht naar 12 uur) tot einde opkweek: In deze fase van de teelt is het verschil tussen de afdelingen het grootst. In de referentiekas SON-t wordt de daglengte 15 uur en in de demokas LED 12 uur. Om het verschil in lichtsom te beperken is in de demokas in de middag met meer intensiteit belicht. Omdat de lichtsommen onder SON-t te hoog uitvielen is vanaf 10 december tot 4:00 uur met 50% belicht. Daarom komt de gemiddelde intensiteit in die periode op 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ in plaats van 71 of 142 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$.
- Koeling- en afkweekperiode tot 28/02/2022: Met de lampen wordt een lichtsom van 5-6 $\text{mol}/\text{m}^2/\text{dag}$ gegeven. De strategie is vrij vergelijkbaar, alleen tussen 14 en 18 uur wordt er in de demokas LED anders belicht dan in de referentiekas SON-t.
- Afkweekperiode 01/03/2022 tot 01/05/2022: vanaf deze fase speelt het buitenlicht weer een grotere rol en wordt gemiddeld fors minder belicht.



Figuur 5. Gerealiseerde gemiddelde lichtintensiteit van de belichting [$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$] over 4 verschillende periodes van de teelt. Let op: Omdat belichting aanging op aantal uren voor zon onder, is de lichtintensiteit gemiddeld over een langere periode soms een gemiddelde van lampen wel en niet aan. Vandaar dat de intensiteit aan het begin van de dag in dit figuur lager is dan in Tabel 5 vermeld (behalve in periode 25/11/2021-einde opkweek).

Door de stap van SON-t naar LED-belichting wordt een forse besparing gerealiseerd op elektra. Het elektragebruik in beide afdelingen is berekend op basis van de branduren, het dimniveau en een vaste een efficiëntie van 3.4 $\mu\text{mol/Watt}$ voor de LED-belichting en 1.85 $\mu\text{mol/Watt}$ voor de SON-t belichting. Het totale berekende verbruik per m^2 was 150 kWh/m^2 voor de referentie SON-t en 82 kWh/m^2 voor de demokas LED. Voor een uniforme lichtverdeling zijn in een proefafdeling meer belichtingsarmaturen nodig per m^2 dan in een commerciële kas. Vandaar dat het elektragebruik niet is gemeten, maar berekend is voor de situatie van een commerciële kas. Figuur 6 toont de besparing gerealiseerd in de proef.



Figuur 6. Cumulatief elektraverbruik voor de SON-t en LED-afdeling (linker-y-as) en het procentueel verbruik van de LED ten opzichte van SON-t per week (rechter-y-as).

4.2 Temperatuur: buisgebruik en schermen

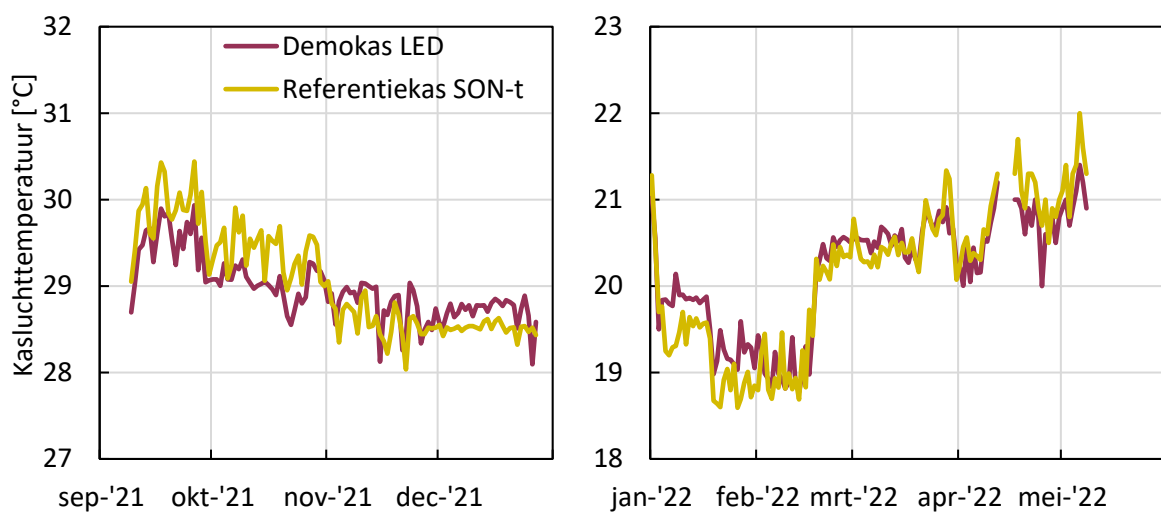
Om energie te besparen zijn de volgende uitgangspunten gedefinieerd:

- Minder warm telen in opkweekfase (28 °C i.p.v. 29 °C; losgelaten na 28 oktober 2021).
- Niet inzetten van de minimumbuis (behalve op de dag van gieten).
- Maximaal isoleren met schermen.

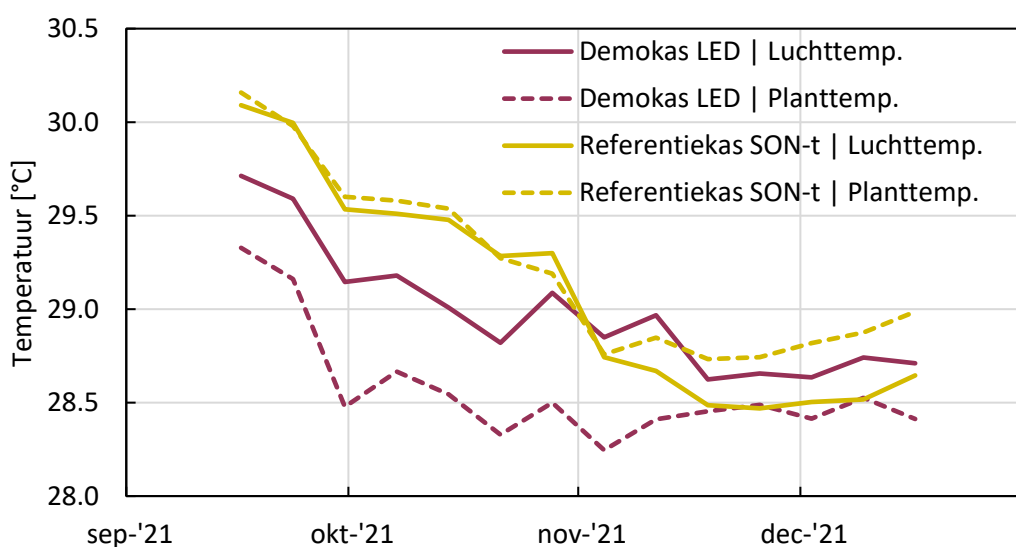
4.2.1 Temperatuur

Figuur 7 toont het verloop van de etmaaltemperatuur gedurende de opkweekfase, en de koel- en afkweekfase. De luchttemperatuur verschilde gemiddeld maximaal 0.2°C per teeltfase: voor SON-t/LED respectievelijk 29.1/29.0 in de opkweek, 19.3/19.5 in de koeling, en 20.9/20.7 in de afkweek. Hoewel het uiteindelijke gemiddelde verschil in de opkweekfase minimaal is, is het verloop van de strategie wel verschillend geweest. In de periode tot 27 oktober was de etmaaltemperatuur in de demokas LED 0.4 °C lager dan onder SON-t. Dit verschil was gemaakt vanuit de strategie van de proef om onder LED met een lagere temperatuur te telen om op warmte-input te besparen. Figuur 8 toont het gemiddelde van het verloop van de etmaaltemperatuur in deze periode, hierin is te zien dat de temperatuur onder SON-t

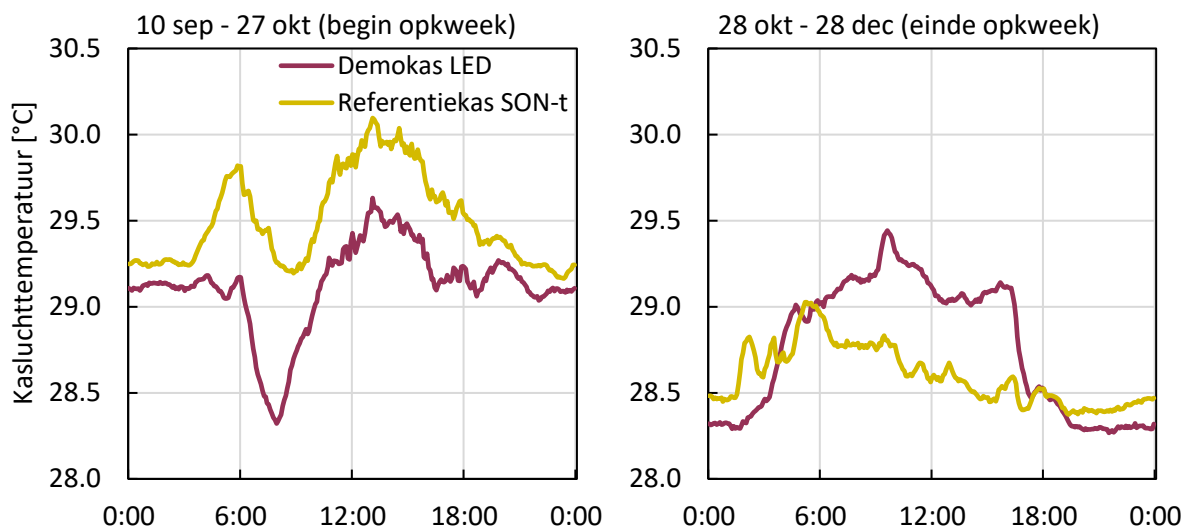
structureel hoger is. Ook is in de ochtend een duidelijk moment van 'lampen aan' te zien bij SON-t (Figuur 9). Vanwege het constateren van voortakken bij de gevoelige cultivar Narbonne en ogenschijnlijk achterblijvende groei in de demokas, is er kritischer naar de temperatuurstrategie in combinatie met de planttemperatuur gekeken (Figuur 8). Hier is te zien dat het daggemiddelde van de planttemperatuur in de demokas LED duidelijk onder dat van de luchttemperatuur lag, terwijl die in de referentiekas SON-t op of zelfs boven het daggemiddelde van de luchttemperatuur kon liggen. Hierop is de kasluchttemperatuur in de demokas LED overdag verhoogd, en ligt deze gemiddeld over een etmaal na 27 oktober enige tienden graden hoger dan onder SON-t. De verhoging is gerealiseerd in de periode dat de belichting was aangeschakeld, de nachttemperatuur werd geprobeerd zo goed mogelijk gelijk te houden (Figuur 9).



Figuur 7. Verloop van de gemiddelde kastemperatuur per dag voor de opkweekfase (links) en voor de koel- en afkweekfase (rechts). Half november ging de daglengte van de LED-kas naar 12 uur, 28 december startte de koelfase en 17 februari startte de afkweekfase.



Figuur 8. Weekgemiddelde van plant- en luchttemperatuur tijdens de opkweek van week 37-50 2021. De planttemperatuurmetingen zijn uitgevoerd met de zogenoemde 'pointed IR sensoren' van 30MHZ.



Figuur 9. Kasluchttemperatuur gedurende het etmaal gemiddeld voor de periode 10 september - 27 oktober (links) en 28 oktober - 28 december (rechts). Deze twee periodes zijn opgesplitst, omdat er voor 27 oktober een lagere etmaaltemperatuur was onder LED. Op basis van het constateren van voortakken bij de gevoelige cv. Narbonne, de lagere planttemperatuur in de demokas LED en ogenschijnlijk achterblijvende groei, is de strategie aangepast en overdag een hogere kasluchttemperatuur gehanteerd in de demokas LED.

4.2.2 Buisgebruik

Tussen de demokas LED en de referentiekas SON-t was een verschil in de strategie voor inzet van de buisverwarming. De demokas LED had als uitgangspunt om met minimale buisinput te telen, wat betekende geen minimumbuis (behalve op de dag van gieten na het gieten). De referentie-afdeling SON-t was ingericht volgens een teeltstrategie zoals die veelal in de praktijk wordt gehanteerd met een minimumbuis (zie ook Tabel 5). Voor de uitwerking van de strategie moeten we wel een onderscheid maken tussen enerzijds de opkweekfase en anderzijds de koel- en afkweekfase. Juist in de (warme) opkweek hebben de buitenomstandigheden erg veel invloed op de inzet van buiswarmte en dus op de mogelijkheden om energie te besparen. Om een goed beeld te hebben van de interactie tussen deze omstandigheden en het buisgebruik is deze voor verschillende periodes weergegeven en het verschil in temperatuur binnen en buiten de kas (Figuur 10):

Opkweek:

- Start teelt (begin september) tot 11 oktober (Figuur 10a): nog relatief hoge buitentemperaturen en instraling, ongeveer 30% van de lichtsom wordt ingevuld met de belichting (Figuur 4). In deze fase van de teelt is te zien dat voor het realiseren van de gewenste kastemperatuur op de dag veel besparing mogelijk is wanneer de minimumbuis wordt weggelaten. In de donkerperiode is de buis-input redelijk vergelijkbaar in beide afdelingen. In de belichte nacht is te zien dat er in de demokas LED meer warmte van de monorail benodigd was dan in de referentieteelt SON-t om de kastemperatuur te realiseren.
- 12 oktober tot 12 november (Figuur 10b): het belichtingsaandeel neemt toe naar gemiddeld 60% van de totale PAR-som. In deze fase van de teelt is al een duidelijke

toename van de buis-input te zien, om de gewenste temperatuur van 28-29°C te realiseren. In de periode met buitenlicht is te zien dat er nog steeds besparing mogelijk is door het niet inzetten van de minimumbuis, maar in de belichte nacht is te zien dat er in de demokas LED beduidend meer warmte van de monorail nodig is voor het realiseren van dezelfde temperatuur.

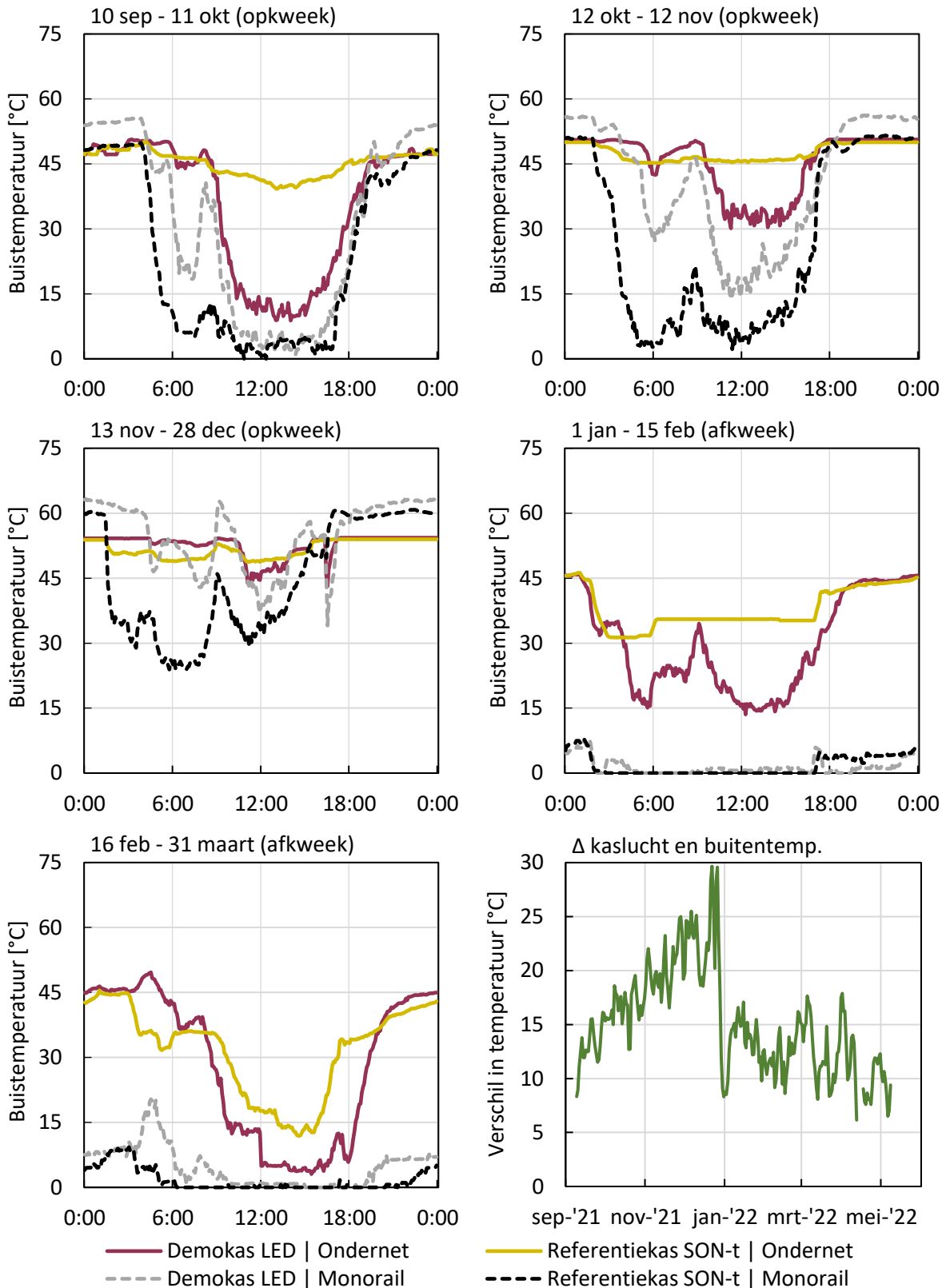
- 13 november tot 28 december (Figuur 10c): in deze fase is er verschil in belichtingsduur gemaakt, 12 uur voor de demokas LED en 15 uur voor de referentie met SON-t. Dit is van invloed op de input van de buiswarmte. In deze fase wordt de belichting maximaal ingezet om de lichtsom te behalen. De invloed van de belichting op de warmtebalans van de kas is in deze periode dus ook het grootst. Het aanschakelen van de SON-t geeft direct een afname van de inzet van de monorail, op het moment dat de LED aanschakelt is deze afname veel minder. Ook in de nacht is een forse warmtevraag te zien (60°C buis). Een verhoogde isolatie in deze fase helpt voor het verder terugbrengen van de energie-input, vooral in een situatie met LED-belichting.

Koelfase en afkweekfase:

- 1 januari tot 15 februari (Figuur 10d): In de koelfase daalt de streef temperatuur van 28-29°C naar 19°C etmaaltemperatuur. Dit betekent dus een veel lagere warmtebehoefte en sneller een energieoverschot. Tussen 1 januari en 15 februari is de buitenstraling nog laag en is er nog een veel inzet van de belichting. In de grafiek is te zien dat vanaf het moment dat de LED-lampen aangaan er direct een afname is van de temperatuur van het ondernet en de warmte-input dus sterk kan worden verlaagd.
- 16 februari tot 31 maart (Figuur 10e): In deze fase van de afkweek wordt de invloed van de buitenomstandigheden weer groter. Ook in de referentie-afdeling is in deze fase niet meer gewerkt met een minimumbuis bij een instraling van >350W/m² buiten. Omdat er in de nacht minder belicht wordt is wel te zien dat er nog warmtevraag in de nacht is in beide afdelingen.

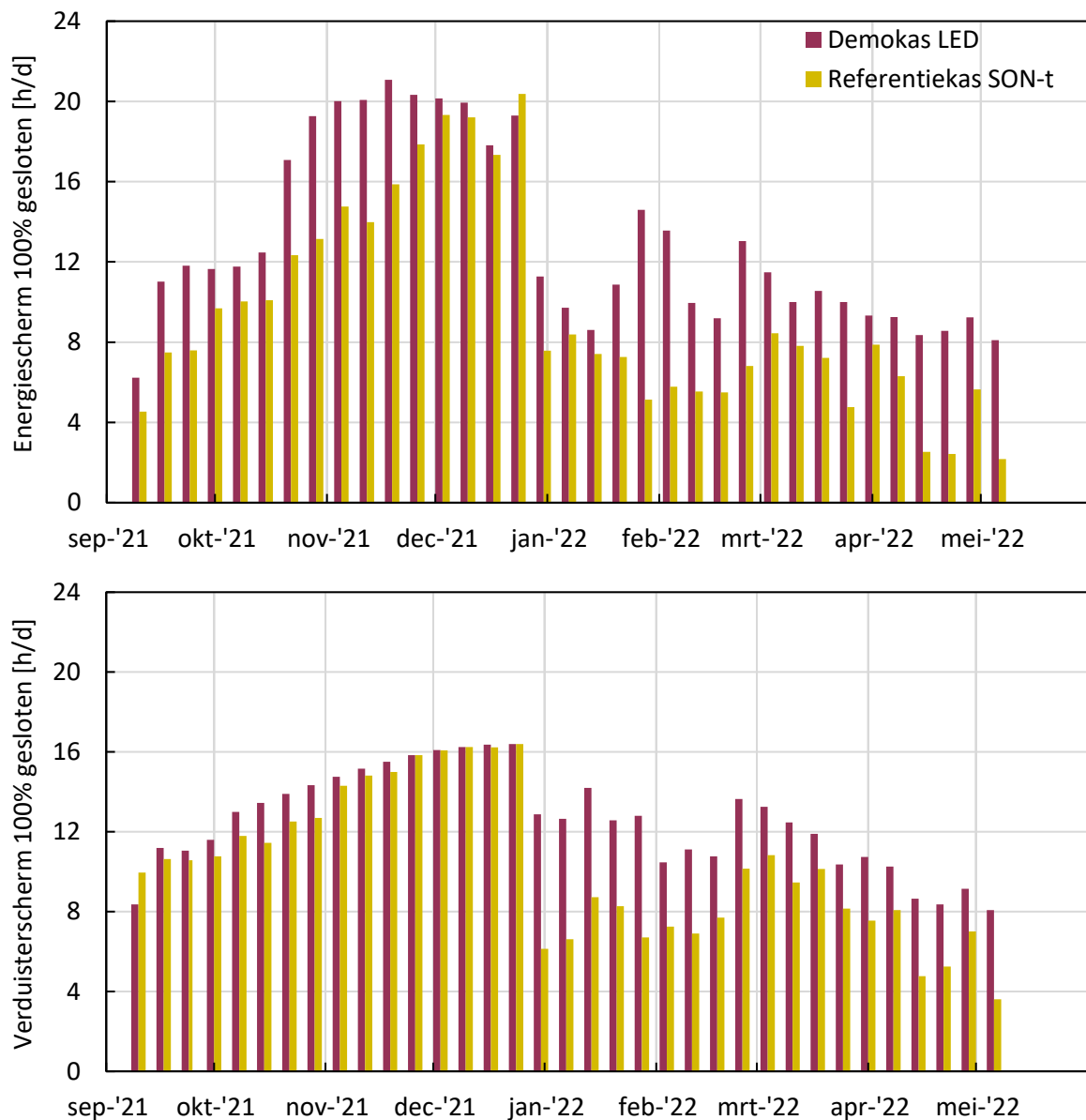
4.2.3 Schermgebruik

Om in de situatie met LED-belichting de warmtevraag zoveel mogelijk te beperken is het intensief inzetten van isolerende schermen essentieel. Voor het maximaal benutten van de isolatiewaarde van een scherm moet deze voor 100% gesloten zijn. In de demokas LED is er minder snel een energie-overschot, waardoor er meer schermuren gemaakt kunnen worden. Figuur 11 toont de uren dat het energiedoek en het verduisterdoek 100% gesloten zijn geweest. Voor het energiedoek is te zien dat er vrijwel continu meer schermuren zijn gemaakt in de demokas LED dan in de referentiekas SON-t, met uitzondering van de weken 48 t/m 51 2021 (einde opkweek). In deze fase van de teelt, met de hoogste warmtevraag vanwege weinig buitenlicht en lage buitentemperaturen, is in beide afdelingen maximaal geïsoleerd. In deze fase heeft de demokas LED dus een groter energietekort ten opzichte van SON-t.



Figuur 10. Buisvraag ('berekende buistemperatuur' van het ondernet en monorail in de demokas met LED en de referentie-afdeling met SON-t. De periode is boven iedere grafiek aangegeven en de data toont het gemiddelde over deze periode. NB de berekende buistemperatuur is 0 als er geen buisvraag is. Daarom kan een periodegemiddelde een lagere gemiddelde buistemperatuur tonen dan de temperatuur van de afdeling. Rechts onder is het verschil tussen de kas -en buitentemperatuur voor de hele teelt weergegeven.

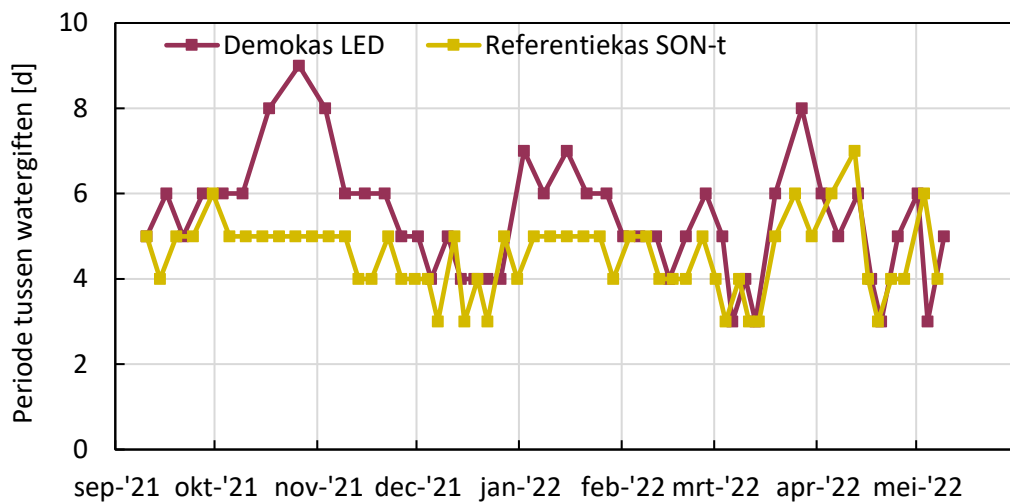
Voor het gebruik van het verduisterschermb is een duidelijk verschil te zien tussen de opkweek- en de koelfase. In de opkweekfase is het verduisterschermb in beide afdelingen voor het maximaal aantal uren gesloten (uren dat er geen buitenlicht is). In de koelfase moet er in de SON-t afdeling meer gekierd worden vanwege een energieoverschot en is het verduisterdoek dus voor minder uren 100% gesloten dan onder LED. Totaal heeft gedurende de looptijd van de proef het energieschermb voor 3189 uur 100% dicht gelegen in de demokas LED. In de referentiekas SON-t was dit 2297 uur. Het verduisterschermb was in de demokas LED 3063 uur 100% gesloten en in de referentiekas SON-t 2510 uur.



