

Phalaenopsis duurzaam geteeld II

Deelrapport I: effecten van lichtspectrum en temperatuur
op groei en voortakken in de opkweekfase



December 2023

A. Boonman, M.W. Bongers & S.W. Hogewoning

Phalaenopsis duurzaam geteeld II

Deelrapport I: effecten van lichtspectrum en temperatuur op groei en voortakken in de opkweekfase

December 2023

A. Boonman, M.W. Bongers & S.W. Hogewoning

Plant Lighting B.V.

Doordraai 1

3981 PE Bunnik

info@plantlighting.nl

www.plantlighting.nl

Referaat:

A. Boonman, M.W. Bongers & S.W. Hogewoning 2023. Phalaenopsis duurzaam geteeld II. Deelrapport I: effecten van lichtspectrum en temperatuur op groei en voortakken in de opkweekfase. Plant Lighting B.V., Bunnik. 45p.

Financiering en sponsoring:



Ministerie van Landbouw,
Natuur en Voedselkwaliteit



Stichting
Kennis in je Kas



© 2023 Plant Lighting B.V.

Dit rapport is tot stand gekomen in samenwerking met het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en Glastuinbouw Nederland in het kader van het programma Kas als Energiebron, ter stimulering van energiebesparende maatregelen in de tuinbouw. Het onderzoek is mede mogelijk gemaakt door bijdragen vanuit de gewascoöperatie Potorchidee, Signify, Ludvig Svenson en Sendot. 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.....	8
1 INLEIDING	9
2 PROEF LICHTSPECTRUM X TEMPERATUUR.....	12
2.1 Materiaal en methoden	12
2.2 Resultaten	21
2.3 Discussie en conclusies proef lichtspectrum x temperatuur	31
3 PROEF TEMPERATUUR EN VOORTAKKEN.....	32
3.1 Materiaal en methoden	32
3.2 Resultaten	37
3.3 Discussie en conclusies proef temperatuur en voortakken	42
REFERENTIES.....	44
4 BIJLAGE.....	45

Samenvatting

Plant Lighting doet onderzoek naar een meer energiezuinige teelt van potorchidee Phalaenopsis. Door te telen onder full-LED in plaats van SON-T kan het elektraverbruik ongeveer gehalveerd worden, zo heeft een eerdere demoproef uitgewezen in samenwerking met het Delphy Improvement Centre. Er liggen echter nog wel uitdagingen in de toepassing van LED-belichting en meer algemeen in het beperken van de forse warmtevraag in de opkweek. In de demoproef was een referentiekas met SON-T en een energiebesparende teelt met LED (R86%-G5%-B8%) en warmtebesparende maatregelen (o.a. geen minimumbuis). Aan het eind van de opkweekfase hadden planten uit beide kassen een gelijk totaal drooggewicht. Echter, de verdeling van drogestof was anders. De planten in de LED-kas hadden wat minder bladgewicht en juist meer wortelgewicht. Ook was er iets minder bladafsplitsing en waren de bladeren donkerder gekleurd in de LED-kas. Dat kan zijn vanwege de iets lagere planttemperatuur in de LED-kas, maar mogelijk speelt ook het lichtspectrum hierin een rol. Daarom dit onderzoek naar effecten van temperatuur en lichtspectrum op plantontwikkeling.

In twee klimaatcellen van Plant Lighting zijn planten van vier rassen 28 weken lang opgekweekt bij een verschillende dagtemperatuur (30°C of 27.5°C) en gelijke nachttemperatuur (27.5°C). Binnen iedere klimaatcel werden vier verschillende spectra belichting getoetst op een achtergrond van winterzonlicht (totale PAR-som 5.9 mol/m²/dag, waarvan 3.9 mol/m² belichting en 2.0 mol/m² zonlichtsimulatie). Bij de lage dagtemperatuur gaf met name het ras Stellenbosch veel voortakken, in tot wel 44% van de planten. Bij de rassen Leeds en Miraflore bleef het onder de 10% en bij Cambridge werd geen enkele voortak gevonden (op 35 planten per behandeling). Vanwege dit risico op voortakken in gevoelige rassen is de lagere dagtemperatuur dus af te raden. Bij de hoge dagtemperatuur ontstonden geen voortakken, ondanks de nachttemperatuur van 27.5°C.

Onder de lage dagtemperatuur was er minder bladafsplitsing, bleven bladeren iets korter en was er minder totaal bladgewicht. De lage temperatuur verklaart dus waarschijnlijk (in ieder geval ten dele) het lagere bladgewicht wat ook in de eerdere demoproef in de LED-kas werd gevonden. Bij de lagere dagtemperatuur was er in verhouding meer wortel dan blad vergeleken met de hogere dagtemperatuur.

In iedere klimaatcel zijn vier verschillende LED-spectra belichting getoetst: een 'standaard spectrum' (R89%-G5%-B6%) met en zonder 10% verrood, en die beide spectra werden ook met een hoog percentage wit licht (dus meer groen en blauw ten koste van rood) getoetst. Spectrum bleek geen bepalend effect te hebben op het ontstaan van voortakken bij de lage dagtemperatuur, of op de verdeling van drooggewicht tussen blad en wortel. Zonder verrood viel bij sommige rassen het donkerdere blad op. Belichting met verrood gaf verder iets langere bladeren en verminderde wortelgroei buiten de pot. Naast deze gunstige effecten van verrood werd er geconcludeerd dat ook onder het basisspectrum zonder verrood een goede plant kan worden opgekweekt onder full-LED in combinatie met (gesimuleerd) winterzonlicht.