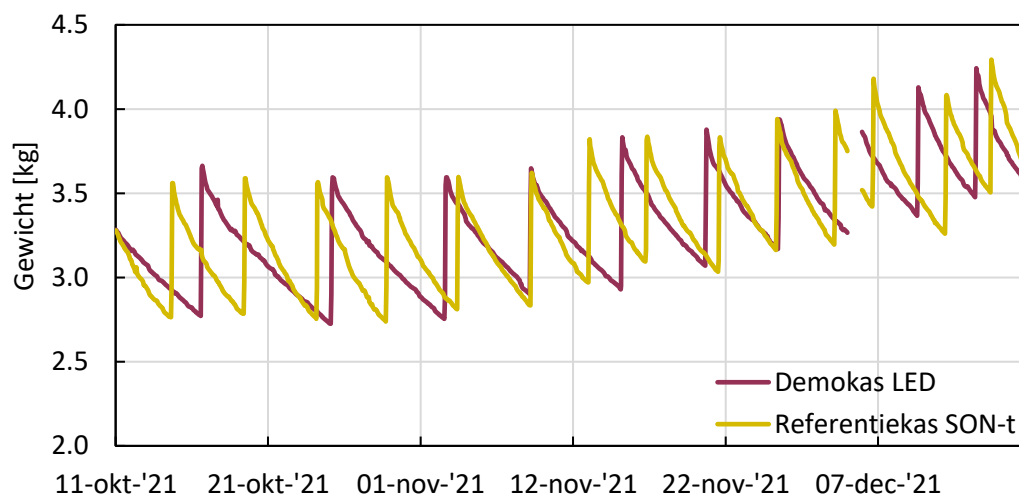
Figuur 11. Gemiddeld aantal uren per week dat het energieschermb (boven) en het verduisterschermb (onder) voor 100% gesloten was in de demokas LED en de referentiekas SON-t.

4.3 Strategie rondom watergift

Figuur 12 geeft het tussenliggend aantal dagen tussen twee watergiftbeurten weer voor beide proefbehandelingen (vorige gietbeurt telt als dag 0 en opvolgende gietdag telt mee). Doordat er in de demokas LED geen minimumbuis is ingezet en er in september-oktober weinig warmtevraag was, was er een trage afdroging van de potten (Figuur 13) en was de gietfrequentie fors lager: 8-9 dagen in de demokas LED versus 5 dagen in de referentiekas SON-t. Doordat er vanaf half november meer gestookt moest worden om de temperatuursetpoints te halen kwam automatisch de gietfrequentie onder LED dicht bij die onder SON-t. Overigens werd vooraf verwacht dat de trage afdroging van het substraat in de demokas LED problemen zou geven voor de wortelkwaliteit, echter de wortels werden ten minste even goed beoordeeld als in de referentiekas SON-t.



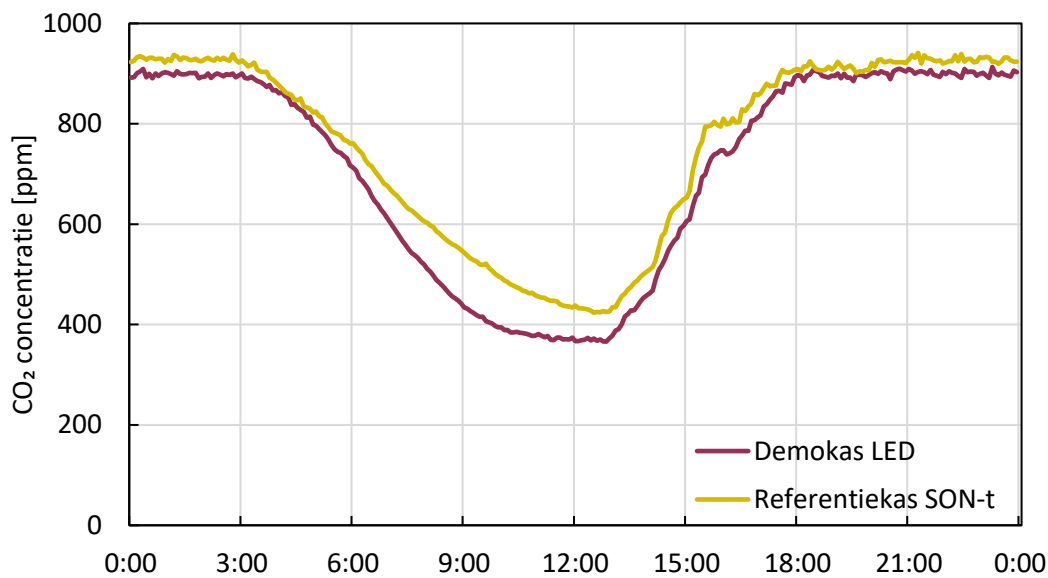
Figuur 12. Aantal dagen tussen de watergiftbeurten gedurende de proef in de referentie-afdeling (SON-t) en de demokas (LED). Bij twee opvolgende beurten is zo geteld dat de dag van gift 1 niet meetelt en de dag van gift 2 wel meetelt. Op 28 december 2021 startte de koelfase en op 17 februari 2022 startte de afkweekfase.



Figuur 13. Verloop plantgewicht van 10 planten per weegschaal. In september/oktober verliep de afdroging fors trager onder LED (er werd bij een ongeveer gelijke gewichtsafname water gegeven).

4.4 CO₂-besparing

CO₂ is gedurende CAM-fase III (overdag) niet gedoseerd. Niets doseren in de 8 tot 11 uur durende CAM-fase III reduceert CO₂ dosering sterk, want fase III valt overdag en dan wordt juist het meest vaak gelucht. In de proef is deze strategie in beide kassen toegepast en daarom geen proeffactor. Figuur 14 geeft het dagpatroon aan van alle proefweken minus de periode waarin de daglengte in de demokas LED korter was.



Figuur 14. Gemiddelde verloop CO₂ over de dag voor de gehele proefperiode minus de 8 weken opkweek waarin de daglengte in de demokas LED korter was.

5 Demonstratieproef kas: resultaten metingen

5.1 Plantgewicht bij start, einde opkweek en einde afkweek

Bij start van de proef is van 8 planten per cultivar het vers- (FW) en drooggewicht (DW) bepaald van wortel en scheut (Foto 8, Tabel 8). Dit om de groei tijdens de proef te kunnen bepalen.



Foto 8. Scheut Cambridge bij start van de proef. Ook de onderste twee kleine blaadjes zijn meegeteld in de bladtelling.

Tabel 8. Aantal bladeren en plantgewicht (versgewicht; FW en drooggewicht: DW) per plant bij start van de proef ($n=8$ planten). NB het percentage drooggewicht van de wortels verschilt fors. Dit komt omdat sommige cultivars net water hadden gehad, en andere cultivars niet.

Cultivar	Bladeren [#]	Scheut FW [g]	Wortel FW [g]	Scheut DW [g]	Wortel DW [g]	Scheut DW [%]	Wortel DW [%]
Angel Eyes	7.9	20.0	10.5	1.4	1.1	7.0%	10.3%
Beautiful Smile	5.8	38.1	20.4	2.4	1.3	6.2%	6.3%
Cambridge	6.1	34.8	18.5	2.0	1.4	5.7%	7.7%
Elastic Love	4.6	24.6	9.9	1.6	0.8	6.7%	8.5%
Freeride	4.3	28.1	19.9	1.8	1.3	6.2%	6.7%
Leeds	6.3	37.3	23.1	2.4	1.4	6.3%	6.5%
Miraflore	4.6	30.3	17.9	1.9	1.2	6.5%	6.7%
Narbonne	5.1	40.8	10.5	2.4	1.5	5.8%	14.4%
Pure Silk	6.2	37.0	21.1	2.2	1.4	6.1%	6.6%
Stellenbosch	5.2	31.0	20.7	1.8	1.8	5.9%	8.7%
Gemiddelde	5.6	32.2	17.3	2.0	1.3	6.2%	8.2%

In week 50, 2021 (Tabel 9) zijn er destructieve metingen gedaan bij 32 planten per cultivar per behandeling: 4 plots met 8 planten per plot. Op 1 oktober 2021 (drie weken na start proef) zijn hartbladeren van rond de 7 cm gelabeld. Deze bladeren en de bladeren die daarna gegroeid zijn, zijn meegenomen als 'scheut boven' en de rest van de plant als 'scheut onder' (gegroeid voor start van de proef). Het aantal bladeren van 'scheut boven' is geteld. Voor onvolgroeid blad is ingeschat voor hoeveel procent het volgroeid was. Het bleek dat er in de referentie-kas

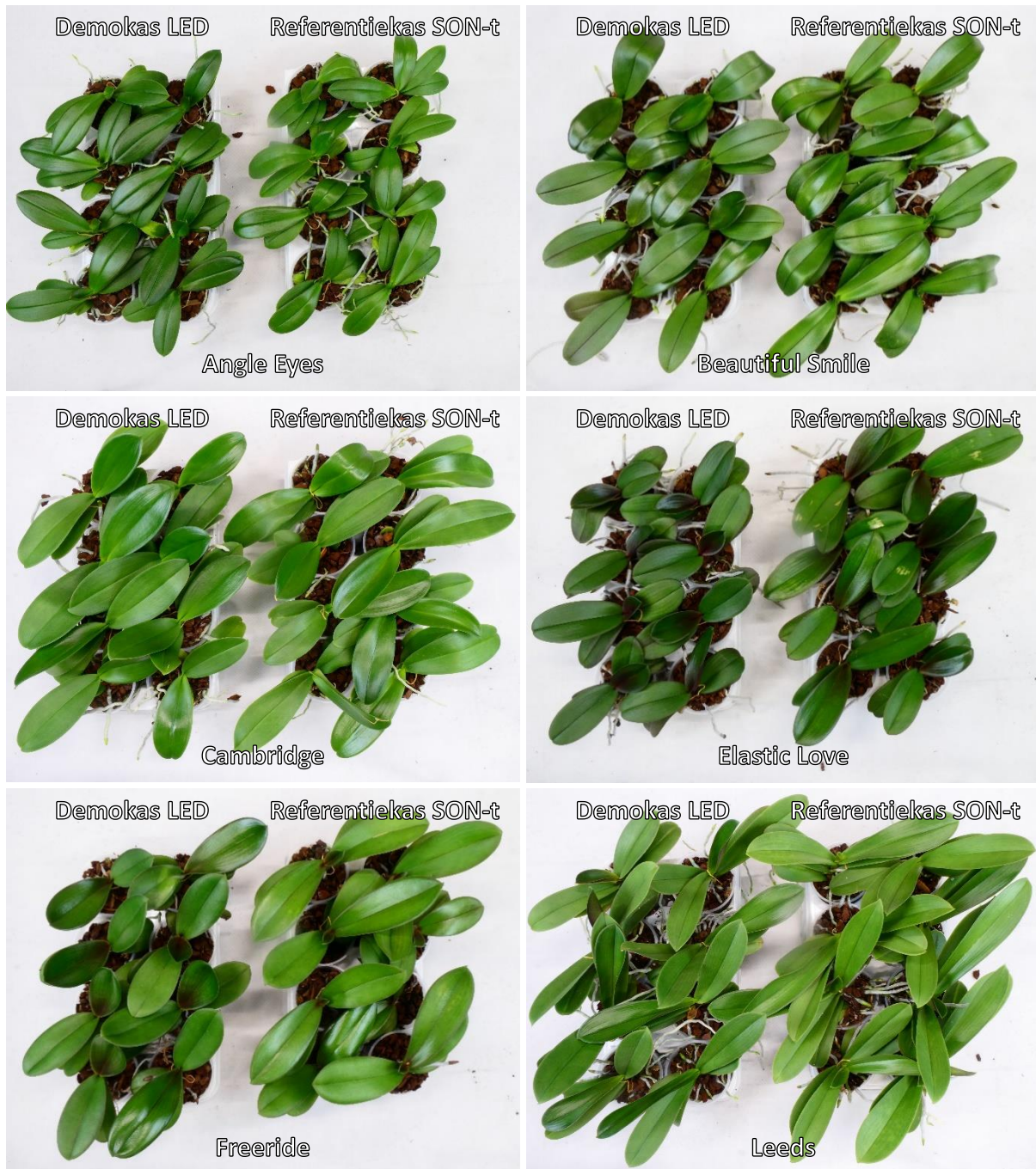
(SON-t) gemiddeld over alle 10 de cultivars 0.2 meer bladeren waren aangelegd van week 36 tot 50 (2021). Dit is mogelijk veroorzaakt door de hogere planttemperatuur onder SON-t (Figuur 9), en/of door het verschil in lichtspectrum. Het gemiddelde drooggewicht van 'scheut boven' was ook gemiddeld 0.3 gram zwaarder in de referentieteelt. In de demokas LED was het wortelgewicht echter bijna 0.3 gram hoger, zodat het totaal plantgewicht vrijwel gelijk was (gemiddeld 0.13 gram verschil per plant). De gemeten patronen zijn zeer consistent over de 10 cultivars, met slechts een enkele uitzondering.

Tabel 9. Aantal bladeren (bovenkant scheut) en plantgewicht (scheut boven, scheut onder en wortel in versgewicht: FW, en drooggewicht: DW) aan het einde van de opkweek in week 50 voor de referentiekas SON-t en de demokas LED (n=4 plots met 8 planten per plot, 32 planten per cultivar per behandeling totaal). NB de bovenkant scheut is bepaald door hartbladeren van ±7 cm te merken bij het begin van de proef. Een statistisch significant verschil tussen behandelingen (P<0.05) wordt aangeduid met *.

Cultivar	Afdeling	Bladeren [#]	Scheut DW (boven) [g]	Scheut DW (onder) [g]	Scheut DW (totaal) [g]	Wortel DW [g]	Totaal DW [g]
Angel Eyes	LED	*2.0	0.8	1.5	2.3	3.9	6.2
	SON-t	2.2	1.0	1.7	2.7	3.4	6.1
Beautiful Smile	LED	*1.9	1.6	1.8	3.4	4.1	7.4
	SON-t	2.1	1.8	2.0	3.7	3.6	7.3
Cambridge	LED	1.9	1.7	2.3	4.0	4.7	8.7
	SON-t	2.0	1.9	2.0	3.9	4.3	8.1
Elastic Love	LED	1.8	1.3	1.8	3.1	3.6	6.6
	SON-t	2.0	1.6	1.7	3.3	2.8	6.1
Freeride	LED	*2.0	*1.4	1.8	3.2	4.1	7.3
	SON-t	2.2	1.8	1.9	3.7	3.9	7.6
Leeds	LED	*1.9	*1.5	2.8	4.3	4.1	8.3
	SON-t	2.2	2.0	3.0	4.9	4.4	9.3
Miraflore	LED	*1.8	*1.4	1.6	3.0	3.8	6.8
	SON-t	2.1	1.7	1.7	3.4	3.5	6.9
Narbonne	LED	*2.1	*1.5	2.3	3.8	3.9	7.7
	SON-t	2.3	2.0	2.4	4.4	3.8	8.2
Pure Silk	LED	*2.1	*1.7	2.5	*4.2	4.6	8.8
	SON-t	2.3	2.3	2.7	5.0	4.5	9.5
Stellenbosch	LED	*2.1	*1.7	2.1	3.8	3.9	7.7
	SON-t	2.3	1.9	1.9	3.7	3.8	7.6
Gemiddelde	LED	*2.0	*1.5	2.0	*3.5	*4.1	7.5
	SON-t	2.2	1.8	2.1	3.9	3.8	7.7

Van vier cultivars zijn aan het laatste (bijna) volgroeide blad van 5 tot 8 planten detailmetingen uitgevoerd (per 2 bladeren gewogen). Vanwege dit vrij geringe aantal zijn dit dus slechts indicatieve metingen. Iedere plant die hiervoor werd geselecteerd, had een hartblad van 3-7 cm, waardoor aangenomen kan worden het voorgaande blad grotendeels volgroeid was. Van deze bladeren is de lengte, breedte, het oppervlak en het gewicht per oppervlak (LMA: gram droog/m² blad) bepaald (Tabel 10). Onder SON-t waren de bladeren 2-4 cm langer, een hadden een groter oppervlak, en een hogere LMA. Deze observatie komt

overeen met de visuele waarneming dat onder LED de planten kleiner waren (Foto 9). Bladeren onder LED waren visueel ook donkerder groen of roder van kleur. Dit is een typisch verschijnsel dat optreedt als er geen of een laag percentage verrood aanwezig is. Aan het einde van de afkweek is nogmaals het plantgewicht bepaald (Tabel 11). Hierbij viel op dat de verschillen in scheut- en wortelgewicht zoals vastgesteld aan het einde van de opkweek weer terugkwamen: In de referentiekas SON-t was het scheutgewicht 0.5 gram hoger in drooggewicht, maar in de demokas LED was het wortelgewicht 0.7 gram hoger in drooggewicht. Het totaal plantgewicht en het gewicht van de bloemtakken verschilde niet tussen de referentiekas SON-t en de demokas LED.



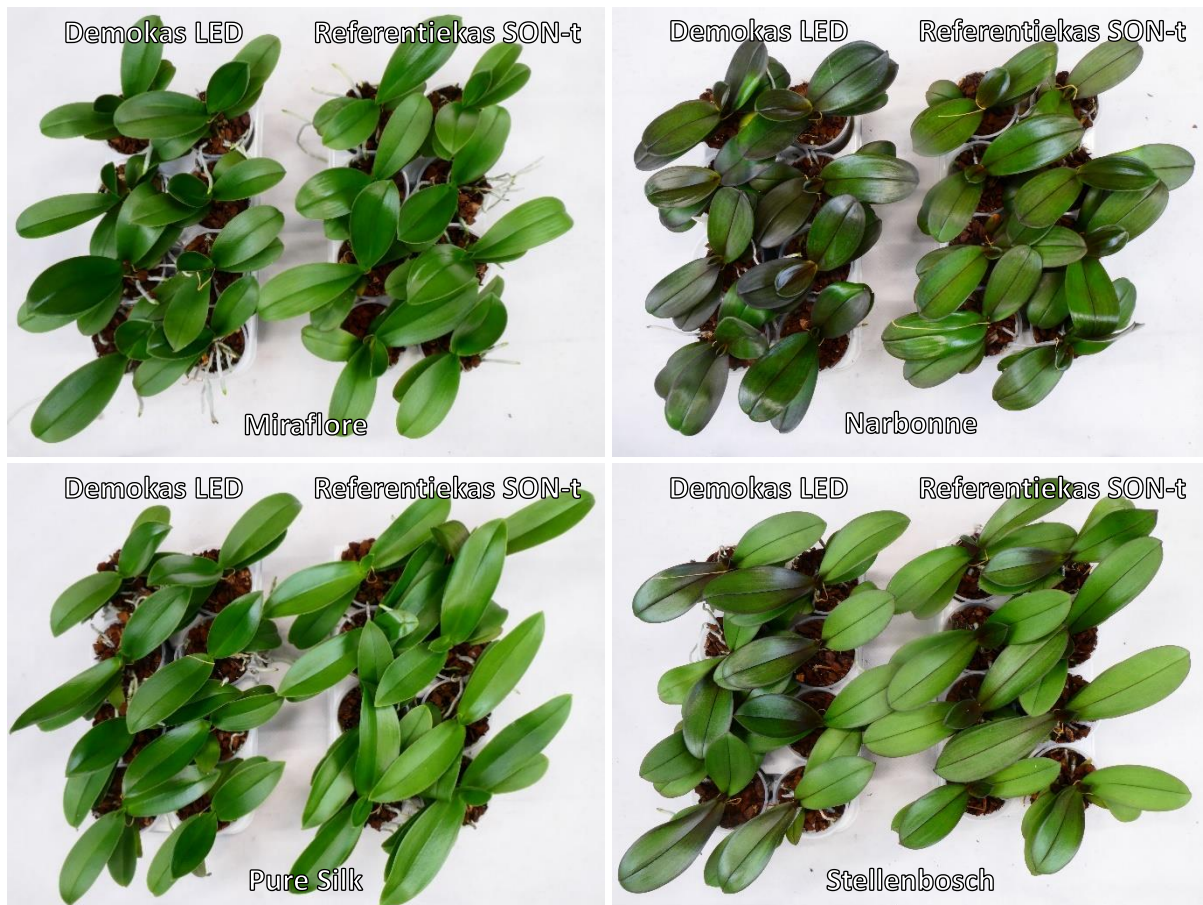


Foto 9. Planten aan het einde van de opkweek (week 50 2022) met 8 planten per behandeling in een tray. Te zien is dat het blad van Stellenbosch, Beautiful Smile en Narbonne onder LED roder van kleur is dan onder SON-t. De groenere cultivars zijn donkerder groen van kleur onder LED.

Tabel 10. Bladeigenschappen van vier cultivars van het laatste (bijna) volledig uitgegroeide blad van de referentiekas SON-t en de demokas LED. Iedere plant die hiervoor geselecteerd was, had een hartblad van 3-7 cm waardoor ervan uitgegaan kan worden dat het meetblad grotendeels volgroeid was (n= 5 tot 8 bladeren voor lengte, breedte en oppervlak, en N= 3 tot 4 bladeren voor LMA). Een statistisch significant verschil tussen behandelingen ($P < 0.05$) wordt aangeduid met *.

Cultivar	Afdeling	Bladbreedte [cm]	Bladlengte [cm]	Oppervlak [cm ²]	LMA [g/m ²]
Beautiful Smile	LED	6.1	*17	*72	96
	SON-t	6.1	21	89	97
Freeride	LED	7.1	16	83	*89
	SON-t	6.7	19	89	99
Pure Silk	LED	6.0	*17	*72	111
	SON-t	6.5	20	97	123
Stellenbosch	LED	7.0	*17	81	*99
	SON-t	6.7	19	87	96
Gemiddelde	LED	6.5	*17	*77	*99
	SON-t	6.5	20	91	106

Tabel 11. Plantgewicht (versgewicht: FW en drooggewicht: DW) van scheut (bladeren en schijnstam), wortels en bloemtakken bij de eind oogst aan het einde van de afkweek in week 16-19 2022 voor de referentiekas SON-t en de demokas LED (n=4 plots met 8 planten per plot, 32 planten per cultivar per behandeling totaal). Van drie cultivars is het wortelgewicht van de wortelgroei boven de pot apart gemeten en weergegeven. Het percentage drogestof is het drooggewicht gedeeld door het versgewicht. Een statistisch significant verschil tussen behandelingen (P<0.05) wordt aangeduid met *. (zie vervolg tabel op volgende bladzijde)

Cultivar	Afdeling	Bloemtak FW [#]	Scheut FW [g]	Wortel FW (totaal) [g]	Wortel FW (bovengroei)[g]	Totaal FW [g]
Angel Eyes	LED	38.9	58.9	82.2		180.0
	SON-t	40.7	68.8	74.8		184.3
Beautiful Smile	LED	44.5	102.8	*130.7	*29.2	277.9
	SON-t	43.4	105.4	116.7	20.6	265.5
Cambridge	LED	54.0	96.6	120.8	23.8	271.5
	SON-t	56.0	103.6	100.4	17.4	259.9
Elastic Love	LED	53.9	*86.1	77.3	16.4	217.3
	SON-t	55.4	100.7	65.3	11.9	221.3
Freeride	LED	62.2	87.5	88.7		238.4
	SON-t	64.4	102.9	82.1		249.3
Leeds	LED	65.5	*109.7	92.7		267.9
	SON-t	68.3	125.7	88.4		282.4
Miraflore	LED	53.9	*92.6	100.5		247.0
	SON-t	55.5	107.6	96.5		259.6
Pure Silk	LED	58.2	118.4	105.9		282.5
	SON-t	56.5	122.8	101.3		280.6
Stellenbosch	LED	59.5	104.6	120.1		284.3
	SON-t	52.1	106.8	110.4		269.3
Gemiddelde	LED	54.5	*96.6	*103.0	*23.6	254.1
	SON-t	54.3	104.9	93.8	17.2	253.1

Cultivar	Afdeling	Bloemtak DW [#]	Scheut DW [g]	Wortel DW (totaal) [g]	Wortel DW (bovengroei)[g]	Totaal DW [g]
Angel Eyes	LED	3.4	3.4	7.3		14.1
	SON-t	3.4	4.1	6.9		14.3
Beautiful Smile	LED	4.5	5.4	*9.7	*2.3	19.6
	SON-t	4.3	6.3	8.2	1.8	18.8
Cambridge	LED	4.9	5.2	9.8	2.1	20.0
	SON-t	5.0	5.7	9.1	1.7	19.8
Elastic Love	LED	4.7	*4.8	6.9	1.8	15.8
	SON-t	4.8	5.7	5.9	1.3	16.5
Freeride	LED	5.7	4.8	7.2		17.7
	SON-t	5.5	5.6	7.0		18.1
Leeds	LED	6.2	*6.3	8.7		21.1
	SON-t	6.3	6.9	7.5		20.7
Miraflore	LED	5.6	5.6	8.8		20.0
	SON-t	5.8	6.3	8.3		20.4
Pure Silk	LED	5.9	6.7	8.1		20.6
	SON-t	5.6	6.3	7.6		19.5
Stellenbosch	LED	5.5	5.3	8.5		19.3
	SON-t	4.7	5.5	7.5		17.7
Gemiddelde	LED	5.2	*5.4	*8.3	*2.1	18.9
	SON-t	5.0	5.9	7.6	1.6	18.4

Cultivar	Afdeling	Bloemtak DW [%]	Scheut DW [%]	Wortel DW (totaal) [%]	Wortel DW (bovengroei)[%]	Totaal DW [%]
Angel Eyes	LED	8.7%	5.9%	8.9%		7.9%
	SON-t	8.4%	5.9%	9.3%		7.8%
Beautiful Smile	LED	10.2%	5.2%	7.4%	8.0%	7.1%
	SON-t	9.9%	6.0%	7.0%	9.0%	7.1%
Cambridge	LED	9.2%	5.4%	8.2%	9.0%	7.4%
	SON-t	8.9%	5.5%	9.1%	10.0%	7.6%
Elastic Love	LED	8.8%	5.6%	8.9%	10.9%	7.6%
	SON-t	8.6%	5.7%	9.2%	11.2%	7.4%
Freeride	LED	9.2%	5.6%	8.2%		7.5%
	SON-t	8.6%	5.5%	8.6%		7.3%
Leeds	LED	9.4%	5.8%	9.3%		7.9%
	SON-t	9.2%	5.5%	8.5%		7.3%
Miraflore	LED	10.5%	6.0%	8.7%		8.1%
	SON-t	10.5%	5.8%	8.6%		7.9%
Pure Silk	LED	10.1%	5.7%	7.6%		7.3%
	SON-t	9.8%	5.2%	7.5%		7.0%
Stellenbosch	LED	9.2%	5.1%	7.1%		6.8%
	SON-t	9.0%	5.1%	6.8%		6.6%
Gemiddelde	LED	9.5%	5.6%	8.2%	9.2%	7.5%
	SON-t	9.2%	5.6%	8.2%	10.0%	7.3%

5.2 Bloemtak- en bloemtelling einde afkweek

Aan het einde van de afkweek zijn van week 16 t/m 19 (2022) de planten geteld bij een gelijk aantal open bloemen, meestal drie open bloemen per plant. Hieruit volgt ook de teeltduur. Per cultivar zijn er 4 plots met ieder 70 planten geteld. Tabel 12 geeft de resultaten weer.

De teeltduur verschilde nauwelijks tussen de twee behandelingen: de demokas LED was gemiddeld 1.6 dagen sneller dan de SON-t-afdeling. Het aantal bloemtakken en bloemknoppen verschilde niet tussen de referentiekas SON-t en de demokas LED. Over het algemeen verschilde de bloemknopabortie niet tussen beide behandelingen, behalve voor Angel Eyes (multiflora) die onder SON-t meer abortie vertoonde.

Het percentage 1-takkers was laag (5-6%) en verschilde niet significant tussen de behandelingen (Tabel 12). Het percentage 3-takkers lag iets hoger dan het percentage 1-takkers. Het percentage 2-takkers was gemiddeld over alle cultivars 87% en schommelde zo ongeveer tussen de 80-95%. Ook het percentage vertakking van de bloemtakken verschilde niet tussen de behandelingen.

Het gemiddeld verschil in taklengte tussen de eerste en de tweede tak van de twee-takkers was afhankelijk van cultivar tussen de 3 en 10cm en verschilde niet tussen de referentiekas SON-t en de demokas LED (Tabel 12).

Kortom, er was vrijwel geen verschil in bloeisnelheid, aantal bloemtakken en bloemtakkwaliteit tussen beide behandelingen. De kwaliteit was goed, met een relatief hoog percentage meertakkers. Waarbij opgemerkt dat het laatste gedeelte van de opkweek en de koelfase (week 52 tot 07) in de winterperiode plaatsvonden, met een hoog aandeel belichting in de PAR-som. In die periode zijn de bloemtakken uitgelopen. De afkweekfase was vanaf week 07, dus in een periode waarin het aandeel belichting in de PAR-som en de verschillen tussen de twee behandelingen steeds kleiner werden. Dus het feit dat er geen verschil gemeten is in aantal bloemen per plant, vertakking en taklengte, wil niet zeggen dat belichting met LED of SON-t daar geen invloed op kan hebben wanneer de afkweek midden in de winter plaatsvindt.

Narbonne was meegenomen als graadmeter voor voortakken. Alleen bij deze cultivar werden er voortakken waargenomen. Voortakken zijn in de afkweek gescoord als ja=1, nee= 0, misschien=0.5 (Foto 10). In de demokas LED, waar er in eerste instantie gestuurd werd op een lagere etmaaltemperatuur, ontstonden eerder voortakken dan in de referentiekas SON-t. Uiteindelijk had 50% van Narbonne onder LED voortakken tegenover 39% onder SON-t. Dit verschil is niet één op één aan het gebruik van LED-belichting toe te schrijven, maar heeft zeer waarschijnlijk ook te maken met de gevolgde temperatuurstrategie die in de demokas LED een grotere focus op energiebesparing had. Vanwege de vele voortakken is het plantgewicht van Narbonne niet gemeten aan het einde van de afkweek.



Foto 10. Scoring voortakken Narbonne als ja, nee, of misschien. De linkerfoto laat een duidelijke voortak zien (de ene tak veel rijper dan de andere tak). De rijpste tak op de rechterfoto is gescored als een mogelijke voortak.

Tabel 12. Plantkwaliteit aan het einde van de afkweek in de referentiekas SON-t en de demokas LED (n=4 plots met 70 planten per plot, 280 planten totaal). Een statistisch significant verschil ($P < 0.05$) tussen behandelingen wordt aangeduid met *. **Totaal aantal geaborteerde bloemknoppen op 280 planten. ***Betreft enkel de planten met twee bloemtakken. (zie vervolg tabel op volgende bladzijde)

Cultivar	Afdeling	Open bloemen [#]	Gemiddelde teeltduur [d]	Teeltduur tot 95% rijp [d]	Bloem-takken [#]	Bloemen + knoppen hoofdtak [#]	Bloemen + knoppen hoofd- en zijtak [#]
Angel Eyes	LED	5.6	233.5	239.4	2.2	22.8	42.3
	SON-t	5.7	233.3	241.8	2.2	22.2	41.7
Beautiful Smile	LED	2.6	238.8	244.5	2.1	*14.9	17.7
	SON-t	2.4	241.4	246.0	2.1	13.4	16.4
Cambridge	LED	2.7	237.7	243.0	1.9	17.4	17.5
	SON-t	3.1	239.3	243.7	1.9	17.9	18.0
Elastic Love	LED	2.8	238.2	242.8	2.0	14.7	15.6
	SON-t	2.6	240.1	244.6	2.1	14.7	15.7
Freeride	LED	2.7	239.2	244.6	2.2	19.4	20.5
	SON-t	2.8	237.6	244.4	2.1	18.4	20.0
Leeds	LED	3.0	233.8	238.4	1.9	17.7	20.4
	SON-t	3.1	233.8	239.5	1.9	17.6	21.6
Miraflore	LED	2.5	240.6	244.8	2.0	16.2	20.4
	SON-t	2.5	241.2	245.7	2.0	16.1	19.4
Narbonne	LED		232.4	241.9	1.9		
	SON-t		234.1	245.0	1.9		
Pure Silk	LED	3.0	225.9	230.2	2.0	20.5	21.3
	SON-t	3.1	225.2	228.9	2.0	20.1	20.3
Stellenbosch	LED	3.8	240.2	244.1	2.0	*16.8	16.8
	SON-t	3.5	240.9	244.6	1.9	15.7	15.7
Gemiddelde Excl. Narbonne	LED	3.2	236.2	241.3	2.0	*17.9	21.5
	SON-t	3.2	236.7	242.1	2.0	17.6	21.3

Cultivar	Afdeling	**Knop-abortie [#]	Planten met knopabortie [%]	Aandeel 1-takkers [%]	Aandeel 2-takkers [%]	Aandeel 3-takkers [%]	Aandeel vertakt [%]
Angel Eyes	LED	*35	*11%	0%	76%	24%	96%
	SON-t	89	20%	1%	79%	20%	94%
Beautiful Smile	LED	11	3%	1%	84%	15%	44%
	SON-t	13	2%	5%	84%	11%	44%
Cambridge	LED	13	5%	9%	91%	0%	2%
	SON-t	13	3%	5%	95%	0%	3%
Elastic Love	LED	1	0%	6%	87%	7%	15%
	SON-t	3	1%	4%	85%	11%	16%
Freeride	LED	17	9%	1%	78%	21%	19%
	SON-t	15	4%	5%	79%	16%	23%
Leeds	LED	3	1%	14%	86%	0%	32%
	SON-t	6	2%	13%	87%	0%	47%
Miraflore	LED	23	8%	4%	95%	1%	62%
	SON-t	17	5%	3%	95%	3%	48%
Narbonne	LED			15%	85%	0%	
	SON-t			17%	80%	3%	
Pure Silk	LED	13	4%	1%	96%	2%	5%
	SON-t	15	5%	1%	99%	0%	2%
Stellenbosch	LED	9	3%	8%	86%	7%	1%
	SON-t	9	4%	15%	80%	5%	1%
Gemiddelde	LED	*14	6%	5%	87%	8%	30%
Excl. Narbonne	SON-t	20	8%	6%	87%	7%	31%

Cultivar	Afdeling	***Tweetakkers: Bloemen + knoppen [#]	***Tweetakkers: Gemiddelde taklengte [cm]	***Tweetakkers: Lengteverschil [cm]	***Tweetakkers: Aandeel vertakt [%]
Angel Eyes	LED	40.9	49.0	2.8	97%
	SON-t	40.4	51.3	3.1	93%
Beautiful Smile	LED	17.4	65.7	6.5	49%
	SON-t	16.6	65.6	6.4	47%
Cambridge	LED	18.2	68.2	8.0	1%
	SON-t	18.4	68.4	6.5	3%
Elastic Love	LED	15.6	62.6	9.2	13%
	SON-t	15.6	62.0	9.4	17%
Freeride	LED	19.7	77.3	6.9	23%
	SON-t	19.8	76.4	7.1	25%
Leeds	LED	20.7	75.7	6.8	25%
	SON-t	22.0	76.9	6.8	42%
Miraflore	LED	20.5	65.4	5.6	61%
	SON-t	19.6	64.9	5.6	50%
Pure Silk	LED	21.0	78.7	3.9	4%
	SON-t	20.4	78.1	4.3	2%
Stellenbosch	LED	17.0	73.6	4.9	0%
	SON-t	16.7	74.5	5.3	1%
Gemiddelde	LED	21.1	68.6	6.0	29%
Excl. Narbonne	SON-t	21.2	69.0	6.0	30%

5.3 Houdbaarheid

De houdbaarheid is onderzocht door Royal Flora Holland. Er zijn van Miraflore en Stellenbosch per behandeling 10 planten aangeleverd die na 7 dagen afzetsimulatie volgens protocol 42 dagen in 'consumentenfase' zijn beoordeeld. Wekelijks is het volgende gescoord:

- De sierwaarde van het blad is genoteerd in schaal van 1 tot 5: Score 5 houdt in dat de sierwaarde 'zeer goed, product zonder gebreken, 0% aantasting' is. Score 4 houdt in dat de sierwaarde 'goed, product met kleine kwaliteitsaanmerking, 0-5% aantasting' is. Er is nooit lager dan een 4 gescoord.
- Aantal goede bloemen.
- Aantal knoppen.
- Aantal uitgebloeide bloemen.
- Aantal afgestoten knoppen.

Tabel 13 geeft de resultaten van het houdbaarheids-onderzoek weer. Tussen de behandelingen zitten kleine verschillen, waarbij de sierwaarde van de planten onder LED gelijk is of net iets beter is dan onder SON-t. Foto 11 geeft een indruk van de plantkwaliteit bij oogst.

Tabel 13. Uitbloekwaliteit van Miraflore en Stellenbosch zoals uitgevoerd door Royal Flora Holland, 49 dagen na levering van de planten uit de twee proefbehandelingen.

	Miraflore		Stellenbosch	
	LED	SON-t	LED	SON-t
Sierwaarde blad dag einde test	4.9	4.3	4.5	4.3
% Bloei	94.9%	95.7%	91.2%	84.3%
% Afgestoten knoppen	5.1%	3.8%	3.5%	13.0%
% Knoppen op plant einde test	0.0%	0.0%	5.3%	2.7%
% Uitgebloeide bloemen einde test	38.9%	54.2%	4.6%	4.7%
% Open bloemen op plant einde test	56.0%	41.4%	86.6%	76.7%



Foto 11. Representatieve planten uit beide behandelingen van Miraflore en Elastic Love bij eind oogst. Er waren aan het einde van de afkweek geen opvallende verschillen in bloemtakkwaliteit.

6 Energieberekeningen Phalaenopsis

In een kleine proefkas is het niet goed mogelijk is om op een voor een commerciële kassituatie representatieve manier te meten aan energiebesparing. Dit vanwege een relatief groot effect van de buitengevel en gevels grenzend aan warme of koude van buurkassen. Daarom is het energieverbruik gedurende de opkweekfase in de proef via een modelstudie door B-Mex B.V. omgerekend naar de situatie van een commerciële kas (Paragraaf 6.6). Met hetzelfde model zijn ook scenarioberekeningen uitgevoerd om effecten van verschillende energiebesparende maatregelen na te gaan (Paragraaf 6.3).

6.1 Werkwijze

Als vervolg op de kasproef is samen met drie telers een brainstormsessie gehouden om te inventariseren hoe er in de teelt van Phalaenopsis, met name in de opkweekfase, energie kan worden bespaard. Hieruit is een lijst met maatregelen gekomen die zijn gebruikt als basis om verschillende scenario's met energiebesparende maatregelen, en combinaties daarvan, door te rekenen.

Een kasklimaatmodel van B-Mex (Van Beveren *et al.*, 2015) is aangepast (o.a. verdampingsmodel van Baas 2010) en uitgebreid om verschillende scenario's door te kunnen rekenen voor de opkweekfase van Phalaenopsis. De energiebalans is gevalideerd met 1 jaar aan data van een opkweekkas van Opti-flor (Bedrijf 1; 1 januari 2021 t/m 31 december 2021). Vervolgens zijn op basis van het gevalideerde model 18 scenario's doorgerekend, en is de warmte- en elektra-input daarvoor bepaald. Alle scenario's zijn steeds doorgerekend voor een periode van 1 jaar met de data van 2021. De gemiddelde temperatuur gemeten bij het KNMI-weerstation in Hoek van Holland was 11.02 °C in 2021. Dat is dichterbij het langjarig gemiddelde van 10.54 °C dan het jaar 2020 (12.1 °C). Dat maakt de simulatie met weerdata van 2021 tot een logische keuze.

De opkweekafdeling van Bedrijf 1 heeft de volgende kenmerken:

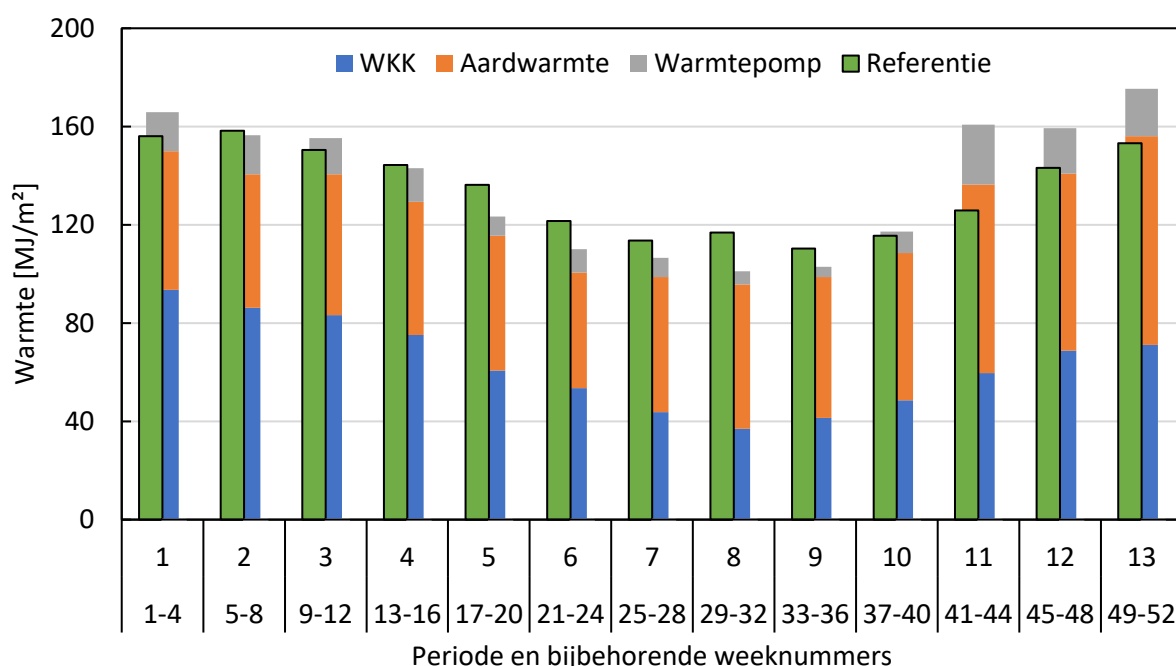
- Dubbel kasdek (NB dit is niet gangbaar in de praktijk en heeft als consequentie dat de referentiekas een lager warmteverbruik heeft dan de gemiddelde praktijkkas).
- Een gemiddelde kashoogte van 5.75 m.
- Belichting met 80 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ SON-t.
- Energiedoek (LUXOUS 1147 FR) en verduisteringsdoek (OBSCURA 9950 FR W).
- In 2021 is er krijt toegepast tussen dagnummer 54 en 239.
- De verwarming bestond uit een ondernet (16 buizen van 51 mm per 12.8 m kap) en een bovennet (12 buizen van 57 mm per 12.8 m kap).
- Watergift bovenlangs, totaal 83 keer in 2021, dat is gemiddeld 1 keer per 4.4 dagen.
- 5-minuten data Bedrijf 1: kasklimaat, meteo, schermen, belichting en verwarming.

6.2 Referentie praktijkkas

In Tabel 14 staan enkele jaargemiddelden van het kasklimaat en de sturing van de referentiekas in 2021. De totale PAR-som door SON-t belichting was 551 mol/m². Daar is in totaal 83 kWh elektra voor nodig, uitgaande van een efficiëntie van de SON-t van 1.85 μmol/J. De totale hoeveelheid berekende verdamping was 387 L/m². Dat komt overeen met de berekende verdamping van 389 L/m² in Dueck *et al.* (2011) en de getallen in Baas (2010).

Tabel 14. Gemiddelde waarden kasklimaat en sturingen over heel 2021. Nb. alle 24 uren van een dag zijn in deze gemiddelden meegenomen.

Meting	Gemiddelde 2021
Temperatuur kas	28.5 °C
RV kas	65.6%
CO ₂	951 ppm
PAR kas	65.6 μmol/m ² /s (5.7 mol PAR/dag)
Stand energiedoek	61.7%
Stand verduisteringsdoek	52.7%
Temperatuur buis boven	35.1 °C
Belichting aan	22.0%
Raamstand luwe zijde	9.6%
Raamstand wind zijde	3.7%



Figuur 15. Warmte Opti-flor uit verschillende bronnen volgens gegevens Opti-flor en berekende benodigde energie voor verwarming (MJ/m²/periode) met het model voor de referentie praktijkkas over 2021.

In Figuur 15 is de benodigde energie voor verwarming in de referentie-praktijkkas (Bedrijf 1) weergegeven per periode. In totaal was 1745 MJ/m² warmte nodig. Dat staat gelijk aan 49.6 m³ gas equivalenten (1 m³ aardgas is gelijk aan 35.17MJ). Uit berekening van de opgewekte energie op het hele bedrijf uit verschillende bronnen was de totale warmteproductie 1770

MJ/m². Model en werkelijkheid geven dus op jaarbasis dezelfde orde van grootte. Opvallend is het hoge warmteverbruik in de zomer. Het laagste gebruik is in de maand augustus (100 MJ/m²), en dat gebruik is 'slechts' zo'n 70MJ lager dan in de maand december met het hoogste gebruik. Bij de bespreking van scenario 18 in paragraaf 6.3 wordt hier verder op ingegaan.

6.3 Scenario's energiebesparing

Het overzicht met de resultaten van alle doorgerekende scenario's staat in Tabel 15. De specifieke aannames en details over de resultaten staan daarna per scenario weergegeven.

Tabel 15. Overzicht van elektra- en warmtevraag voor de verschillende scenario's opkweek Phalaenopsis in 2021. 1 kWh=3.6MJ en 1m³ gas =35.17MJ. Een negatieve besparing kost juist meer energie dan in de referentie praktijkkas. De referentie had dubbel glas. Dit is niet representatief voor de gemiddelde praktijk. Scenario 12 (enkel glas) staat wel representatief voor de praktijk. NB In de tabel staan de absolute energiestromen. Dus de benodigde elektra voor de lampen en de benodigde warmte staat weergegeven en de energie-inhoud van de som daarvan is omgerekend in aardgas-equivalenten. Dus niet de m³ gas die nodig zijn om de benodigde elektra of warmte via een WKK te maken.

Scenario	Elektra [kWh/m ² /jr]	Warmte [MJ/m ² /jr]	Totaal gas eq. t.o.v. referentie [m ³ /m ² /jr]	Besparing gas [%]
0 Referentie-kas (dubbel glas)	83	1745	58.1	
1 SON-t vervangen door LED	42	1842	56.7	2.5%
2 Dimbare LED's	55	1838	57.9	0.4%
3 derde scherm	83	1702	56.9	2.1%
4 Betere isolatie kasdek	83	1541	52.3	10.0%
5 Extra isolatie verduistering	83	1614	54.4	6.4%
6 Max buis boven van 50°C	83	1737	57.9	0.4%
7 Combinatie 3+6	83	1692	56.6	2.6%
8 Max buis van 40°C*	83	1536	52.2	10.2%
9 Combinatie 1+3+6	42	1784	55.0	5.3%
10 Combinatie 2+3+6	55	1781	56.3	3.2%
11 Watergift zonder gieten	83	1634	54.9	5.5%
12 Enkel glas	83	2258	72.7	-25.1%
13 Combinatie 1+3+8*	42	1561	48.7	16.2%
14 Geen minimumbuis	83	1642	55.2	5.0%
15 Combinatie 3+12	83	2129	69.0	-18.7%
16 Combinatie 1+3+12	42	2230	67.7	-16.5%
17 Combinatie 1+3+8+12*	42	1715	53.1	8.7%
18 Combinatie 1+ (Tetmaal-2°C)	42	1705	52.8	9.1%

*Streef temperatuur in koude maanden is niet gehaald bij beperken buis op 40 °C.

Scenario 1: SON-t vervangen door LED

In scenario 1 zijn de SON-t lampen vervangen door LED's met dezelfde intensiteit belichting op dezelfde uren. Er is maximaal 80 µmol/m²/s belichting. De LED's in het scenario hebben een efficiëntie van 3.7 µmol/J. De elektrabesparing door het vervangen van de SON-t is de helft van het totale elektra verbruik. Aan de andere kant is er wel meer warmte nodig, omdat

LED's minder warmte afgeven dan SON-t lampen. In dit scenario is de aanname gedaan dat de warmteproductie van de LED's 2.5 keer lager is dan van de SON-t. Deze aanname is erop gebaseerd dat de meeste convectie-warmte rondom het armatuur geproduceerd wordt en een kleiner deel van deze geproduceerde warmte bijdraagt aan opwarming van de teeltzone vergeleken met SON-t. De totale berekende energiebesparing is 2.5%.

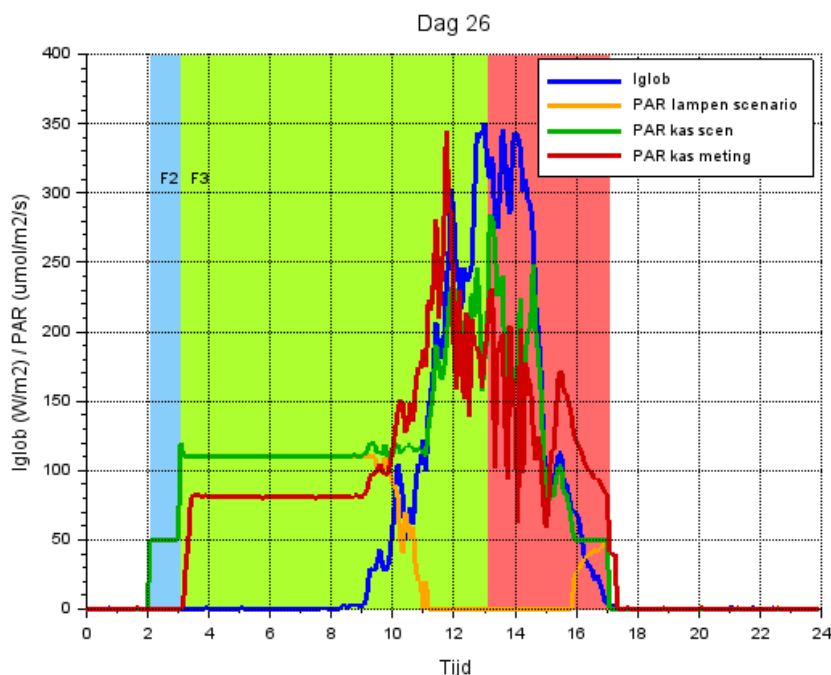
Scenario 2: Dimbare LED's

In scenario 2 is de belichting vervangen door dimbare LED's van $120 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Er is dus 1.5 keer zoveel geïnstalleerd vermogen beschikbaar dan in scenario 1.

De LED's worden geschakeld op basis van de volgende regels per CAM-fase, ruwweg zoals gestuurd is in de demokas LED in de kasproef bij Delphy Improvement Centre:

- Fase II: 15-14 uur voor zon onder, minimaal $50 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ in de kas.
- Fase III: 14-4 uur voor zon onder, PAR som 5 mol, max $250 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ in de kas.
- Fase IV: 4-0 uur voor zon onder, minimaal $50 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ in de kas.
- Bij minder dan 10% dimming zijn de LED's uit.

In Figuur 16 staat een voorbeeld ter validatie van de dimregeling waarmee het model rekent (scenario 0 of 1 vs. 2). De aanname is gedaan dat het elektragebruik lineair afneemt met percentage dimming. De efficiëntie ($3.7 \mu\text{mol}/\text{J}$) van de LED's blijft in het scenario dus gelijk. In de praktijk neemt de efficiëntie van LED's iets toe als er gedimd wordt.

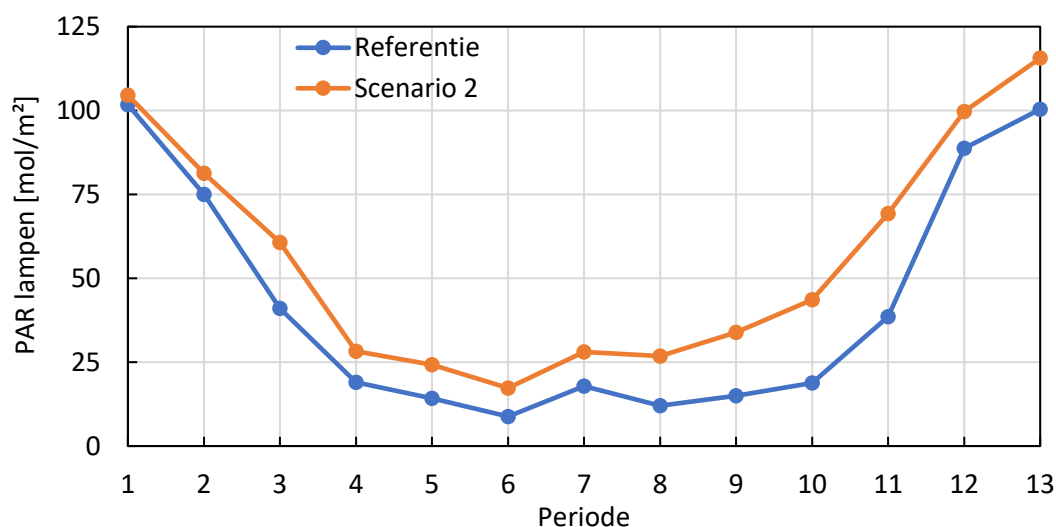


Figuur 16. PAR in de kas (rode lijn scenario 0 of 1, groene lijn scenario 2) en PAR lampen voor scenario 2 op dag 26 in 2021 (gele lijn). Dit ter illustratie van de lichtregeling in het model. Blauwe lijn: straling in W/m^2 .

In totaal is er $182 \text{ mol}/\text{m}^2$ meer belicht in scenario 2 dan in scenario 1 tegenover een $13 \text{ kWh}/\text{m}^2$ hoger elektragebruik (Tabel 16). Hoe deze verschillen over het jaar verdeeld zijn, is te zien in Figuur 17. Doordat er meer is belicht, is ook de verdamping $13 \text{ L}/\text{m}^2/\text{jaar}$ hoger dan in de referentie.

Tabel 16. Vergelijk lampen in referentie (scenario 0) en scenario 1 en 2. Nb. In scenario 2 is de geïnstalleerde lichtintensiteit verhoogd van 80 naar 120 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ten opzichte van scenario 0 en 1. De lichtsom is met 33% omhooggegaan en de belichte uren met 23%. Er zijn dus meer uren bijgekomen waarbij de lampen gedimd aanstaan.

	Eenheid	Referentie-kas (dubbel glas) Scenario 0	SON-t vervangen door LED Scenario 1	Dimbare LED's Scenario 2
PAR lampen	[$\text{mol}/\text{m}^2/\text{jr}$]	551	551	733
PAR kas	[$\text{mol}/\text{m}^2/\text{jr}$]	2064	2064	2247
Lampen aan	[uur/jr]	2419	2419	2993
Elektra	[kWh/jr]	83	42	55



Figuur 17. PAR lampen (mol/m^2) per periode voor referentie-praktijkkas (en scenario 1) en scenario 2 Dimbare LEDs.

Scenario 3: derde scherm

In scenario 3 is een derde scherm toegevoegd met dezelfde eigenschappen als het bestaande energiescherm. De regeling is ook precies gelijk aan het bestaande energiedoek. In dit scenario gaat deze dus op dezelfde momenten open en dicht als het andere energiedoek. Door deze aanpassing wordt een besparing van 2% gerealiseerd. In de praktijk zou een andere schermstrategie voor dit scherm kunnen leiden tot grotere besparingen. Voor het vergelijk tussen scenario 0 en 3 is het ook belangrijk om op te merken dat in scenario 0 sprake is van een dubbel kasdek. Bij enkel glas is er ruwweg 5% besparing door toepassing van een 3^e scherm (zie scenario 12 en 15: $69.0/72.7=95\%$).

Scenario 4: Betere isolatie kasdek

In scenario 4 heeft het kasdek, dat al een dubbelglas kasdek is in de referentie, een 22% hogere isolatiewaarde. De eigenschappen van lichtdoorlatendheid zijn ongewijzigd. Ten opzichte van de referentie kan hiermee 10% warmte worden bespaard en ten opzichte van een enkel kasdek zal de besparing groter zijn.

Scenario 5: Extra isolatie verduisteringsdoek

In scenario 5 is de isolatiewaarde van het verduisteringsdoek twee keer zo groot gemaakt. Het effect hiervan is een energiebesparing van 6.4% ten opzichte van de referentie met een dubbelglas kasdek. In het geval van een enkel kasdek zal de besparing groter zijn. Er is op dit moment nog geen doek op de markt met deze eigenschappen.

Scenario 6: Maximumtemperatuur bovenbuis van 50°C

De temperatuur van het bovennet is in scenario 6 maximaal 50°C. Het ondernet is ongewijzigd. Het verschil met de referentie is in dit scenario slechts 0.4%.

Scenario 8: Maximumtemperatuur buis van 40°C

In scenario 8 hebben zowel het ondernet als het bovennet een maximale temperatuur van 40°C. Hiermee wordt in dit scenario een besparing van ruim 10% gerealiseerd. De maximale temperatuur van beide netten zorgt er echter ook voor dat in koude maanden de streef temperatuur niet gehaald kan worden. In periode 1 (januari) zorgt dit voor een lagere gemiddelde kastemperatuur van ruim 2.5°C voor de hele periode. Vanuit het oogpunt van voortakken is dit ongewenst.

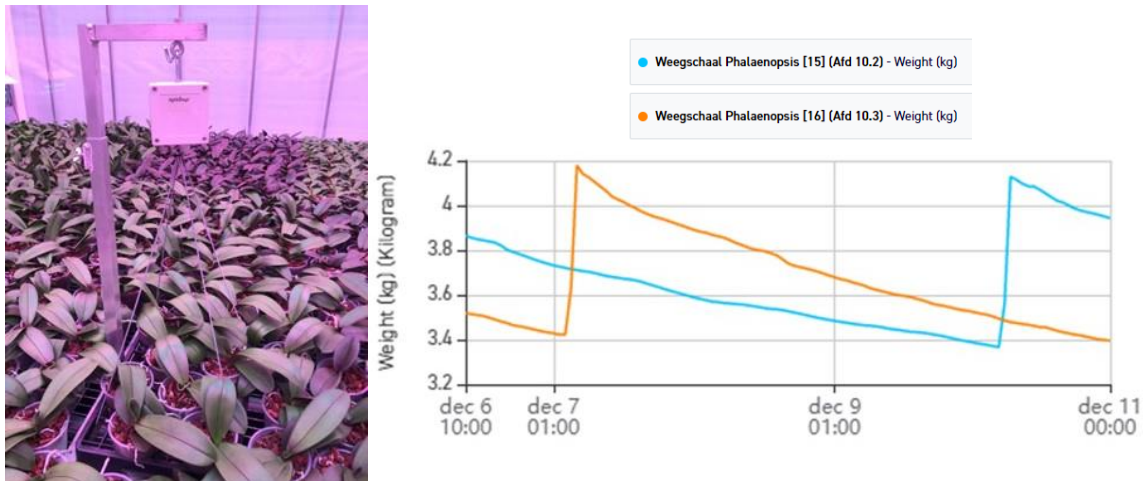
Scenario 11: Watergift zonder effect van gieten op het klimaat

In 2021 waren er in totaal 83 gietbeurten. Gemiddeld zitten er 4 tot 5 dagen tussen 2 gietbeurten. Wanneer een gietbeurt wordt gegeven wordt loopt de RV in de kas snel op. Er wordt die dag extra gestookt om de kas op temperatuur te houden en vocht in de lucht af te voeren. In scenario 11 worden het klimaat en de sturingen op de dag dat er een gietbeurt is geweest vervangen door het klimaat en de sturingen van de dag ervoor. We gaan er daarbij van uit dat er op een andere manier water wordt gegeven die geen invloed heeft op RV en waardoor er niet extra gestookt hoeft te worden. Dit leidt in het berekende scenario tot een energiebesparing van 5.5%.

In het project 'Energiezuinig teeltconcept Phalaenopsis' (Dueck *et al.*, 2011) zijn componenten van het energieverbruik in de verschillende teeltfasen van Phalaenopsis in kaart gebracht. Hieruit bleek dat er 5% energie bespaard kan worden in de opkweek en 10% in de koeling/afkweek als het gewas niet nat wordt tijdens het water geven. In de Phalaenopsisteelt komt verdamping zowel van de plant zelf als uit de pot. Als de evaporatie uit de pot verminderd kan worden, geeft dat een besparing van 14-18% in de opkweek en 2-8% in de koeling/afkweekfase volgens Dueck *et al.* (2011).

Op basis van de metingen van Baas (2010) volgt dat Phalaenopsis tussen de 0.6 en 1.1 L/m² per dag verdampt in de opkweekfase, en dat na de watergift ongeveer 600 ml water achterblijft in de teeltruimte (op o.a. de plant, pot, tafel). In Figuur 18 staan de data van 2 weegschalen in de kasproef bij het Delphy Improvement Centre voor een periode van ongeveer 4 dagen. Hier worden 10 planten gewogen op een oppervlak van 0.164 m². Voor beide afdeling is één watergift te zien. De gewichtstoename door het watergeven is ongeveer 0.7 kg (en dus $0.7/0.164=4.3\text{L/m}^2$). In afdeling 10.2 werd 15.5 L/m² per beurt gegeven en in afdeling 10.3 werd 13.2 L/m² per beurt gegeven. De directe drain is dus ongeveer $(15-4.3)/15=$

71%. Te zien is dat het gewicht in de dagen na de gietbeurt geleidelijk afneemt tot de volgende gietbeurt. Deze afname komt door zowel de evaporatie uit de pot als de verdamping van het gewas. In de eerste uren na watergeven is er een extra gewicht-afname is van ongeveer 100 gram voor 10 planten (=625 g/m²). De hiervoor genoemde 600 ml water die achterblijft na een gietbeurt lijkt daarmee in overeenstemming te zijn. Verdamping kost 2256 Joule/ml, dat is 1.35 MJ voor 600 ml water.



Figuur 18. Gewichtstoename door watergeven in de proef in afdeling 10.2 (demokas-LED) en 10.3 (referenties SON-t).

Scenario 12: Enkel glas

In scenario 12 is het dubbelglas kasdek uit de referentiekas vervangen door enkel glas. Hoeveel dit extra kost hangt met name af van de isolatiewaarde van het kasdek in de referentiekas en de isolatiewaarde van het enkel glas. In dit scenario is gerekend met een U-waarde van 4.6 W/m²/°C ten opzichte van 3.1 W/m²/°C in de referentie praktijkkas. Dat leidt met deze waarden tot een maar liefst 25% hogere warmtevraag. NB de U-waarde waarmee gerekend is, is conservatief ingeschat. Geelen *et al.* 2020 noemen een U-waarde voor enkel glas van 7 W/m²/K. Dit zou aanzienlijk meer warmtevraag genereren waardoor de besparing van dubbel glas ten opzichte van enkel glas nog veel hoger kan liggen.

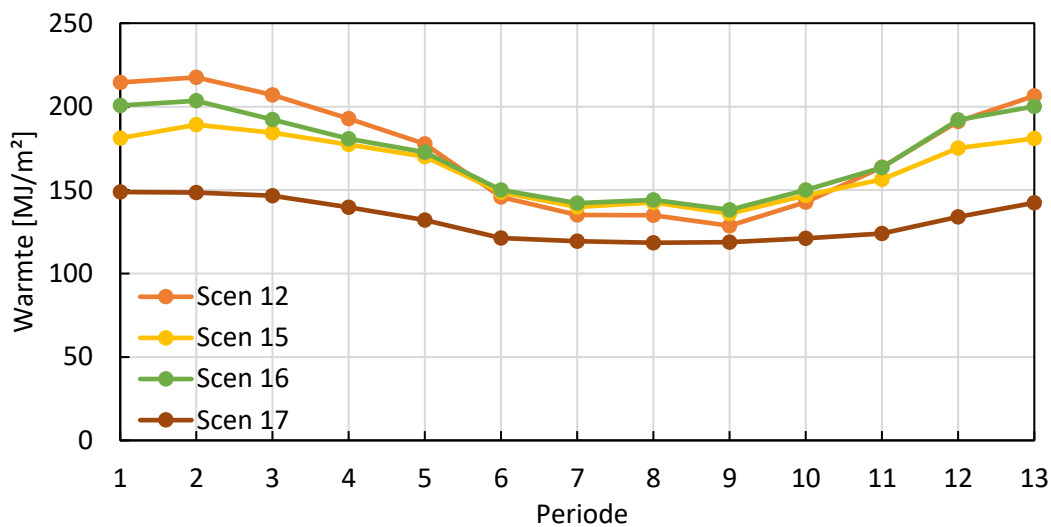
Scenario 14: Geen minimumbuis

In scenario 14 is er geen minimumbuis temperatuur. Dit bespaart 5% aan warmte ten opzichte van de dubbelglas referentiekas en 2% ten opzichte van scenario 8 waar de maximale buistemperatuur 40°C is. De 5% besparing lijkt laag. Wellicht kan de besparing fors hoger worden wanneer in perioden met weinig warmtevraag een lager vochtdeficiet geaccepteerd wordt waardoor er minder verdamping is en minder gelucht hoeft te worden (zie paragraaf 6.4).

Scenario 15-17: Enkel glas SON-t naar LED met derde scherm, wel/geen max. 40°C buis.

In Figuur 19 is het jaarverloop van scenario 12 (enkel glas SON-t), 15 (enkel glas SON-t 3^e scherm), 16 (enkel glas LED 3^e scherm) en 17 (enkel glas LED 3^e scherm en max. 40° buis) te zien. Het effect van het derde scherm verlaagt de warmtevraag vooral in de koudere periodes (periode 1-4 en 12-13). De procentuele verlaging van de warmtevraag op jaarbasis door het

derde scherm is groter bij het enkel glas (5%) vergeleken bij het scenario met dubbel glas (2%). Opvallend is ook de warmtevraag in de zomer die zeker aanwezig is (zie ook 6.4). Vanwege de gewenste temperaturen in de opkweekfase is er in de zomer bij de enkel glas scenario's een warmtevraag tussen de 120 en 150 MJ/m²/periode. Dat is ongeveer 20% hoger dan vergeleken bij de analyse van de warmtestromen op het referentiebedrijf met dubbel glas in 2021 (Figuur 15). Het verlagen van de minimumbuis naar 40°C heeft in de zomer wel een verlagend effect op het energieverbruik van ruim 20 MJ/m²/periode.

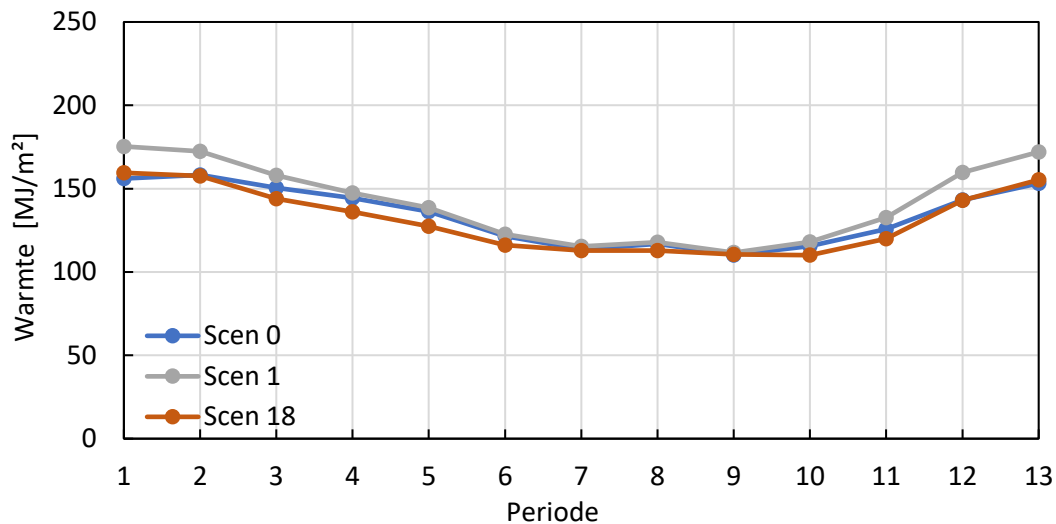


Figuur 19. Jaarverloop warmtevraag enkel glas scenario's. Scenario 12 heeft enkel glas met SON-t. Scenario 15 heeft een derde scherm erbij. Scenario 16 heeft een derde scherm met LED en kost daardoor meer warmte dan scenario 15. Bij scenario 17 is de minimumbuis gemaximaliseerd op 40°C. Dit bespaart ook in de zomer energie.

Combinatie scenario's

Van alle combinatie scenario's met LED geeft de combinatie van scenario 1, 3 en 8 (scenario 13) de grootste besparing. Hierin wordt 16% energie in totaal bespaard ten opzichte van de referentiekas met dubbel glas. Ten opzichte van het scenario enkel glas, wat het dichtst bij de praktijk ligt, is de besparing 33% (!).

Als laatste is in scenario 18 nog verkend wat het effect is van een 2°C lagere teelttemperatuur (van 28.5° naar 26.5°C). Dit geeft waarschijnlijk voortakken, maar geeft wel inzicht in mogelijke besparingen, net als scenario 8 en 14 (Figuur 20). Het uiteindelijke effect van de 2°C lagere temperatuur van 9% valt erg tegen (Tabel 15).



Figuur 20. Jaarverloop warmtevraag van de referentie-praktijkkas (scenario 0), referentie+ LED (scenario 1) en referentie + LED + 2°C lagere teelttemperatuur (scenario 18). Opvallend blijft de hoge warmtebehoefte in de zomerperiodes (6-9) die dan nauwelijks afhankelijk van teelttemperatuur lijkt te zijn (zie ook paragraaf 6.4).

6.4 Besparen op warmtebehoefte zomer?

Opvallend blijft de hoge warmtebehoefte in de zomer. Daarom staan in Figuur 21-22 de scherming, luchting & buiswarmte en bijbehorende warmte-fluxen (Tabel 17) voor een aantal zonnige junidagen voor de referentie-praktijkkas weergegeven. Het volgende is te zien:

- Er is bijna altijd wel een scherm geheel of gedeeltelijk gesloten.
- De bovenbuis is 's nachts minimaal 50°C of hoger en wordt ook overdag ingezet op de dag van de gieten (6 juni 2021).
- De onderbuis is 's nachts 50°C en overdag rond de 36°C behalve op de dag van gieten (6 juni 2021).
- Er wordt tegelijkertijd verwarmd en gelucht. Dit vanwege vochtafvoer.

Tabel 17 geeft de warmtefluxen weer als dagsommen. Hierbij valt het volgende op:

- In de kas komt er 3.0 MJ/m² straling binnen, dit is bij ±6 mol/m² PAR daglicht/dag.
- Via verdamping verdwijnt er ook zo'n 2.9 MJ/m²/dag. Dit is ongeveer 1.3 L/m² en is dus fors meer dan het jaargemiddelde van 1.0 L/m²/dag.
- De verwarming moet dus nog de ventilatieverliezen (1.8 MJ/m²) en kasdekverliezen (2.4MJ/m²) compenseren en komt uit op 4.1 MJ/m².

Als we verder gaan rekenen aan maximale energiebesparing in de zomer, dan moeten we rekening houden met dezelfde warmtefluxen per periode van 28 dagen:

- Inkomende zonnestraling is 63 MJ/m²/periode (Tabel 17).
- Aangezien er zomer en winter bij ongeveer 6 mol/m²/dag PAR wordt geteeld, is het niet nodig dat de pot- plus plantverdamping in de zomer veel hoger ligt dan in de winter. Uitgaande van gemiddeld over een jaar 1 L/m²/dag, kost dit in directe zin 2.3 MJ/m²/dag (1000g*2256 J/g)*28= 63 MJ/m²/periode. Als blijkt dat in de winter er goed geteeld kan worden bij slechts 0.8 L/m²/dag verdamping, dan is een grotere besparing mogelijk.

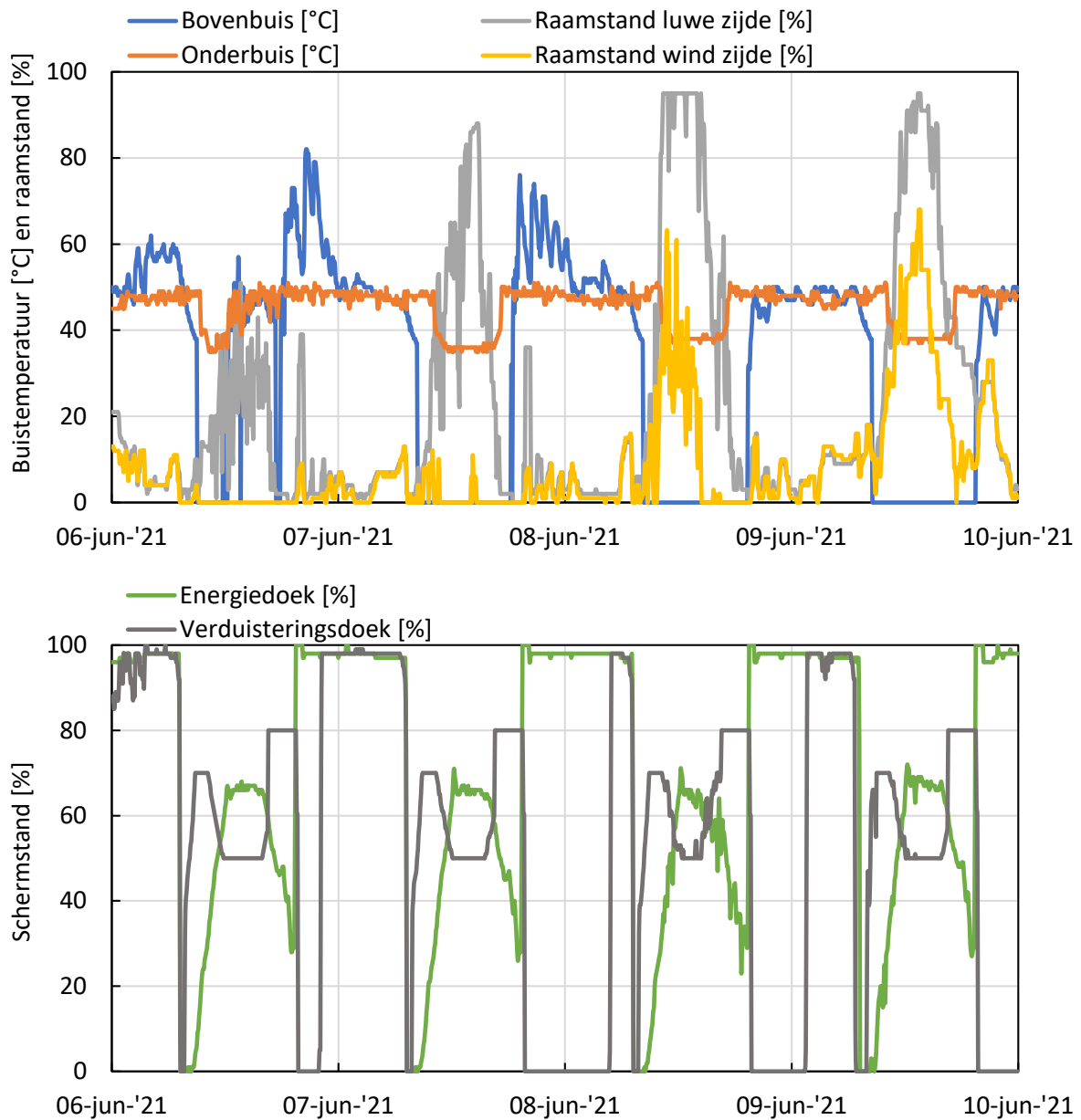
- Bij verdamping hoort noodzakelijke ventilatie, waarbij het effect van condensatie op het kasdek hier buiten beschouwing is gelaten (condensatie voert vocht af). De kosten van noodzakelijke ventilatie hangen af van het verschil in temperatuur en absoluut vochtgehalte binnen en buiten de kas. Dit kost bij aanname van een gemiddeld verschil van 10°C en een absoluut vocht verschil van 11 g/m³, ongeveer 1 MJ/m²/dag=28 MJ/periode, en wordt lager bij lagere verdamping.
- Energieverlies via het kasdek: Bij voldoende schermen kan de U-waarde van het kasdek zakken tot rond de 2.5 W/m²/°C. Dit geeft een warmteverlies aan het kasdek van 10°C*2.5 W/m²/°C *3600*24*28=60 MJ/m²/periode.
- Dit betekent dat de benodigde buiswarmte op 63-63-28-60=-88 MJ/m²/periode zou uitkomen. Dat is 26 MJ/m²/periode minder warmtevraag dan berekend in de zomer voor de referentie-praktijkkas (114-88=26 MJ/m²/periode, zie Tabel 17).
- Uitgaande van vier 28-daagse zomerperioden per jaar waar deze lagere warmtevraag te realiseren is, door iets meer te schermen en vooral door een lagere verdamping (1.0 i.p.v. 1.3 L/m²/dag) aan te houden en dus minder te ventileren en verwarmen, valt er 4*26=104 MJ/m² extra te besparen. Dat is ongeveer 3 m³/m² aardgas en op jaarbasis 5.2% besparing ten opzichte van het totale jaarlijkse energiegebruik in het scenario van de referentie-praktijkkas. Bij een verdere reductie van de verdamping (pot + gewas) is de besparing groter.

Als de buis in de zomer minder ingezet wordt, dan zou het interessant kunnen zijn om op een andere manier voldoende luchtwerveling door de teelttafels heen te realiseren (bijvoorbeeld via luchtslurven met ventilatoren). Wellicht helpt dit om de noodzakelijke verdamping verder te minimaliseren en meer op warmte te kunnen besparen in de zomer.

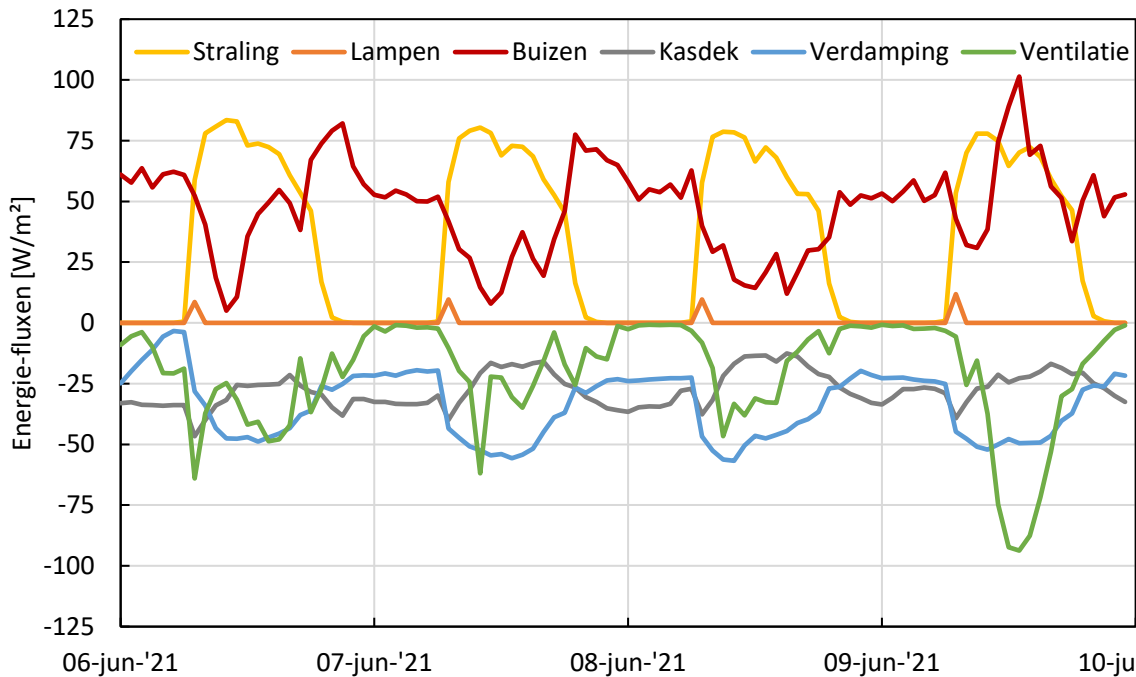
Tabel 17. Berekende energieflexen in MJ/m² voor de referentie-praktijkkas op zonnige dagen van 6-9 juni 2021 (gemiddeld 31MJ/m² zonnestraling en 17.4°C buiten). De verdamping ligt gedurende deze dagen 30% hoger dan het jaarlijkse gemiddelde. De straling ligt deze dagen ruim 30% hoger dan het maandgemiddelde. 6 juni is een gietdag. NB op 9 juni ligt de berekende ventilatie veel hoger, daarom wordt er automatisch een hogere verwarmingsflux berekend dan op grond van het werkelijk gebruik van de boven- en onderbuis te verwachten is (Figuur 21).

	Straling	Lampen	Buizen	Kasdek	Verdamping	Ventilatie	Netto
6-juni-'21	3.1	0.0	4.5	-2.7	-2.6	-2.3	0.0
7-juni-'21	3.0	0.0	3.7	-2.4	-3.1	-1.3	0.0
8-juni-'21	2.9	0.0	3.3	-2.2	-3.0	-1.1	-0.1
9-juni-'21	2.9	0.0	4.8	-2.3	-3.1	-2.4	0.0
Gemiddeld	3.0	0.0	4.1	-2.4	-2.9	-1.8	0.0
Periode 6 28 dagen*	63.3	5.8	113.7	-71.1	-73.0	-38.7	0.0

*NB de voorbeelddagen hebben een fors hogere stralingsom/dag en PAR/dag (6.3 mol) dan het periodegemiddelde (63.3/28=2.3MJ/dag. Het periodegemiddelde van PAR (63.3+5.8)/28d*2.1μmol/J=5.2 mol PAR/dag ligt weer lager dan het jaargemiddelde van 5.7mol PAR/dag (Tabel 14).



Figuur 21. Inzet buiswarmte en luchting (boven) en schermgebruik (onder) op zonnige dagen van 6-9 juni 2021 (daggemiddelde van 31MJ/m² straling en 17.4°C buitentemperatuur) in de referentiekas. Te zien is dat de 's nachts het ondernet en bovennet op rond de 50°C liggen. Maar ook overdag blijft het ondernet op 38°C, terwijl er volop gelucht wordt. De luchting overdag is (deels) noodzakelijk om de pot- plus plantverdamping af te voeren (gele en grijze lijn).



Figuur 22. Berekende energie-fluxen voor de referentie-praktijkkas op zonnige dagen van 6-9 juni 2021 (daggemiddelde van 31MJ/m² zonnestraling en 17.4°C buitentemperatuur) in de referentiekas. 1=stralings; 2=ventilatie; 3=kasdek; 4=verdamping; 5=lampen; 6=buizen. Net als in bovenstaande grafiek is te zien dat de verwarmingsflux overdag nooit afwezig is en rond de 20-50W/m² ligt. De verdampingsflux ligt tussen de 20 (nacht) en 60W/m² (dag). NB op 9 juni ligt de berekende ventilatie veel hoger, daarom wordt er automatisch een hogere verwarmingsflux berekend dan op grond van het werkelijk gebruik van de boven- en onderbuis te verwachten is (Figuur 21).

6.5 Conclusies energiebesparing in de opkweek

In alle doorgerekende energiebesparende scenario's blijft nog steeds een substantiële warmtevraag over. Vervangen van SON-t door LED is door de besparing op elektra interessant. De extra warmtevraag vanwege de lagere warmte-inbreng door de LED is lager dan vooraf gedacht. In combinatie met een derde scherm en een lagere buistemperatuur van 40°C kan de warmtevraag nog 16% omlaag ten opzichte van het dubbele kasdek en 33% ten opzichte van enkel glas. Enkel glas komt vaker voor in de praktijk. De potentie van een ander watergeefstelsel ligt in de orde van grootte van 6% warmtebesparing. Als het warmteverbruik in de zomer alleen nog maar hoeft te dienen voor compensatie van energieverliezen via het (zwaar geschermd) kasdek en verdamping + bijbehorende ventilatie, en een iets lagere verdamping van 1.0 i.p.v. 1.3 L/m²/dag geaccepteerd wordt, dan lijkt een verdere warmtebesparing van rond de 5.2% van het jaargebruik in het verschiet te liggen.

6.6 Energiegebruik in de kasproef vertaald naar praktijkkas

Het model is ook gebruikt om de energiebesparing die is gerealiseerd in de proef tijdens de opkweekfase (hoofdstuk 3-5) naar een commerciële kas met eenzelfde teeltstrategie door te rekenen. Dit gaat dus om de periode van opkweek 2 tot de koelfase (7 september tot eind

december 2021). De sturingen voor schermen en belichting zoals deze in de proef zijn uitgevoerd, zijn gebruikt om een simulatie te doen voor de referentie-praktijkkas uit de scenariostudie, maar dan aangepast voor enkel glas. De capaciteit van de belichtingsinstallatie in afdeling 10.2 was 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ LED. De maximale belichting in afdeling 10.3 was ongeveer 140 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ SON-t. Dit zijn de waarden waarmee in het model gerekend is.

De resultaten van de simulatie voor beide afdelingen staan in Tabel 18. Het verschil in belichting met LED en SON-t is duidelijk terug te zien in het bijna halveren van het elektragebruik. De berekende warmtevraag is dankzij de gevolgde strategie (Hoofdstuk 3.1) in de LED-afdeling alsnog iets lager dan in de SON-t afdeling. In totaal is er in de opkweek 11% aan energie bespaard.

Tabel 18. Resultaten simulatie kasproef (zie hoofdstuk 3-5) omgerekend naar de situatie van de referentie-praktijkkas met enkel glas, voor 115 teeltdagen in 2021 (opkweek-2 van 7 september tot 31 december 2021).

Afdeling	Elektra [kWh/m ²]	Warmte [MJ/m ²]	Totaal energie [MJ/m ²]	Gas eq. [m ³ /m ²]
Demokas LED	33	794	912	25.9
Referentiekas SON-t	60	806	1022	29.1

6.7 Energie in verwarmen gietwater

Het verwarmen van gietwater kost ook energie. Per bedrijf verschilt de temperatuur waarmee wordt gegoten. Ook de frequentie en grootte van de watergift kunnen per bedrijf verschillen. Als we uitgaan van een gemiddelde gietbeurt van 14 L/m² en 83 beurten per jaar is er 1162 L/m² per jaar nodig. Als voorbeeld stellen we dat de temperatuur van het water een gemiddelde temperatuur van 15 °C heeft en de gewenste temperatuur van het gietwater 25 °C is. Het water moet dan dus 10 °C verwarmd worden.

Om uit te rekenen hoeveel energie P nodig is voor het verwarmen van water gebruiken we onderstaande vergelijking:

$$P \text{ (kJ)} = m \text{ (kg)} \cdot c_p \text{ (kJ/kg K)} \cdot \Delta T \text{ (K)}$$

Hierin is m de massa, c_p de soortelijke warmte van water en ΔT het temperatuurverschil.

Invullen van deze vergelijking geeft: $1162 \cdot 4.2 \cdot (25 - 15) = 49 \text{ MJ}/\text{m}^2/\text{jaar}$

Na invullen van de vergelijking tellen we nog 20% warmteverlies op bij het resultaat om te compenseren voor transportverlies en de efficiëntie van de ketel. De totale energie die in de praktijk nodig zal zijn voor het verhogen van 1162 liter water met 10 graden komt daarmee op 59 MJ/m²/jaar. Dat staat gelijk aan 16.3 kWh/m²/jaar en 1.7 m³ gas equivalenten. Daartegenover staat dat gieten met koeler water waarschijnlijk weer meer energie om te verwarmen kost.

7 Conclusies en discussie

Deze proef heeft kennis opgeleverd over mogelijkheden voor een energiezuinige Phalaenopsissteelt. Ook is inzichtelijk geworden waar al dan niet knelpunten kunnen liggen in de verduurzaming van de Phalaenopsissteelt.

Vooronderzoek lichtspectrum afkweek

In het vooronderzoek in een klimaatcel is het effect van de toevoeging van 10% verrood aan het full-LED RWB spectrum onderzocht in de afkweekfase bij Phalaenopsis. Onder gesimuleerde winterse omstandigheden (daglichtsimulatie 1.5 mol/m²/dag en 8 uur daglengte) gaf de bijbelichting (6.5 mol/m²/dag LED en 16 uur daglengte) het grootste gedeelte van de lichtsom. De toevoeging van 10% verrood resulteerde in een iets kortere teeltduur van 1 à 2 dagen voor de meeste cultivars, en 4 tot 5 dagen voor één cultivar (Stellenbosch). Op een totale proefduur van gemiddeld 84 dagen is dat verschil beperkt. Toevoeging van verrood leidde ook tot gemiddeld ruim 2 centimeter langere takken. Er was geen effect op de uniformiteit, uitgedrukt als het lengteverschil tussen de langste en op één na langste bloemtak. Afwezigheid van verrood leidde ook niet tot problemen met de kwaliteit, er was eenzelfde aantal bloemknoppen en weinig abortie. Op basis van deze resultaten en het feit dat er continu winterdaglicht is gegeven, zijn de effecten van verrood waarschijnlijk te klein om de extra investering en elektrakosten voor de toevoeging van verrood in de afkweekfase van Phalaenopsis te rechtvaardigen. Daarom is de demonstratieproef met een RWB-spectrum zonder verrood uitgevoerd.

Demonstratieproef in proefkassen

De demonstratieproef in twee proefkassen van september 2021 tot mei 2022, heeft vooral verschillen in de opkweekfase opgeleverd. Vanaf 14 weken na oppotten zijn planten van 10 Phalaenopsis cultivars gedurende 16 weken opgekweekt in de referentiekas met SON-t en de demokas LED met extra warmtebesparende maatregelen. Aan het einde van de opkweek is het volgende gemeten of geconstateerd:

- De planten waren in totaal even zwaar (drooggewicht).
- In de demokas-LED waren de wortels zwaarder, en in de referentiekas SON-t was 10% meer blad per plant bijgegroeid tijdens de proef (2.2 vs. 2.0 bladeren), waren de bladeren in totaal zwaarder en waren de bladeren langer.
- In de demokas-LED waren de bladeren donkerder groen of roder (anthocyaan).

De oorzaak van de verschillen in de opkweek kunnen zijn vanwege het verschil in lichtspectrum, en/of vanwege het verschil in klimaat. Dat blijft een nog te beantwoorden vraag. Immers, de kasproef is een demonstratieproef en geen zuivere spectrum-proef. De planttemperatuur was lager in de demokas-LED gedurende de eerste weken van de opkweek. Vanwege ogenschijnlijk achterblijvende groei en voortakken bij de daarvoor gevoelige cultivar Narbonne is de temperatuur in de demokas LED na 7 weken verhoogd.

De verschillen aan het einde van de opkweek hebben geen effect gehad op de bloemtakuitloop in de koelfase (week 52 - 07). Er zijn evenveel bloemtakken uitgelopen in beide proefkassen met 87% tweetakkers en slechts 5-6% ééntakkers gemiddeld. Nogmaals, er mag niet geconcludeerd worden uit deze proef dat SON-t en LED geen verschil geven, want het is geen zuivere belichtingsproef. In de demokas LED was bijvoorbeeld de daglengte verkort tot 12 uur aan het einde van de opkweek om de bloemtakuitloop daarna te bevorderen (zie Trouwborst *et al.*, 2020), terwijl de daglengte op 15 uur bleef in de referentie met SON-t. Wel is eerder aangetoond dat met LED (RB) belichting in de koeling evenveel bloemtakken uitlopen als onder SON-t bij gelijke planttemperatuur (Kromwijk *et al.*, 2017).

Aan het einde van de afkweek (van week 07 tot week 16-19) zijn geen opvallende verschillen gemeten in teeltduur, aantal bloemen per plant, vertakking, taklengte of houdbaarheid. Ook het plantgewicht was gemiddeld gelijk, met wederom zwaardere wortels en minder zware bladeren in de demokas LED, waarbij het verschil in bladgewicht niet groter geworden is dan aan het einde van de opkweek. De afkweekfase was in een periode waarin het aandeel belichting in de PAR-som en de verschillen tussen de twee behandelingen steeds 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 plaatsvindt. Echter, omdat in het vooronderzoek in de klimaatcel onder gesimuleerde winterse omstandigheden weinig effect van verrood is gemeten, ligt het niet in de lijn der verwachting dat lichtspectrum hier veel invloed heeft.

Klimaat en energie

In de kasproef is bijna 50% aan elektra bespaard in de demokas LED ten opzichte van de referentie SON-t. Daarnaast is getracht om de warmtevraag zoveel mogelijk te beperken. Een lagere teeltemperatuur in de demokas LED is na 7 weken opkweek losgelaten, vanwege voortakken (cv. Narbonne) en ogenschijnlijk tragere groei. De gemiddelde luchttemperatuur over de volledige teelt verschilde nauwelijks tussen de twee proefkassen. In de demokas LED zijn het energie- en verduisteringsscherm fors meer uren gesloten geweest. Ook is in de demokas LED geen minimumbuis ingezet (behalve dag van gieten). Op momenten met weinig warmtevraag is daardoor fors minder buiswarmte ingezet in de demokas LED. Op momenten met veel warmtevraag is juist meer buis ingezet in de demokas LED, vanwege de lagere warmte-input vanuit de belichting t.o.v. SON-t. Dat was ook terug te zien in de watergift, want in de perioden met minder buis-inzet is ook minder vaak gegoten in de demokas-LED. De teeltstrategie in beide proefkassen is modelmatig voor de opkweekfase doorgerekend wanneer die toegepast zou worden in een grote commerciële kas. Behalve het bijna halveren van het elektragebruik, is de berekende warmtevraag met de strategie in de demokas-LED zelfs net iets lager dan met de strategie in de referentie SON-t.

Met scenarioanalyses zijn verdere besparingsmogelijkheden voor een heel jaar teelt in de warme opkweekfase onderzocht, met als referentie de gegevens van een praktijkkas van Optiflor. De berekende energiebesparing van een dubbelglas 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. Het niet inzetten van de minimumbuis bespaart 5%. Een alternatief voor bovenaf gieten bespaart 6%. De combinatie van LED, een derde scherm en het beperken van de buistemperatuur geeft een forse berekende energiebesparing tot 33% ten opzichte van het referentie scenario met enkel glas. De modelanalyse van de opkweek heeft uitgewezen dat het beste scenario nog steeds 48.7 m³ gas-equivalenten aan energie voor belichten en verwarmen verbruikt over een heel jaar opkweek. Hier lijkt in de zomer nog wat te winnen door minder energie te gebruiken als minimumbuis. Als in de zomer iets meer geschermd wordt voor energiebesparing en vooral een lagere verdamping van 1.0 i.p.v. 1.3 L/m²/dag geaccepteerd wordt, kan de warmte-input nog eens met zo'n 3 m³/m² gas-equivalenten omlaag.

Alle maatregelen bij elkaar kan er dus fors op energie bespaard worden in de warme opkweekfase van Phalaenopsis. Een halvering van elektra voor belichting met LED, en een reductie in totale aardgas-equivalenten voor verwarmen en belichten van 72.7 m³/m²/jaar (enkel glas, SON-t) naar 48.7 m³/m²/jaar of zelfs 45.7 m³/m²/jaar, is niet gering te noemen. Desalniettemin blijft dat wat overblijft nog wel een substantiële energievraag. Om een drastischere reductie in energievraag voor de opkweek te kunnen realiseren, zal over een heel ander teeltsysteem nagedacht moeten worden. Echt veel meer op warmte besparen kan alleen meerlaags: tweemaal zoveel oppervlak met alleen extra verwarming vanwege de toename in verdamping, en betere benutting van de warmte van de lampen. Het totale energiegebruik zal dan omlaaggaan, maar het elektragebruik neemt bij gebruik van een daglichtloze teeltlaag wel toe. Het is goed om te bedenken dat aardgas ook niet de enige warmtebron is. De optimale situatie daarom per bedrijf gaan verschillen.

Referenties

- Dueck T, Baas R, Kromwijk A, Campen J, van Noort F.** 2011. Energiezuinig teeltconcept Phalaenopsis. Rapport WUR Glastuinbouw, 1068, 40p.
- Dueck T, Meinen E, Hogewoning S, Trouwborst G, Pot S.** 2015. Bloei & Stuurlicht bij Phalaenopsis. 36p.
- Baas, R. 2010. Verdampingsmodel Phalaenopsis, *FytoFocus*, 32p.
- Dueck T, Trouwborst G, Hogewoning SW, Meinen E.** 2016. Can a high red: Far red ratio replace temperature-induced inflorescence development in Phalaenopsis? *Environmental and Experimental Botany* 121, 139–144.
- Geelen PAM, Voogt JO, Van Weel PA.** 2020. Plant empowerment, de basisprincipes. *LetsGrow.com, Vlaardingen*, 338p.
- Hsiao YY, Pan ZJ, Hsu CC, Yang YP, Hsu YC, Chuang YC, Shih HH, Chen WH, Tsai WC, Chen HH.** 2011. Research on orchid biology and biotechnology. *Plant and Cell Physiology* 52, 1467–1486.
- 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.
- Kromwijk A, Kaiser E, Kempkes F, Dueck T, Trouwborst G, Hogewoning SW, van der Spek R.** 2017. Bloemtak-uitloop Phalaenopsis: Effect van temperatuur, lichtspectrum en daglengte. WUR, Bleiswijk. 64p.
- Trouwborst G, Hogewoning SW, Pot CS.** 2013. Stuurlicht bij de tijd. *Plant Lighting B.V., Bunnik*. 61p
- 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.
- Trouwborst G, Voogt JO, Reijm P, S.W. Hogewoning.** 2019. Monitoring van huidmondjesopening in de kas: ontwikkeling en validatie. *Plant Lighting B.V., Bunnik*. 68p.
- Trouwborst G, Noordhoek EP, Voogt JO, Hogewoning SW.** 2022. Monitoring huidmondjes in de kas: Gebruik van de netto stralingsmeter, deelrapport Anthurium. *Plant Lighting B.V., Bunnik*. 57p.
- 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.** 2016a. Minder belichten Phalaenopsis zonder productieverlies II. *Plant Lighting B.V., Bunnik*. 45p.
- Trouwborst G, Hogewoning SW, Van der Spek R, Pot CS.** 2016b. Zuiniger met CO₂ bij gelijkblijvende of hogere productie: Phalaenopsis. *Plant Lighting B.V., Bunnik*. 37p.
- 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.
- Voogt J, Van Weel P.** 2008. Climate Control Based on Stomatal Behavior in a Semi-Closed Greenhouse System 'Aircokas'. Acta Horticulturae 797: 151-156.
- van Beveren PJ, Bontsema J, Van Straten G, Van Henten EJ.** Minimal heating and cooling in a modern rose greenhouse. Applied energy. 2015. 137: 97-109.

Bijlagen

Bijlage 1. Planten kasproef

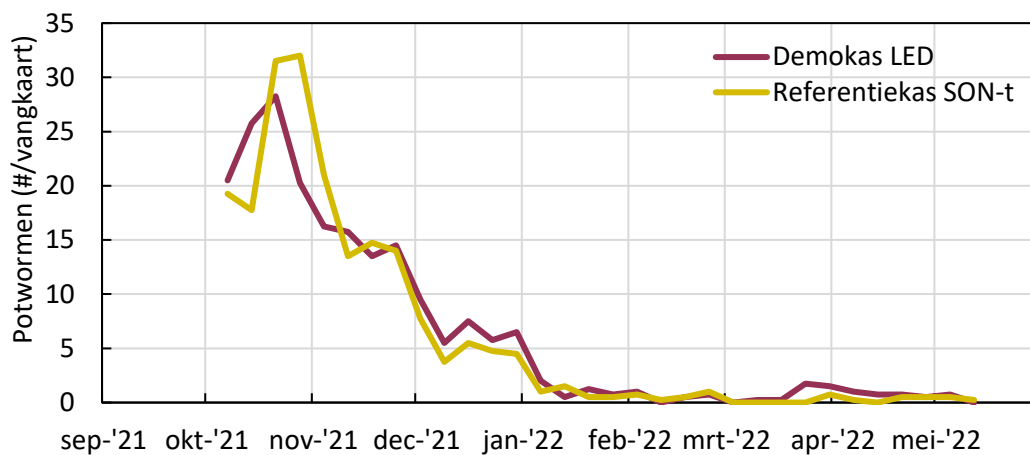
Ras	Nummer	Herkomst	Oppotweek	Aantal
Angel Eyes	233678	Floricultura	22	1125
Beautiful Smile	311572	Floricultura	22	1125
Cambridge	101258	Anthura (via Levoplant)	22	1125
Elastic Love	332568	Floricultura	22	1125
Freeride	332045	Floricultura	22	1525
Leeds	102672	Anthura (via Levoplant)	22	1125
Miraflore	351709	Floricultura	22	1525
Narbonne	105571	Anthura (via Levoplant)	22	1125
Pure Silk	341419	Floricultura	22	1525
Stellenbosch	103941	Anthura (via Levoplant)	22	1125

Bijlage 2. Plattegrond kasproef

10.2 LED afdeling					10.3 SON-T afdeling				
overige ruimte voor schuiven tafels									
Rest	Rest	Mirafior	Rest		Mirafior	Freeride	Freeride		
Stellenbosch	Freeride	Angel Eyes	Freeride	Stellenbosch	Angel Eyes	Pure Silk	Pure Silk	Stellenbosch	Stellenbosch
Cambridge	Pure Silk	Narbonne	Pure Silk	Cambridge	Narbonne	Mirafiore	Mirafiore	Cambridge	Cambridge
Leeds	Mirafiore	Leeds	Mirafiore	Leeds	Leeds	Beautiful Smile	Leeds	Leeds	Leeds
Narbonne	Beautiful Smile	Cambridge	Beautiful Smile	Narbonne	Cambridge	Elastic Love	Beautiful Smile	Narbonne	Narbonne
Angel Eyes	Elastic Love	Stellenbosch	Elastic Love	Angel Eyes	Stellenbosch	Stellenbosch	Elastic Love	Angel Eyes	Angel Eyes
Freeride	Stellenbosch	Elastic Love	Stellenbosch	Freeride	Elastic Love	Stellenbosch	Stellenbosch	Freeride	Freeride
Pure Silk	Cambridge	Beautiful Smile	Cambridge	Pure Silk	Beautiful Smile	Cambridge	Cambridge	Pure Silk	Pure Silk
Mirafiore	Leeds	Mirafiore	Leeds	Mirafiore	Leeds	Mirafiore	Leeds	Mirafiore	Mirafiore
Beautiful Smile	Narbonne	Pure Silk	Narbonne	Beautiful Smile	Narbonne	Pure Silk	Narbonne	Beautiful Smile	Beautiful Smile
Elastic Love	Angel Eyes	Freeride	Angel Eyes	Elastic Love	Angel Eyes	Freeride	Angel Eyes	Elastic Love	Elastic Love
Freeride	Pure Silk	Mirafior	Pure Silk	Freeride	Mirafior	Pure Silk	Pure Silk	Freeride	Freeride
Rest	Rest	Rest	Rest	Rest	Rest	Rest	Rest	Rest	Rest
1.7 meter	1.7 meter	1.7 meter	1.7 meter	1.7 meter	1.7 meter	1.7 meter	1.7 meter	1.7 meter	1.7 meter
tafel 1		tafel 2		tafel 3		tafel 4		tafel 5	
betonpad									
overige ruimte voor schuiven tafels									
12 meter									
14,5 meter									

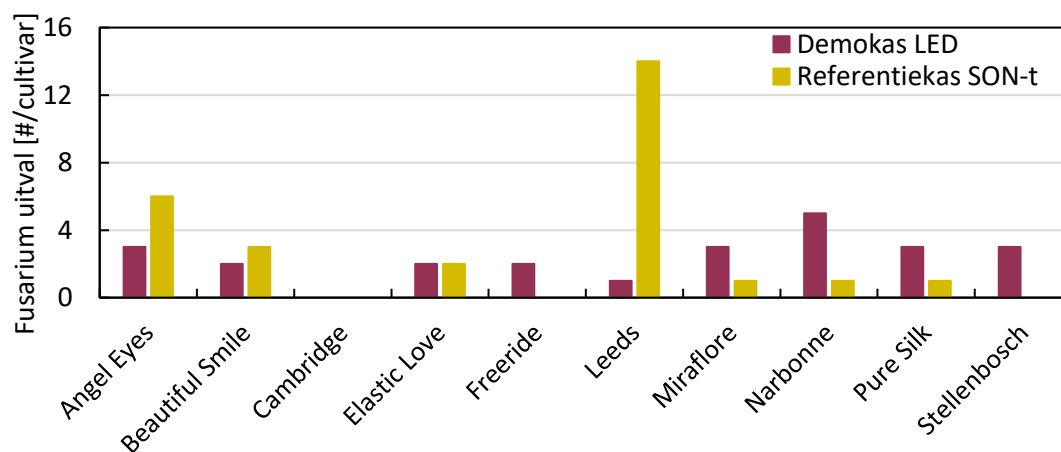
Bijlage 3. Gewasgezondheid

Bij aanvang van de teelt was er al potworm (Lyprauta) bij de planten aanwezig. Figuur 23 toont de ontwikkeling van de potwormdruk in de beide afdelingen. Bij aanvang van de tellingen is te zien dat de druk vergelijkbaar is in beide afdelingen. Om de potworm te controleren is er wat droger geteeld, zijn UV-vanglampen inzet, en zijn biologische bestrijders ingezet (Atheta coriaria en Macrocheles robustulus). Te zien is de druk geleidelijk is gedaald zonder noemenswaardige verschillen tussen de twee afdelingen. Vanaf begin januari is de potwormdruk minimaal. Omdat de potwormdruk wel gezorgd had voor $\pm 10\%$ beschadigde planten, zijn deze op het moment van wijder zetten in week 51 weggenomen.



Figuur 23. Ontwikkeling van de potwormdruk in beide afdelingen. De weergegeven aantallen zijn het gemiddelde van 4 vangkaarten verdeeld over 2 vanglampen per afdeling. De waardes kunnen niet als absoluut gezien worden, maar de tellingen geven de trend aan van de afname van de druk.

De uitval van Fusarium werd per ras per afdeling vastgelegd (Figuur 24). De uitval door Fusarium was beperkt en vergelijkbaar tussen beide afdelingen. De enige uitschieter is de uitval in Leeds in de referentiekas SON-t, hier is niet direct een verklaring voor. De totale uitval was 24 stuks in de demokas LED en 28 stuks in de referentiekas SON-t. Dit komt neer op nog geen 0.5% per afdeling.



Figuur 24. Fusarium uitval per cultivar in de referentiekas SON-t en de demokas LED.

Bijlage 4. Sensoren

B4.1 Chlorofyl-fluorescentie

In de proef hebben in de demokas LED twee meetsystemen voor bepaling van de chlorofyl-fluorescentie meegedraaid: de Cropobserver (camera-systeem van Phenovation) die op afstand een oppervlakte meet van 30*30 meetpunten, en met puntmetingen ('fotosynthesemeter' van Sendot). Dit had een dubbel doel:

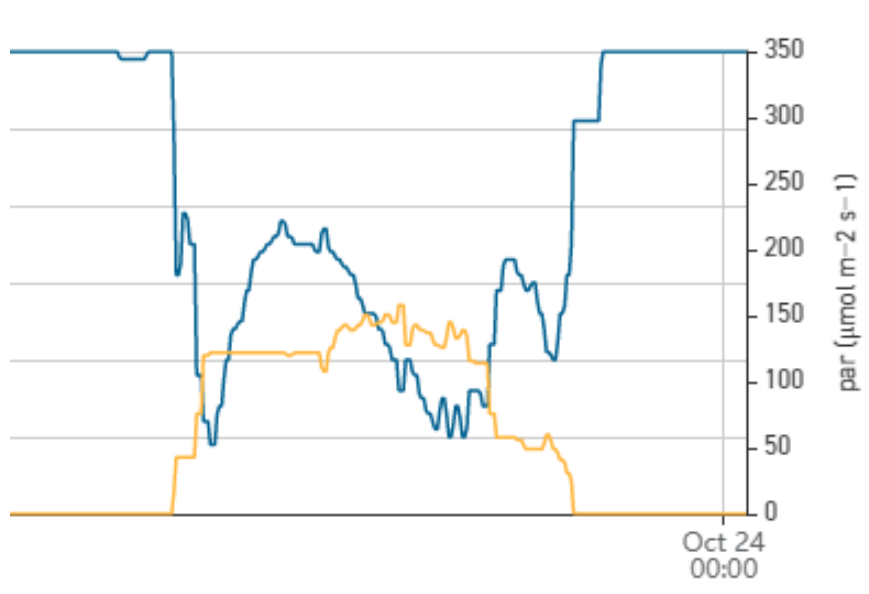
1. De gebruikte dim-regeling in de demokas-LED werd hiermee gecontroleerd.
2. Aangezien deze metingen op hun beurt weer gecontroleerd zijn door Plant Lighting met geavanceerde fotosynthese-meetapparatuur (Li-6400/6800), is ook duidelijk geworden of deze systemen, zoals in de proef toegepast, bruikbaar zijn voor Phalaenopsis-telers.

Zoals in eerdere rapporten toegelicht (Trouwborst *et al.*, 2014, 2016a, 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.
- 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, plant-leeftijd) wordt dat CO₂ direct geassimileerd of (lichtonafhankelijk) als malaat opgeslagen.

CAM-fase II en IV worden gekenmerkt door een laag lichtrendement en dan is het beter om licht te dimmen. Dit lage lichtrendement komt tot uiting als een 'dal' in het lichtrendement in de vroege ochtend en de (namiddag). Figuur 25 laat dit duidelijk zien:

- In de vroege ochtend (fase II) daalt het rendement zeer snel op het moment dat het licht aangaat. Het duurt enige tijd voordat een stabiel rendement is bereikt bij een stabiel lichtniveau (fase III).
- 's Middags daalt het rendement bij gelijke lichtintensiteit. Dit is een teken dat het malaat op begint te raken en het meetblad verschuift van CAM-fase III naar CAM-fase IV waarin vol belichten geen zin heeft.



Figuur 25. Ochtend- en middagdip in rendement op 23 oktober 2021 via een sensor van Sendot. Blauwe lijn: lichtrendement (geen as op figuur). Gele lijn: PAR ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$). Een stijgend of dalend rendement bij min of meer een gelijk PAR-niveau duidt op respectievelijk het einde van CAM-fase II (ochtend) en de start van CAM-fase IV (namiddag).

Op vier dagen is met geavanceerde fotosynthese-meetapparatuur (Li-6400 en Li-6800; Foto 12) het lichtrendement voor vaststelling van de verschuiving van CAM-fase III naar CAM-fase IV bepaald:

- 19 oktober 2021 opkweek: daglengte 15 uur van 3:40-18:40
- 14 december 2021 opkweek, daglengte 12 uur van 4:30-16:30
- 02 februari 2022, koeling, daglengte 15 uur van 2:30-17:30
- 22 maart 2022, afkweek, daglengte 14 uur van 5:00-19:00

Er is gemeten bij 3 lichtintensiteiten die zijn ingesteld in het meetapparaat (0, 50 en 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR; 6-8 minuten per blad), waardoor onafhankelijk van het licht in de kas gemeten kon worden. Dit is uitgevoerd bij zoveel mogelijk bladeren gedurende de meetdag (rond de 25-30 bladeren per cultivar). Met de twee simultaan gebruikte fotosynthesemeters werden er om en om 2 cultivars gemeten: Stellenbosch en Cambridge, en Beautiful Smile en Elastic Love. De Sendot-sensoren stonden op de cultivars Stellenbosch en Cambridge. Alle vier de cultivars stonden tevens in het meetvlak van de CropObserver.

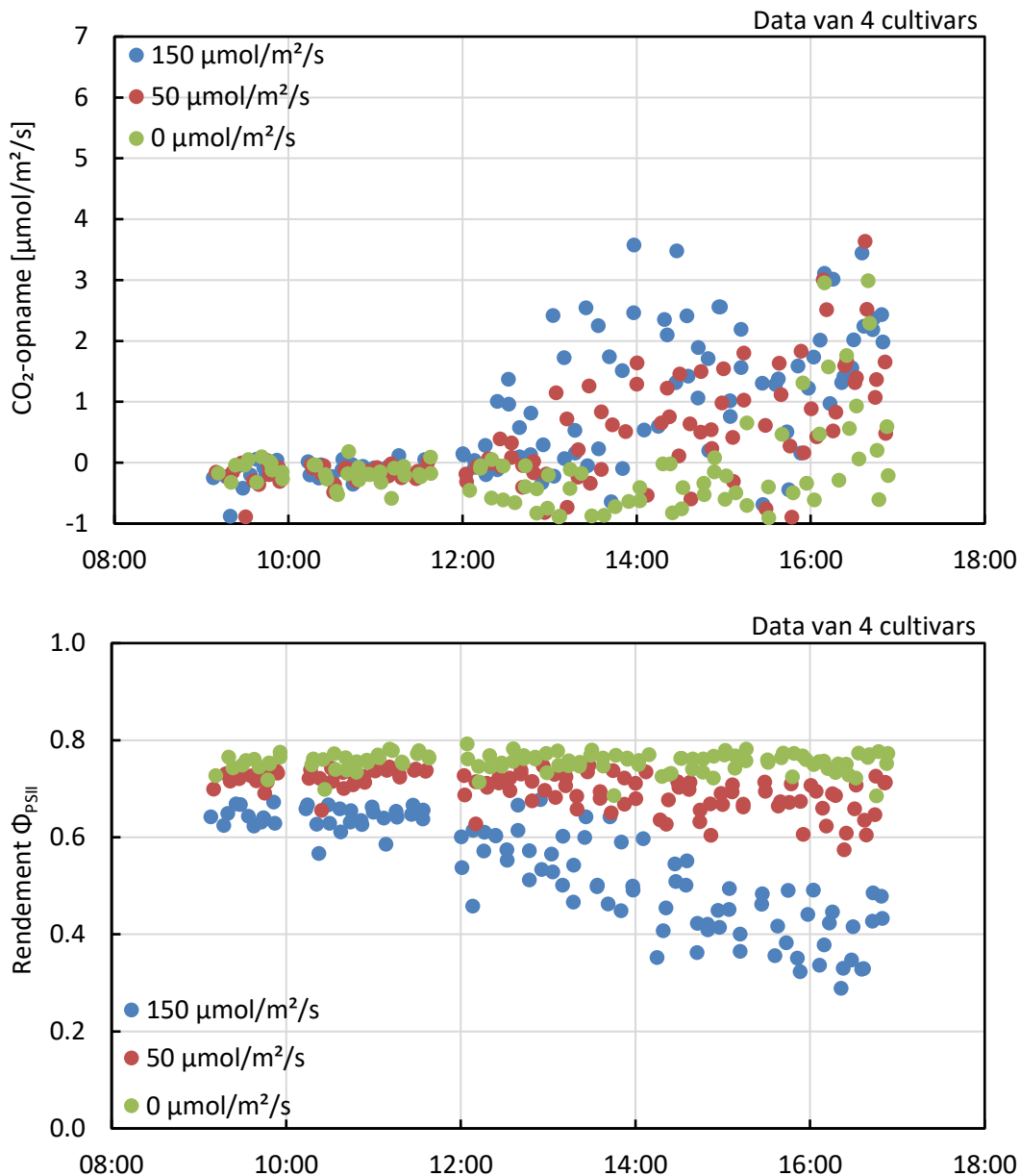


Foto 12. Meting van het lichtrendement en de CO₂-opname met de Li-6400 (links) en de Li-6800 (rechts).

Figuur 26 geeft de CO₂-opname en het lichtrendement op 19 oktober 2021 weer. De daglengte was 15 uur van 3:40-18:40 uur. Na 12:00 uur daalde het lichtrendement bij 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR, bij 50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR was de daling heel gering, dus als er tijdig wordt teruggeschakeld in lichtintensiteit wordt het moment van overgang van CAM-fase III naar IV via chlorofyl-fluorescentie moeilijker aanwijsbaar met chlorofyl fluorescentie metingen in de kas. Rond 12:30 uur startte de CO₂-opname. Dit is directe C3 fotosynthese (licht-afhankelijk). Rond 15:30 uur startte de lichtonafhankelijke CO₂-opname (CAM-fotosynthese: groene punten boven de 0). Rond 16:30 zijn een aantal planten ‘volledig CAM’ (d.w.z., alle CO₂ wordt lichtonafhankelijk gebonden). Verschillen tussen de cultivars waren beperkt: drie cultivars startten met eerste CO₂-opname rond 12:30, Beautiful Smile startte rond 14:00 uur. Bij Cambridge en Elastic Love werd rond 16:30 volledige CAM-fotosynthese waargenomen, bij Stellenbosch en Beautiful Smile was dit tot 17:00 nog niet het geval.

Op grond van deze data kan gesteld worden dat CAM-fase IV tussen 12:00 en 14:00 ingaat, dus dan zouden de RV en het CO₂-niveau omhoog moeten. In dit jonge plantstadium is er dus een relatief lange CAM-fase IV met nog duidelijk C3-fotosynthese tot ver in de middag.

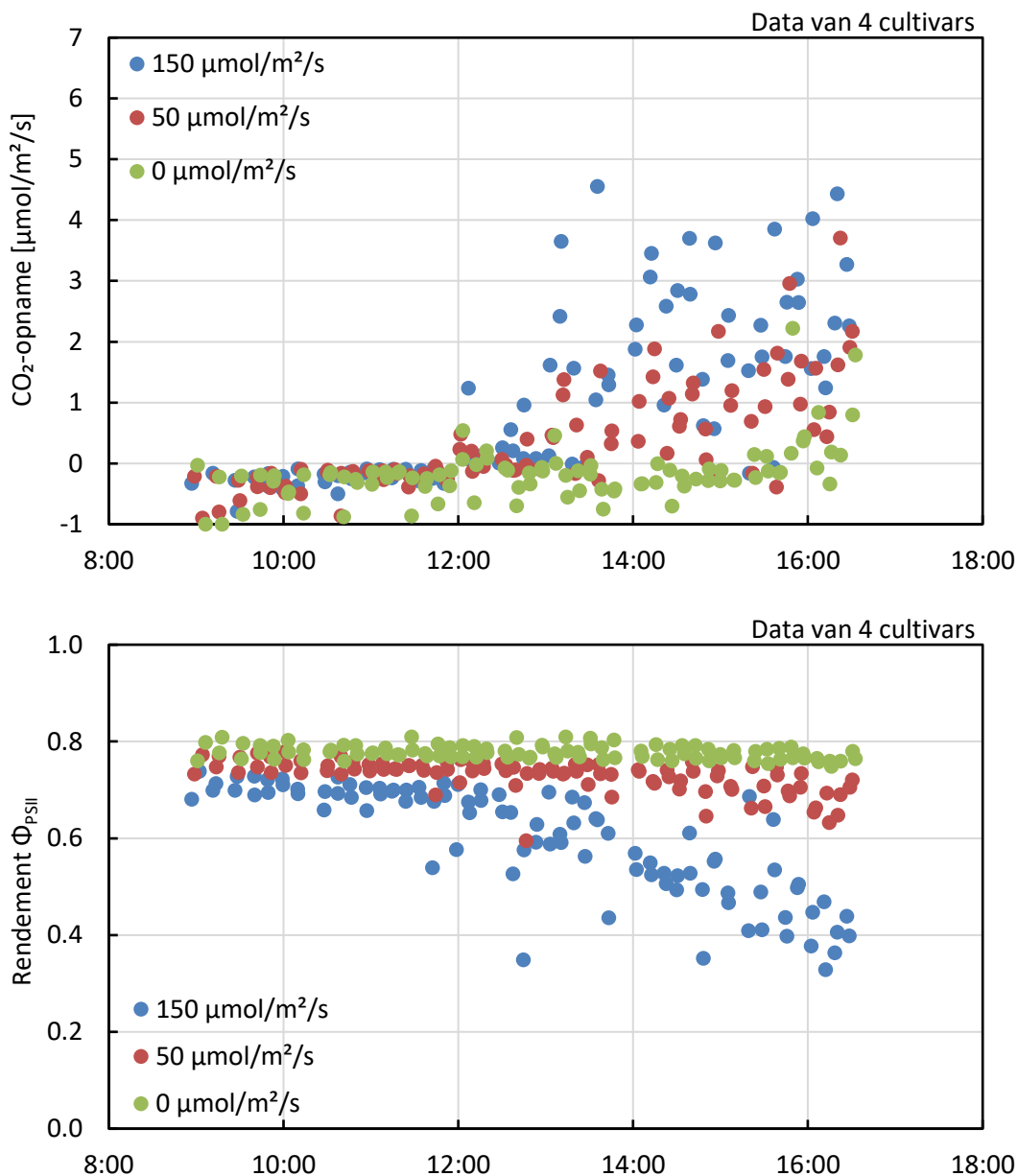
De verkregen data konden nog niet vergeleken worden de Sensot-sensoren en de CropObserver. Het netwerk waarop de Sendot-sensoren waren aangesloten (30MHZ) had een storing. En de CropObserver gaf geen bruikbare data, want er was geen duidelijk verval in lichtrendement in de middag te onderscheiden. Waarschijnlijk hing de Cropobserver te hoog (3m) om goede metingen te kunnen doen, waarop het apparaat naar 1.5 meter hoogte boven het gewas is verplaatst.



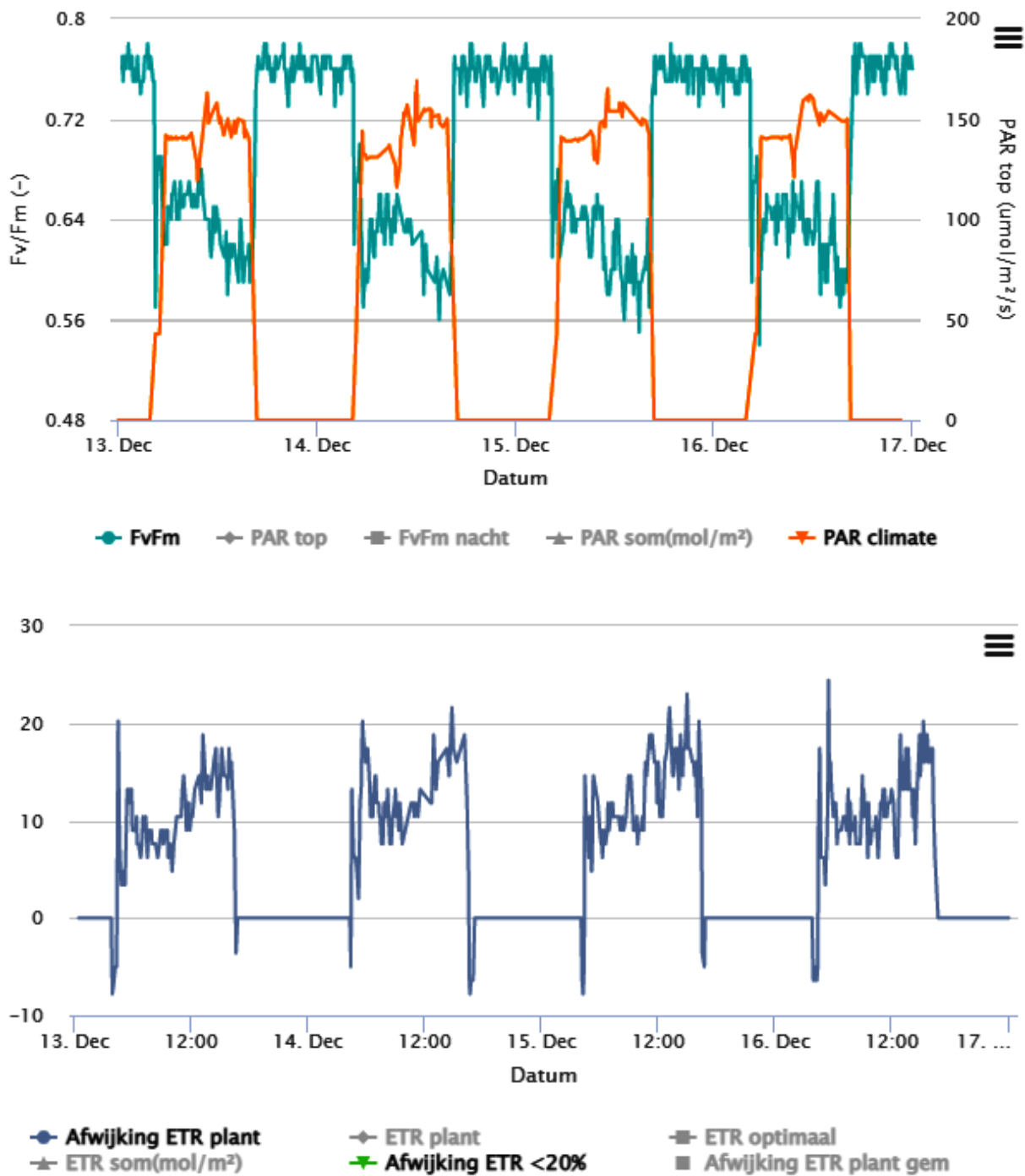
Figuur 26. CO₂-opname (boven) en lichtrendement (onder) op 19 oktober 2021 in de demokas LED. De daglengte was 15 uur van 3:40-18:40 uur. Na 12:00 daalde het lichtrendement bij 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR, bij 50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR is de afname in rendement heel gering. Rond 12:30 start de CO₂-opname. Dit is directe C₃ fotosynthese (licht-afhankelijk), rond 15:30 start de lichtonafhankelijke CO₂-opname (CAM-fotosynthese: groene punten boven de 0). Rond 16:30 zijn een aantal planten volledig CAM. Verschillen tussen de cultivars waren beperkt: Cambridge en Elastic Love waren iets sneller in CAM-fase IV dan Stellenbosch en Beautiful Smile.

Op 14 december (12-uur daglengte aan einde opkweekfase in de demokas LED) is opnieuw de CO₂-opname en het lichtrendement gemeten met de Li-6400 en Li-6800 (Figuur 27). De dag startte 4:30 en eindigde 16:30. Te zien is dat tussen 12:00-13:00 het rendement langzaam daalt en de CO₂-opname start. Dit is tot ongeveer 16:00 directe C₃-fotosynthese (geen opname bij 0 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR; groene punten). Erna startte de lichtonafhankelijke CO₂-opname. Opnieuw is te zien dat bij 50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ meetlicht het rendement maar zeer weinig daalt, waarmee wordt bevestigd dat om de schakeling van CAM-fase III naar CAM-fase IV goed waar te

nemen, er meer licht nodig is. Zowel CropObserver als de Sendot-sensoren laten ook zien dat tussen 12:00-13:00 het rendement afneemt (respectievelijk Figuur 28 en Figuur 29). Opvallend is dat de 'langdurige' ochtenddip in rendement bijna geheel is verdwenen (Figuur 29).

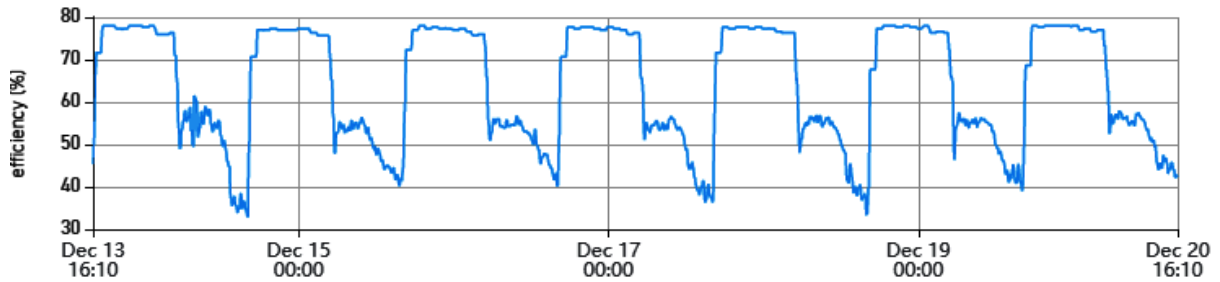


Figuur 27. CO₂-opname en lichtrendement op 14 december 2021 in de demokas LED (einde opkweekfase). De daglengte was 12 uur van 4:30-16:30 uur. Na 12:00 daalde het lichtrendement bij 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR, bij 50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR is de afname in rendement heel gering. Rond 12:00 start de CO₂-opname en daalt het rendement langzaam. Dit is directe C3 fotosynthese (licht-afhankelijk) en rond 15:30 start de lichtonafhankelijke CO₂-opname (CAM-fotosynthese: groene punten boven de 0). Rond 16:30 zijn een aantal planten volledig CAM. NB het lijkt of er na 16:30 nog een lichteffect op de CO₂-opname is, maar dit komt door knijpende huidmondjes en de meetvolgorde in lichtstappen van hoog naar laag PAR: na 0 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ weer naar 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR geeft dan een verdere verlaging van de CO₂-opname.

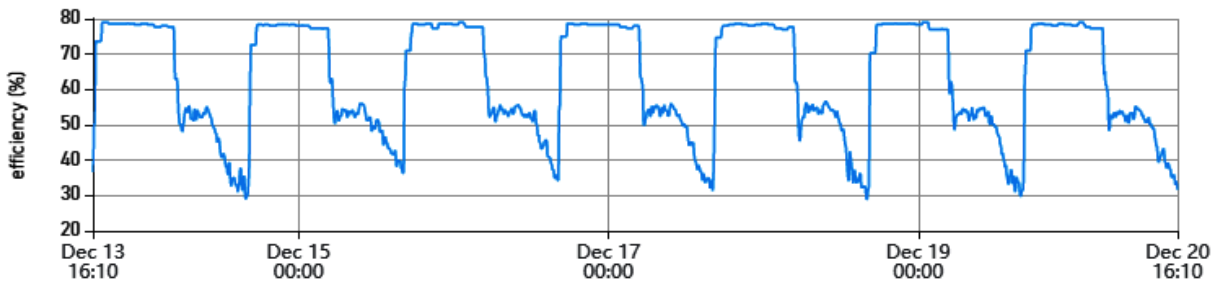


Figuur 28. Patroon lichttrendement (boven) gemeten met de CropObserver rondom 14 december 2021. Via de afwijking in de gemeten ETR en de ETR voor de verwachte waarde zonder verlies aan rendement (onder) is het moment van verval in rendement als een stijging gevisualiseerd, en omdat de as een kleinere schaal heeft, toont de afwijking groter. Dit gebeurt rond 12:00. De afname in rendement is in absolute zin, vergeleken met de nauwkeurige metingen met de Li-6400 en Li-6800, subtiel te noemen.

Stellenbosch gemiddeld rendement (3)



Cambridge gemiddeld (3)

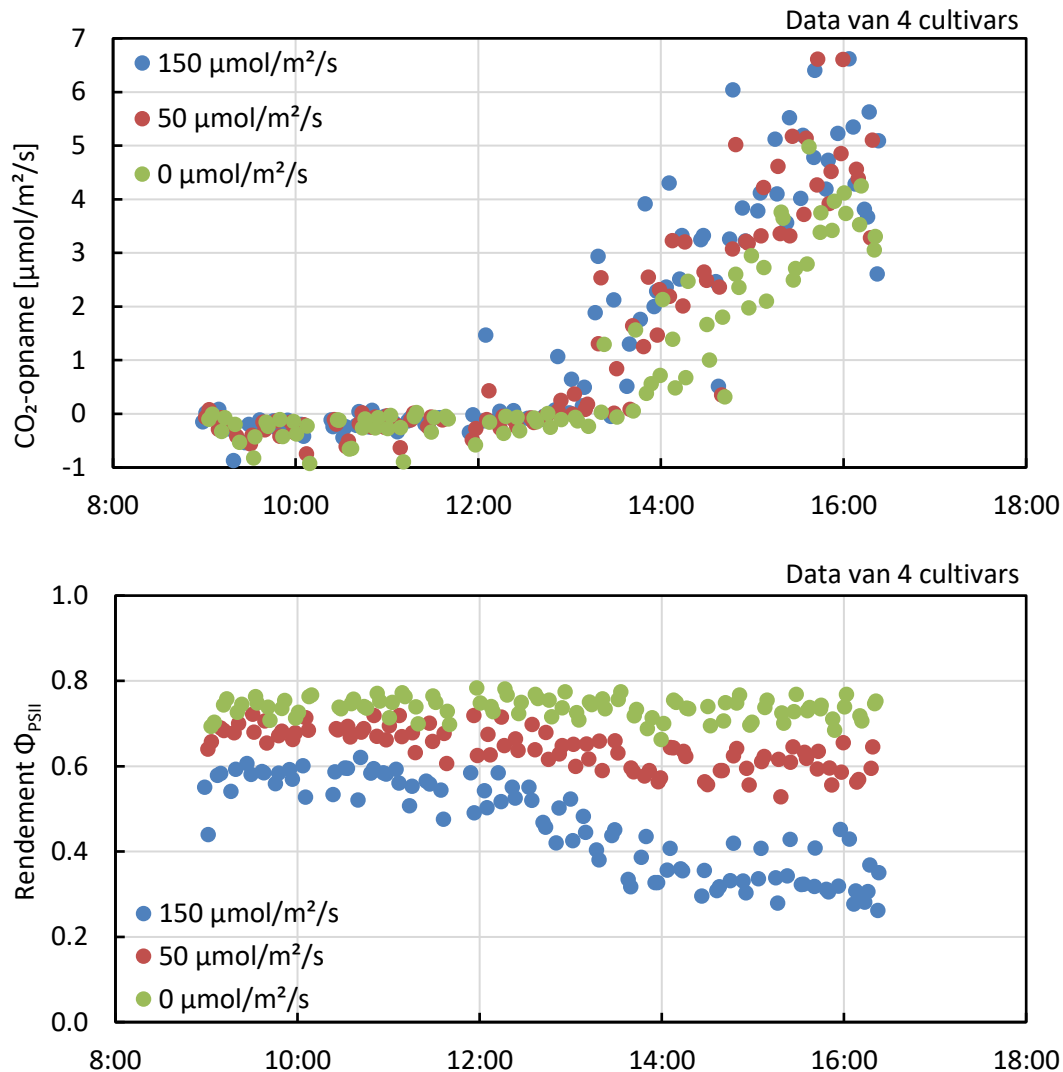


Figuur 29. Patroon lichtrendement gemeten met de Sendot-sensoren rondom 14 december 2021 (gemiddelde van 3 sensoren per cultivaar). Stellenbosch daalt rond 12:30, de dagen erna een uur eerder (andere bladeren). Cambridge daalt rond 11:00, dagen erna (andere bladeren) rond 12:30-13:00. De bladkeuze heeft dus invloed, wat pleit voor meten met meerdere sensoren tegelijk.

Figuur 30 toont de meetresultaten van 2 februari (koelfase). De daglengte was 15 uur van 2:30-17:30 uur. Na 12:00 daalde het lichtrendement bij 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR, bij 50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR is dit heel gering. Rond 13:00 startte de CO_2 -opname. Rond 13:00 is dit directe, lichtafhankelijke C3 fotosynthese, rond 13:30 start al de lichtonafhankelijke CO_2 -opname (CAM) en vanaf 14:00 is er nog nauwelijks verschil in CO_2 -opname tussen 150 en 50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR. Verschillen tussen de cultivars waren beperkt: Beautiful Smile was bijna direct volledig CAM, bij Elastic Love duur dit iets langer. NB. Het lijkt of er na 13:30 nog een lichteffect op de CO_2 -opname is, maar dit komt door knijpende huidmondjes en de meetvolgorde in lichtstappen van hoog naar laag PAR: na 0 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ weer naar 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR geeft dan een verdere verlaging van de CO_2 -opname.

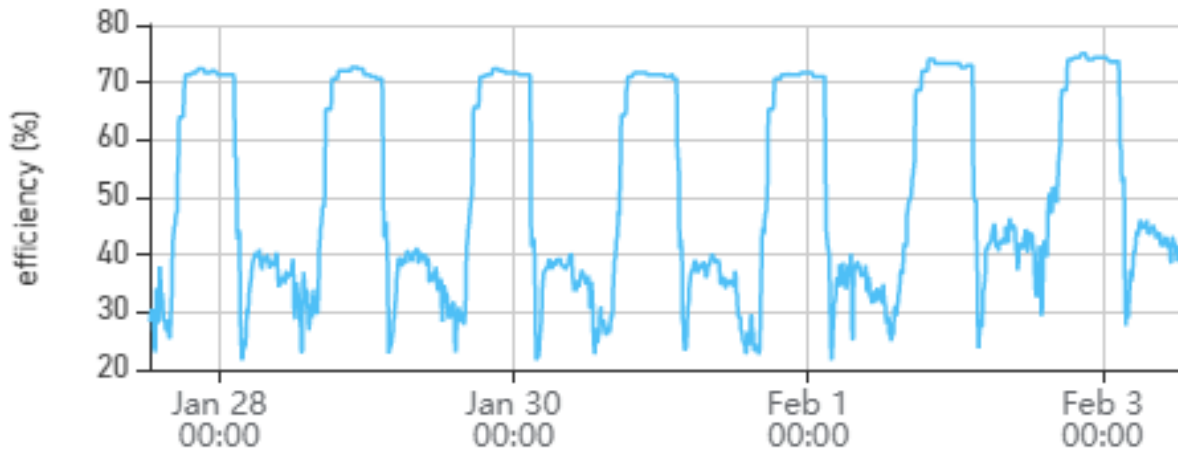
Sinds dat de planten in vazen zijn gezet (week 51, 2021: visueel een te grote vaas voor een te kleine plant), liet de CropObserver geen middagdip in lichtrendement meer zien. De CropObserver meette een bedekkingsgraad van 40% (de overige meetpunten werden software-matig afgekeurd). Blijkbaar was dit onvoldoende om nauwkeurig het rendementsverlies in kaart te brengen. Om dit op te lossen het volgende geprobeerd: de CropObserver is schuin gehangen om meer 'haaks' op de hoge bladhoeken te kunnen meten. Ook is geprobeerd om juist de data te filteren op de 20% laagste meetpunten. Beide zaken hadden niet het beoogde effect en tot einde van de proef (week 19, 2022) had de CropObserver geen functie meer. De Sendot-Sensoren hadden hier geen last van, omdat deze direct op het

blad meten: Bij Cambridge en Stellenbosch werd rond 12:30 een verval in rendement waargenomen (Figuur 31 en Figuur 32). Dat het aan te raden is om meer dan één puntsensor te gebruiken kwam ook naar voren: Bij Stellenbosch had 1 sensor een afwijkend patroon dat herstelde nadat de sensor op een nieuw blad was gezet (Figuur 32). Bij Cambridge had 1 sensor een afwijkend patroon omdat de fiber niet goed in het meetkastje was gedraaid na het opladen van de accu (Figuur 32). Dit is dus een punt van aandacht.

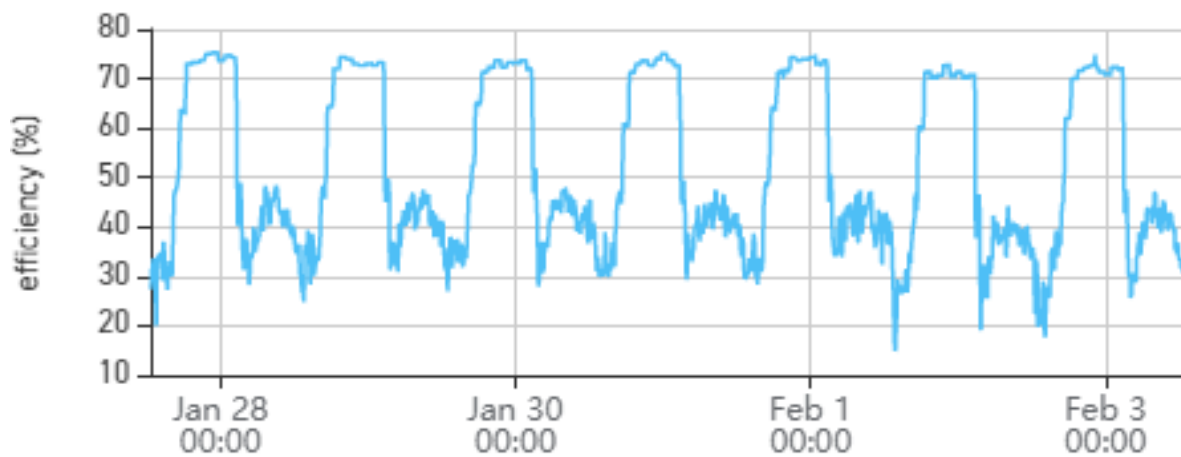


Figuur 30. CO₂-opname en lichtrendement op 2 februari 2022 (koelfase). De daglengte was 15 uur van 2:30-17:30 uur. Na 12:00 daalde het lichtrendement bij 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR, bij 50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR is dit heel gering. Rond 13:00 startte de CO₂-opname. Na kortstondige C3 fotosynthese (licht-afhankelijk) start rond 13:30 al de lichtonafhankelijke CO₂-opname (CAM-fotosynthese) en vanaf 14:00 is er nog nauwelijks verschil in CO₂-opname tussen 150 en 50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR. Verschillen tussen de cultivars waren beperkt: Beautiful Smile was bijna direct volledig CAM, Elastic Love was daarin het traagst. NB het lijkt of er na 13:30 nog een lichteffect op de CO₂-opname is, maar dit komt door knijpende huidmondjes en de meetvolgorde in lichtstappen van hoog naar laag PAR: na 0 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ weer naar 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR geeft dan een verdere verlaging van de CO₂-opname.

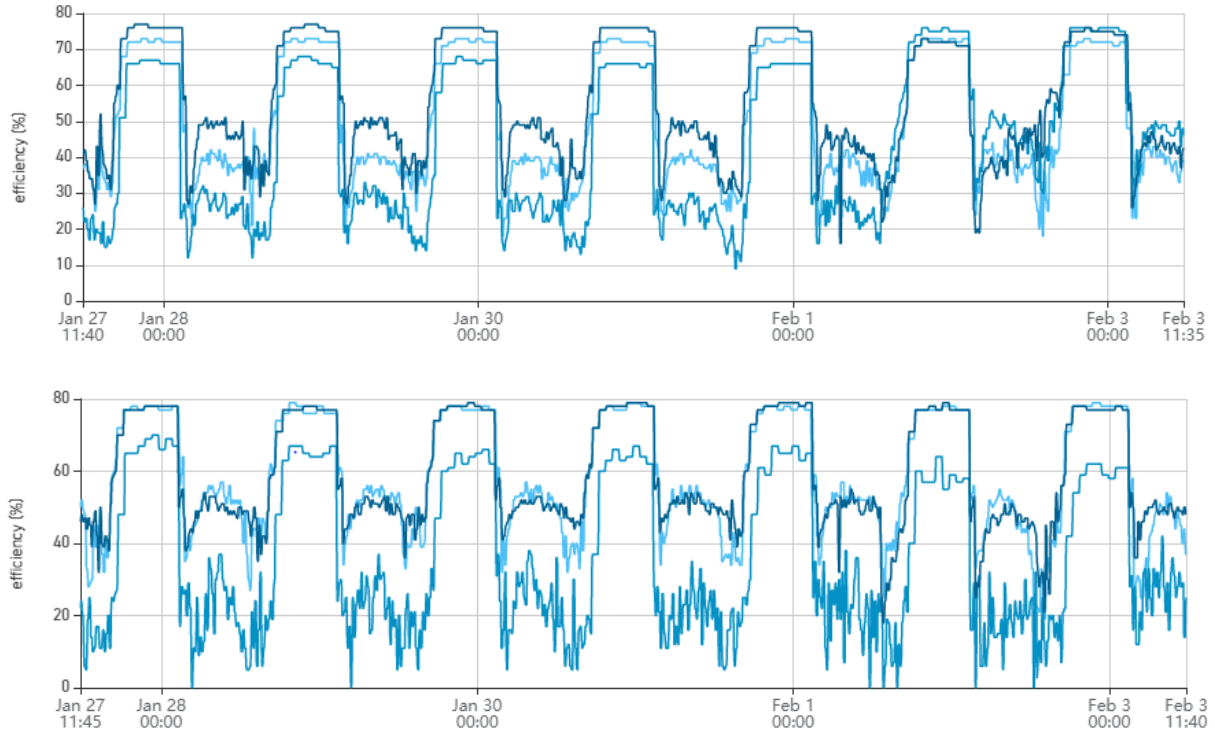
Stellenbosch gemiddeld rendement (3)



Cambridge gemiddeld (3)

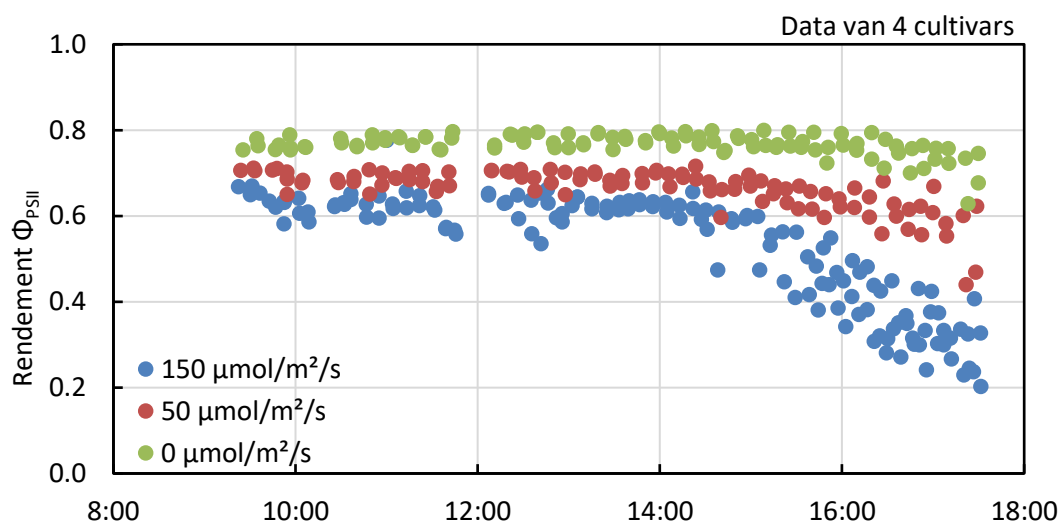
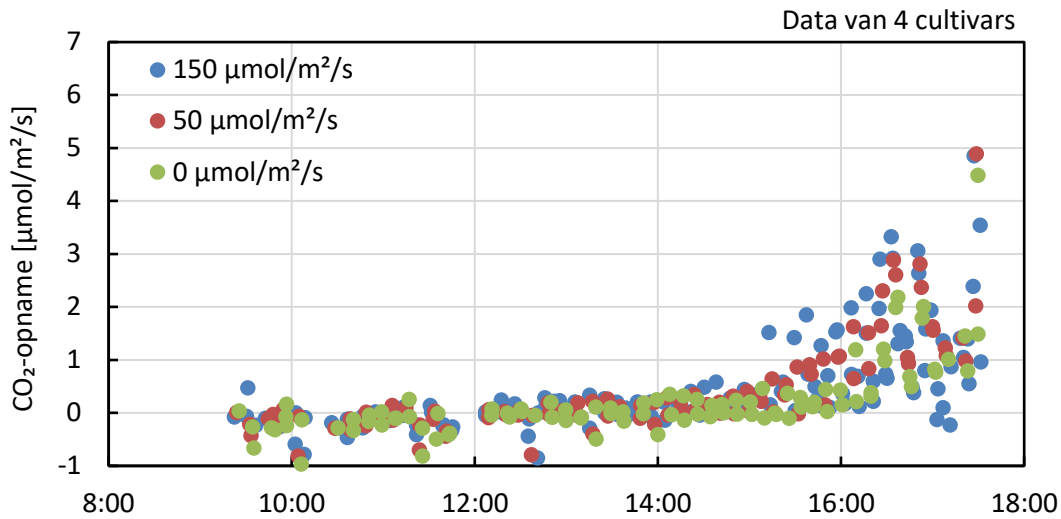


Figuur 31. Gemiddeld patroon lichtrendement gemeten met 3 Sendot-sensoren per cultivaar rondom 02 Februari 2022. Stellenbosch en Cambridge laten beide rond 12:30 een verval in rendement zien. Zie ook in Figuur 32 de metingen van de afzonderlijke sensoren.



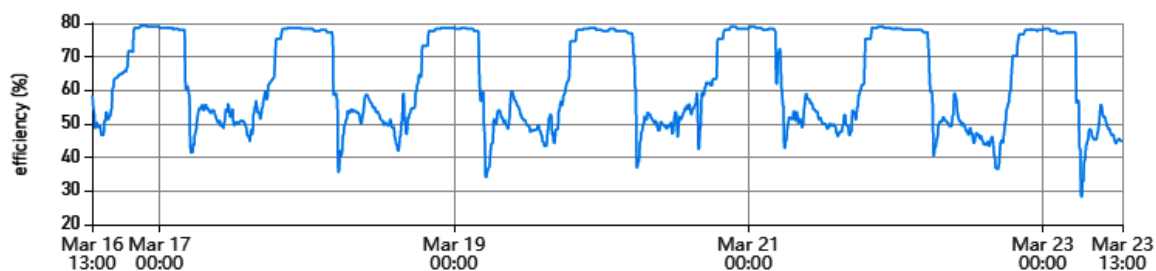
Figuur 32. Patroon lichtrendement gemeten met de afzonderlijke 3 Sendot-sensoren per cultivar rondom 2 Februari 2022. Stellenbosch en Cambridge laten beide rond 12:30 een verval in rendement zien. 1 Sensor liet bij Stellenbosch een afwijkend patroon zien, doordat er per 2 februari een ander blad is genomen herstelde dat weer. Ook bij Cambridge liet 1 sensor een afwijkend patroon zien. Dit bleek veroorzaakt te zijn door het niet goed aandraaien van de fiber in de sensor na het opladen van de accu.

Figuur 33 geeft de resultaten weer van 22 maart 2022 (afkweekfase). De daglengte was 14 uur van 5:00-19:00 uur. Na 15:00 daalde het lichtrendement bij 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR, bij 50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR is dit heel gering. Rond 15:30 startte de CO_2 -opname. Dit is hoofdzakelijk CAM-opname en geen directe C3-fotosynthese. Verschillen tussen de cultivars waren heel beperkt. Figuur 34 laat het patroon van de Sendot-Sensoren zien. Voor Stellenbosch en Cambridge werd ook rond 15:00 een dip in rendement waargenomen. Opvallend was wel dat bij Stellenbosch in deze teeltfase lang niet altijd meer een middagdip werd waargenomen (Figuur 35). De reden hiervoor zou in de verticalere bladstand en beschaduwing door bloemtakken kunnen liggen (Foto 13).

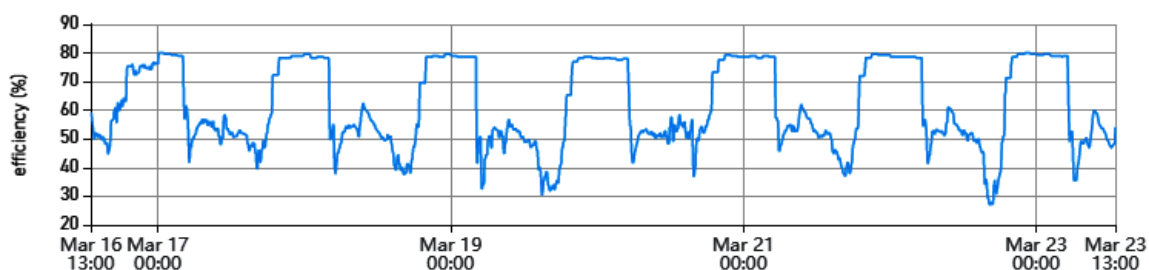


Figuur 33. CO₂-opname en lichtrendement op 22 maart 2022 (afkweekfase). De daglengte was 14 uur van 5:00-19:00 uur. Na 15:00 daalde het lichtrendement bij 150 µmol/m²/s PAR, bij 50 µmol/m²/s PAR is dit heel gering. Rond 15:30 start de CO₂-opname. Dit is hoofdzakelijk CAM-opname en geen directe C₃-fotosynthese. Verschillen tussen de cultivars waren heel beperkt.

Stellenbosch gemiddeld rendement (3)

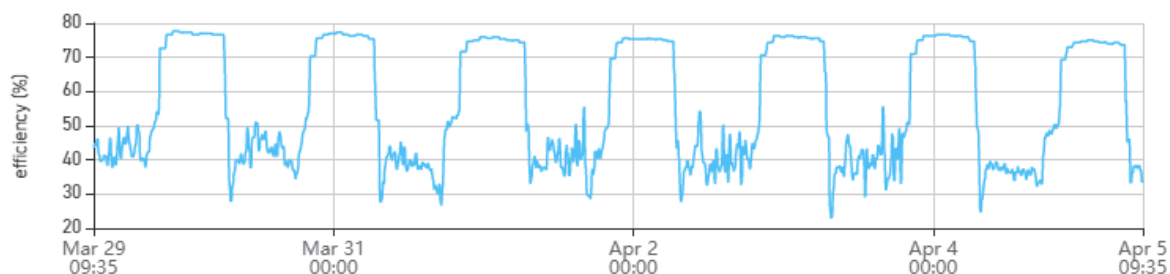


Cambridge gemiddeld (3)

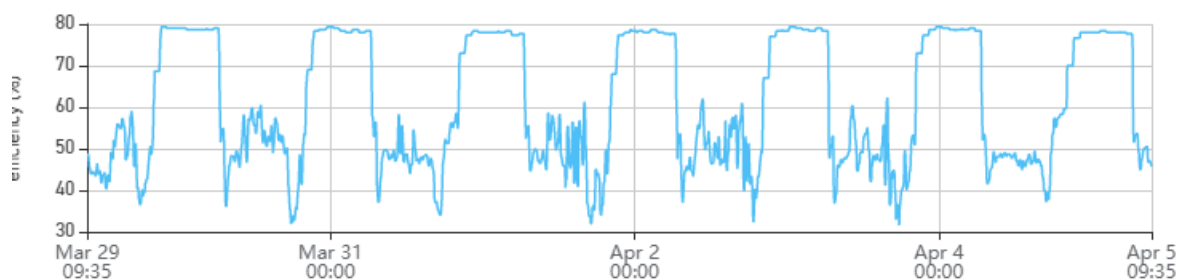


Figuur 34. Gemiddeld patroon lichtrendement gemeten met 3 Sendot-sensoren per cultivar rondom 22 maart 2022. Stellenbosch en Cambridge laten beide op 22 maart rond 12:30 een verval in lichtrendement zien. Bij Stellenbosch is er in deze fase (beschaduwning door bloemtakken) lang niet altijd een middagdip waar te nemen.

Stellenbosch gemiddeld rendement (3)



Cambridge gemiddeld (3)



Figuur 35. Gemiddeld patroon lichtrendement 3 Sendot-sensoren rondom begin april 2022. Bij Stellenbosch is er in deze fase (bloemtakken) lang niet altijd een middagdip waar te nemen terwijl dit bij Cambridge wel het geval was. 2 april werd ook water gegeven. Dit levert geen duidelijk ander patroon op dan voorgaande dagen.



Foto 13. Mogelijke redenen voor variatie in verval lichtrendement gemeten aan verschillende bladeren met Sendot puntsensoren: bladstand, beschaduwning door bloemtakken en 'direct' zonlicht door laagstaande zon via gekrijt glas van de buurkas bij Cambridge.

Afrondend kan gesteld worden dat beide apparaten, de Cropobserver en de Sendot-sensoren, in absolute zin geen gelijke waarden meten aan die gemeten met de Li-6400 en LI-6800 fotosynthese-apparatuur (de 'goudstandaard'). In de praktijk is echter vooral het patroon van het verloop van het rendement van belang: Het goed kunnen waarnemen van het moment van het eindigen van de ochtenddip (einde fase II) en begin van de middagdip (start fase IV) en niet de absolute waarde. Zo gezien zijn beide methodes bruikbaar. Wel zijn er nog de nodige aandachtspunten.

Aandachtspunten CropObserver:

- Op 3m meethoogte werd alleen de ochtenddip (fase II) onder belichting waargenomen en niet de middagdip (fase IV). Per 15 november 2021 is de CropObserver 1.5m boven het gewas gehangen, hiermee werd ook de middagdip waargenomen. Praktisch gezien is zo'n korte afstand wellicht niet handig.
- Een belangrijke parameter is de bedekkingsgraad van de meet-oppervlakte door blad. Bij te lage bedekkingsgraad wordt het onderscheidingsvermogen te laag. Hierdoor werd door het gebruik van teeltvazen per week 51 het 'contact' verloren. De geteste mogelijke oplossingen: schuin gehangen per 3 maart 2021 en filtering op 20% laagste Φ_{PSII} -waarden, hadden beide geen noemenswaardig effect.

Aandachtspunten Sendot-sensoren:

- Connectieproblemen van het platform kunnen een rol spelen.
- Het opladen kost tijd (apparaat en draadloze connectie hebben beide een accu).
- Bij Cambridge is gedurende de proef bijna altijd een duidelijk verval in lichtrendement gemeten in de middag, maar Stellenbosch was dit vanaf maart 2022 niet altijd duidelijk. Hierin kunnen de verticalere bladstand en beschaduwning van bloemtakken een mogelijke rol in spelen, dus dit hoeft niet aan de sensoren te liggen.

B4.2 Stomatasensor

Met behulp van het opstellen van de energiebalans van een gewas kan de huidmondjesgeleidbaarheid berekend (geschat) worden (Voogt en van Weel, 2008; Trouwborst *et al.*, 2017, 2019, 2022). Omdat de energiestromen voor zwaar geschermd gewassen laag liggen, is het de vraag of de nauwkeurigheid van de afzonderlijke sensoren hoog genoeg is om een betrouwbaar resultaat te bereiken. Bij Anthurium, dat niet veel maar wel meer dan Phalaenopsis verdampt, werkt de methode wel (Trouwborst *et al.*, 2022). In deze proef is nagegaan of de methode bruikbaar is in de teelt van Phalaenopsis. De benodigde metingen zijn uitgevoerd onder LED en SON-t met behulp van twee Fytawatches (Foto 14). Voor het opstellen van de energiebalans wordt er uitgegaan van drie energiestromen:

- In- en uitgaande straling, gemeten met een netto stralingsmeter, maal de absorptie van de bovenste bladlaag.
- Inkomende en uitgaande convectie-energie, gemeten via het verschil in lucht- en planttemperatuur en vermenigvuldigd met de warmteoverdrachtscoëfficiënt.
- Verdampingsenergie, uitgedrukt als door de som van netto straling en convectie-energie.

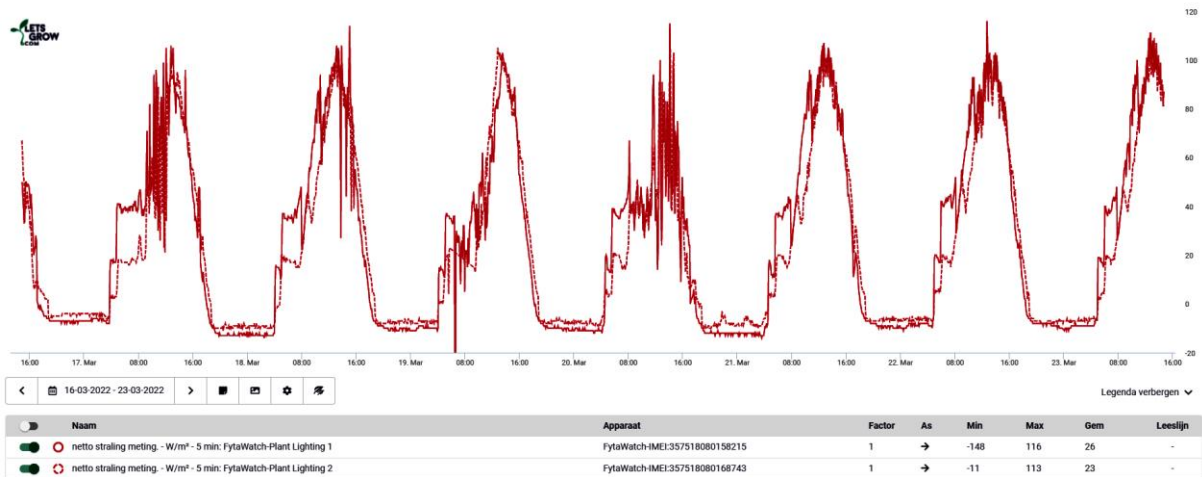


Foto 14. Fytawatch uitgerust met een PAR-meter, netto stralingsmeter, klimaatbox met temperatuur-, RV- en CO₂-sensoren, en een planttemperatuurmeter (IR-sense).

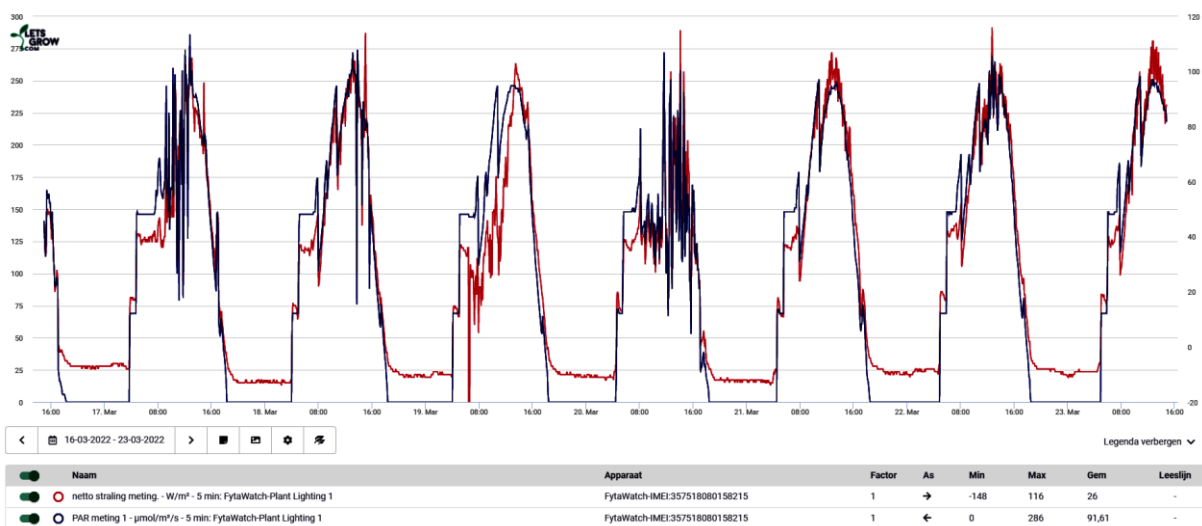
Netto straling en PAR

Met de netto stralingsmeter kan het verloop van de netto straling (balans van inkomende en uitgaande kortgolvlige en langgolvlige straling) worden vastgesteld (Figuur 36). In de onbelichte nacht was in de afkweek (maart 2022) de netto straling negatief: -10 en -12W door uitstraling. Aan het begin van de dag is het verschil in straling door SON-t of LED goed waarneembaar (ruwweg 40 en 20 W netto straling voor 8:00 uur). Voor SON-t is dit een vrij logische waarde als bedacht wordt dat $135 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ongeveer $135/2.5=54\text{W}$, gegeven de -12W uitstraling levert dit ruim 40W netto straling op. Voor LED is dit ongeveer $135/5=27$ en

gegeven de uitstraling van $-10W$ ongeveer $17W$ netto straling. De tweede helft van de dag vallen verschillen weg, omdat er op dat tijdstip in maart nagenoeg niet belicht werd (zie Fig. 5). Figuur 37 geeft de netto straling (rechter-as) en PAR (linker-as) weer. Hierbij valt op dat een aantal keer in de tweede helft van de dag de netto straling boven de PAR-lijn uitgaat. Waarschijnlijk wordt dit veroorzaakt door warmtestraling afkomstig van het scherm pakket dat opgewarmd wordt door de zon. Dit is ook waargenomen bij Anthurium (Trouwborst *et al.*, 2022). Opvallend is de lagere netto straling ten opzichte van PAR op 19 maart 2022. Mogelijk heeft dit te maken met de gietbeurt van die ochtend.



Figuur 36. Netto straling van 16 tot 23 maart 2022 (afkweek). De doorgetrokken lijn is de referentie-kas SON-t en de gestreepte lijn is de demokas LED. In de onbelichte nacht vindt er $10-12W$ uitstraling plaats. In de belichte nacht ligt de netto straling op gewashoogte onder SON-t ruwweg 2^* zo hoog. Later op de dag vallen de verschillen weg omdat er dan niet belicht is.



Figuur 37. Netto straling versus PAR in de SON-t-afdeling van 16 tot 23 maart 2022 (afkweek). Onder SON-t verwacht je ongeveer zelfde balans over hele dag. Echter op middagen wordt het scherm zo warm dat er een extra stralingsbron ontstaat.

Convectie-overdracht

Om de convectie-energie zo zuiver mogelijk te schatten is de planttemperatuursensor geijkt op de luchttemperatuursensor. De planttemperatuursensor is zodanig afgesteld dat er zo'n 2500cm² (0.25m² ≈ 12 planten) aan oppervlak is gemeten. Foto 15, genomen vanaf dezelfde hoogte en richthoek, geeft enige indruk wat de Tplant-sensor 'ziet'. Hierbij valt op dat er meer plastic in beeld is in de demokas LED dan in de referentiekas SON-t.



Foto 15. Foto genomen vanaf zelfde hoogte en richthoek als de PT-sensor op de Fytawatch (50 cm vanaf gewas bij 45°) in de demokas LED (links) en de referentiekas SON-t (rechts). NB een foto heeft een veel grotere kijkhoek dan de PT-sensor van 35° (0.25m² ≈ 12 planten). Duidelijk is te zien dat onder SON-t en LED er een substantiële hoeveelheid oppervlak aan vaas aanwezig is en dat dit onder LED meer is dan onder SON-t.

Opvallend was dat er verschil zat tussen wat de IR-sensoren als maximumwaarde boven de luchttemperatuur aangaven:

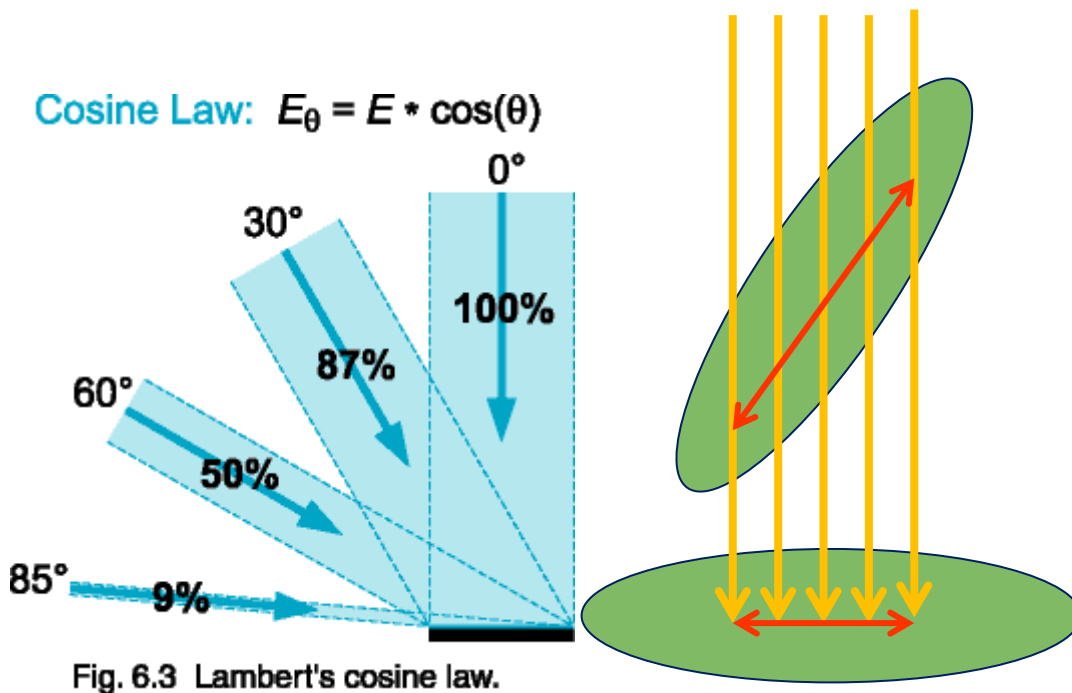
- PT-meter (Heitronic): maximaal 3°C hoger dan Tmeetbox van de proefkas.
- PT-meter (IR-sense): maximaal rond de 1-1.5°C hoger dan meetbox van de Fytawatch.
- 30MHZ puntsensoren: maximaal rond 2°C hoger dan Tmeetbox van de proefkas.

Het veranderen van de richthoek van de IR-sense in 70° (meetoppervlak 5.6m²) had hier geen noemenswaardig effect op.

Energiebalans

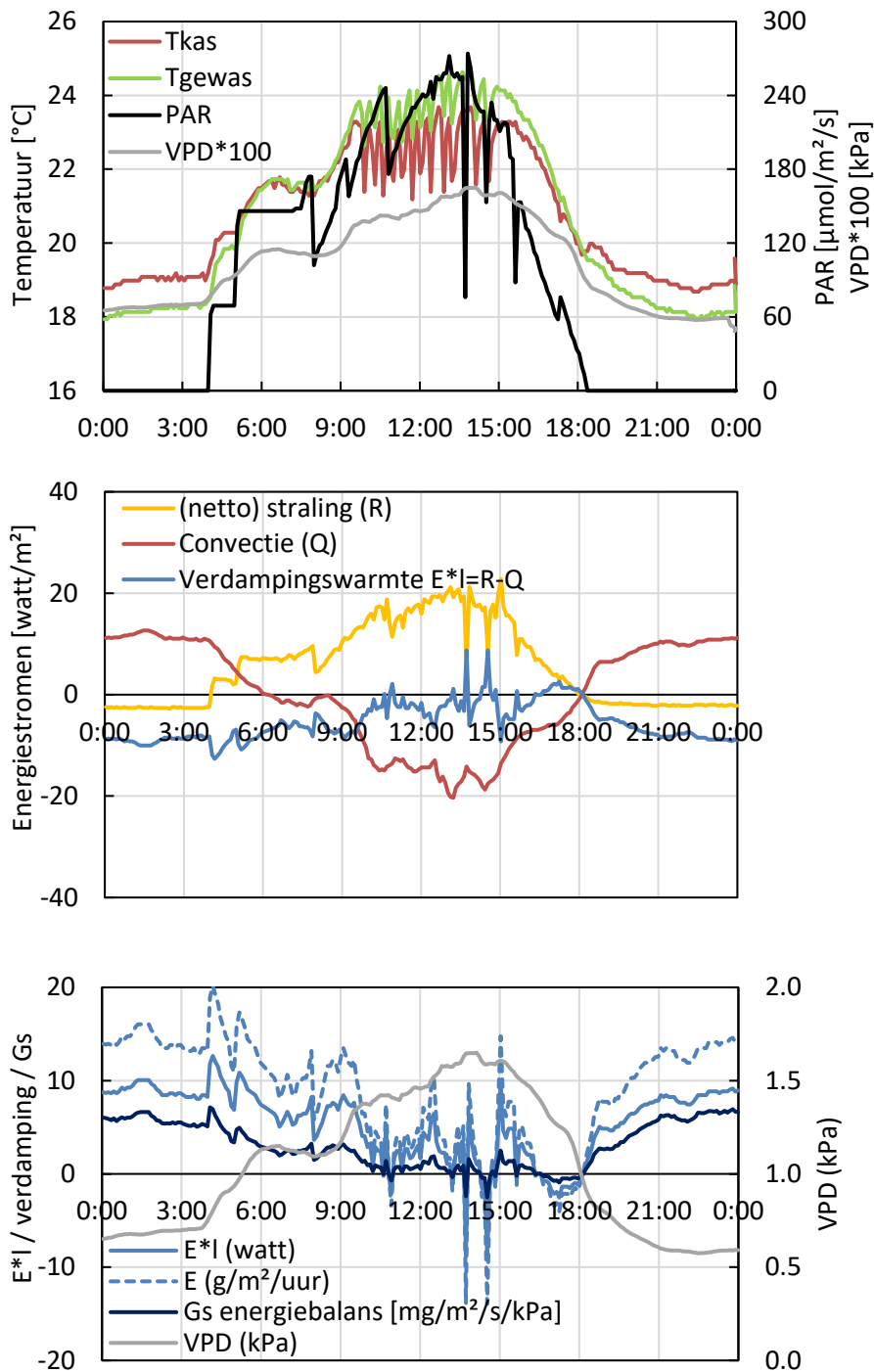
Om de energiebalans op te stellen is het, behalve de netto straling op gewasniveau, ook nodig om te weten hoeveel straling er wordt geabsorbeerd per m² blad. Bij een phalaenopsis-blad dat horizontaal staat, zal dit praktisch 100% zijn van de gemeten netto straling, omdat de

transmissie van phalaenopsisbladeren zeer laag is en de reflectie van inkomende straling al wordt teruggemeten door de netto stralingsmeter. Echter, een blad dat schuin staat, ervaart op basis van 1 m²-blad een lagere straling dan wat gemeten wordt in het horizontale vlak (1 m²-tafel). Dit wordt in beeld gebracht in Figuur 38 en kan voor direct licht worden berekend met de cosinusregel. De meetomstandigheden vonden plaats onder diffuus licht, waardoor de cosinusregel in mindere mate zal gelden. De bladeren in de vazen hadden gemiddeld een bladstand tussen de 70°-80° vanuit het horizontale vlak. Dit betekent dat de gemiddelde lichtabsorptie rond de 17-34% zou moeten uitkomen.

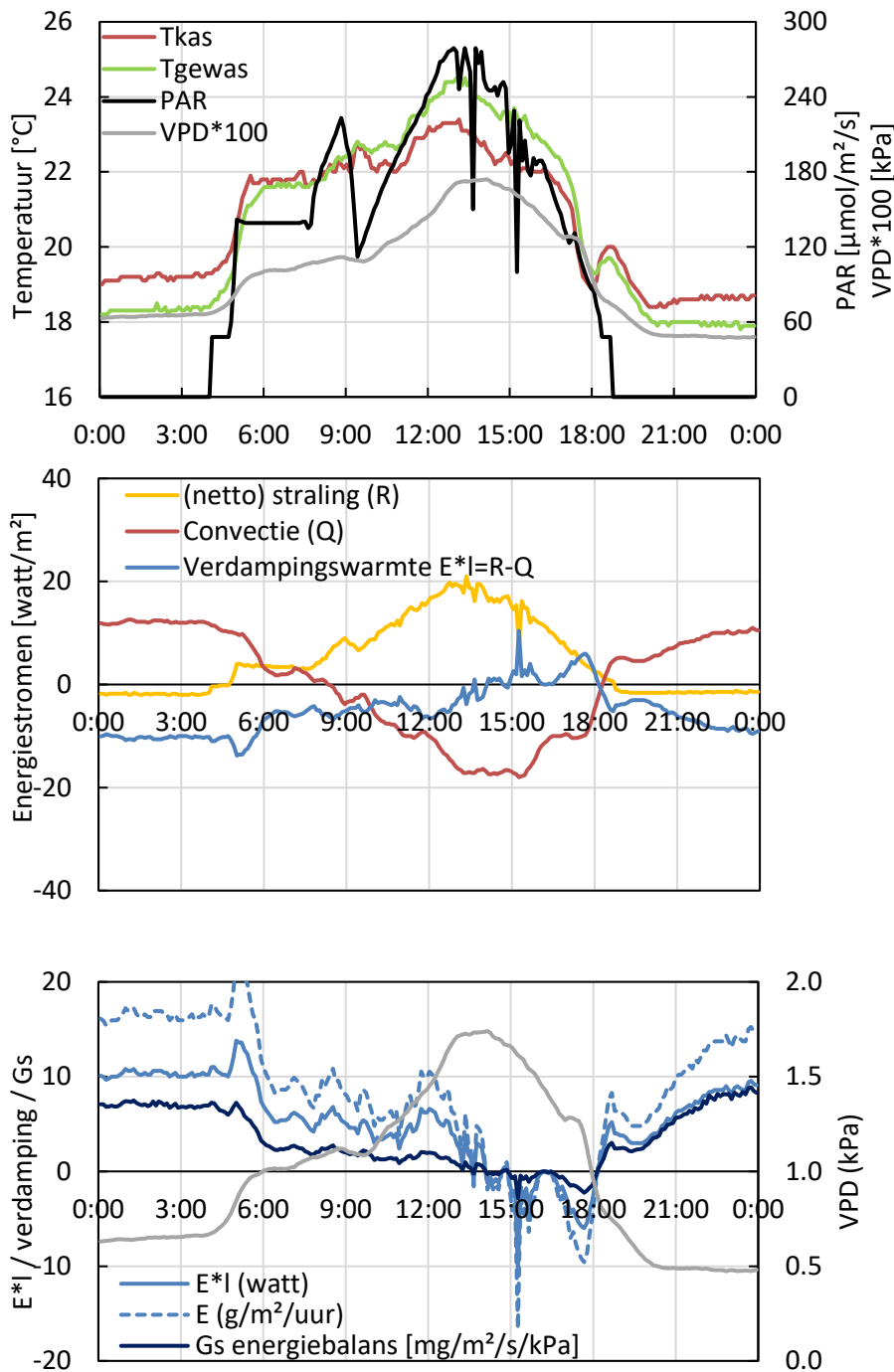


Figuur 38. Cosinusregel voor direct licht. Voor diffuus licht kan dit lokaal anders uitpakken, waardoor de cosinusregel in mindere mate zou kunnen gelden.

Figuur 39 en Figuur 40 geven het klimaat, de energiebalans en de berekende huidmondjesopening weer voor het gewas in de referentiekas SON-t en de demokas LED op 18 maart 2022. Te zien is dat de berekende verdampingsenergie en huidmondjesopening overdag rond de 0 uitkomt. In de vroege ochtend laten beide een (abrupte) daling van de G_s tussen 5:00 en 6:00 zien wat overeenkomt met de ochtenddip op de Sendot-sensoren. Dit zou dus CAM-fase II (sluiting van de huidmondjes) aan kunnen duiden. In de namiddag vindt de stijging in de berekende G_s vrij laat plaats: rond 18:00 in plaats van 15:30-16:00 uur, waar bij de Sendotsensoren al verval in rendement is te zien (einde CAM-fase III). Beide momenten (ochtend en avond) komen overeen met de wisseling van richting van de convectieve energieoverdracht (planttemperatuur onder de ruimtetemperatuur). Dit is in de dagen erna ook zo en niet te relateren aan bijvoorbeeld een droge pot waardoor er wel verval kan zijn in lichtrendement terwijl de huidmondjes gesloten blijven. De orde van grootte van de berekende huidmondjesopening ligt overigens wel in een realistische range die ook gemeten kan worden met betrouwbare fotosynthese-apparatuur (Li-6800, 6 mg/m²/s/kPa staat gelijk aan 0.03 mol/m²/s.)



Figuur 39. Klimaat, energiebalans en huidmondjesopening in de referentiekas SON-t op 18 maart 2022. $E^*|$ is de verdampingsenergie en E is de berekende verdamping. Hierbij is rekening gehouden met een absorptiefactor van de netto straling van 20% gebaseerd op een bladhoek van 78° .



Figuur 40. Klimaat, energiebalans en huidmondjesopening in de demokas LED op 18 maart. E^*I is de verdampingsenergie en E is de berekende verdamping. Hierbij is rekening gehouden met een absorptiefactor van de netto straling van 20% gebaseerd op een bladhoek van 78° .

Conclusies energiebalans en huidmondjesopening

Theoretisch zou de aanpak via de energiebalans moeten werken om de momenten van openen en sluiten van de huidmondjes te bepalen, maar praktisch is de ijking van de sensoren en de bladstand een probleem. Het vaststellen van de overgang van CAM-fase bij Phalaenopsis om licht en CO_2 in de kas te sturen, kan nauwkeuriger op basis van chlorofyl fluorescentie dan op basis van de berekende huidmondjesopening.