In een vervolgprouf in klimaatcabines werd onderzocht of de nachttemperatuur nog verder mag dalen (tot 24°C) zonder voortakken te induceren. Mogelijk kan er zo op stookkosten worden bespaard ten opzichte van de huidige praktijk, waar in de nacht ook een hoge temperatuur wordt aangehouden. In een andere behandeling werd de temperatuur verlaagd in de tweede helft van de lichtperiode, wat gunstig kan zijn omdat instraling dan doorgaans ook minder wordt. Er is gestart met planten van 13 weken na oppotten en de temperatuurprouf duurde 14 weken. Er is in alle behandelingen belicht met LED (R89%-G5%-B6%) op een achtergrond van 2 mol/m²/dag winterzonlicht (totale lichtsom 5.9 mol/m²/dag).

In de controlebehandeling bij 30°C overdag en 27°C 's nachts ontstonden geen voortakken. Bij continu 27°C had maar liefst 43% (Leeds) tot 86% (Stellenbosch) van de planten voortakken. Wanneer in de tweede helft van de dag de temperatuur al werd verlaagd van 30° naar 27°C werden er wel voortakken gevormd, zij het een veel lager percentage dan bij continu 27°C. Leeds en Miraflore hadden maar 3% voortakken (1 plant op de 35), Freeride nul, en bij Stellenbosch had wel 20% van de planten voortakken. Ook bij de lage nachttemperatuur van 30°C overdag en 24°C 's nachts werden voortakken gevormd bij drie van de vier rassen: 3% bij Freeride, 9% bij Leeds en 17% bij Stellenbosch. Besparing op stookkosten door een lagere temperatuur geeft dus een risico dat in gevoelige rassen voortakken worden gevormd. Wellicht biedt selectie op minder gevoelige rassen, al dan niet in combinatie met een lagere lichtsom, wel perspectief om te kunnen besparen op stookkosten zonder dat te veel voortakken ontstaan.

De eindoogst liet zien dat er voor de groei verder geen nadeel kleeft aan een lagere temperatuur vanaf de tweede helft van de dag of een nachttemperatuur van 24°C. Het totale drooggewicht was vergelijkbaar of zelfs wat hoger dan de positieve controle 30/27°C D/N. Ook bladlengte of totaal aantal bladeren werd niet nadelig beïnvloed. Bij 27°C continu waren er wel iets minder bladeren en was het scheutgewicht ook iets lager.

Samenvattend kunnen we uit deze twee prouven de volgende conclusies trekken:

- Totaal drooggewicht was gemiddeld 9% lager bij de dagtemperatuur van 27.5°C ten opzichte van 30°C. Ook was de bladafsplitsing ±0.5 blad minder en waren bladeren iets korter. Het is de vraag of een dagtemperatuur van 27.5°C meer energie bespaart dan een aantal weken kortere teelt voor eenzelfde plantontwikkeling bij 30°C overdag. Het grote nadeel van de lage dagtemperatuur was verder de vorming van een groot aantal voortakken.
- LED-belichting met een basisspectrum (R89%-G5%-B6%) voldoet om een goede Phalaenopsis op te kweken.
- Hoog wit in het spectrum biedt geen opvallende voordelen en wordt niet aangeraden vanwege het hogere elektriciteitsgebruik.
- Extra verrood in het spectrum heeft als voordeel dat het blad groener oogt van rassen die meer roodgekleurd blad hebben, het vermindert de overgroei van wortels en geeft iets langere bladeren. Of dit de extra elektrakosten waard is, is aan de teler.

- Bij een dagtemperatuur van 30°C kan de nachttemperatuur naar 27°C zonder voortakken te induceren, maar bij een nachttemperatuur van 24°C bestaat het risico op voortakken bij daartoe gevoelige rassen.
- Wanneer in de tweede helft van de lichtperiode de temperatuur al wordt verlaagd naar 27°C, bestaat ook het risico op voortakken bij daartoe gevoelige rassen, zij het veel minder dan bij 27°C gedurende de hele dag.

Dankwoord

Voor u ligt deelrapport I van project 'Phalaenopsis duurzaam geteeld II'. Deelrapport I gaat in op het plantfysiologische onderzoek naar effecten van lichtspectrum en temperatuur op groei en het ontstaan van voortakken in de opkweekfase. In het kader van hetzelfde project is ook deelrapport II 'demonstratie energiezuinige opkweekfase in de kas' uitgegeven.

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

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

December 2023,

Sander Hogewoning

1 Inleiding

Algemeen

Phalaenopsis staat voor een grote uitdaging om mee te kunnen in de transitie naar een energiezuinige en op termijn fossielvrije teelt. Het is een belangrijk gewas met een areaal van >200 ha en een zeer energie-intensieve teelt. In de opkweekfase wordt gedurende ± 28 weken de kas verwarmd tot 29°C . Dat vraagt veel warmte, en elektra voor belichting (tot $\pm 120 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$). Voor de bloemtak-inductie ($\pm 19^{\circ}\text{C}$) en de daaropvolgende afkweekfase ($\pm 21^{\circ}\text{C}$) is er in een gedeelte van het jaar koeling nodig, wat eveneens veel elektra kost. In de koeling en afkweek zijn de belichtingsintensiteiten hoger dan in de opkweek. Het energieverbruik in Phalaenopsis in cijfers: warmte $\pm 55 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jaar}$; elektra belichting $\pm 160 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{jaar}$; elektra koude $\pm 130 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{jaar}$.

Proef afgelopen seizoen

Eerder is het onderzoek 'Phalaenopsis duurzaam geteeld' (2021-2022) uitgevoerd (Hogewoning et al., 2022). Er is onder andere onderzoek gedaan in twee proefkassen bij Delphy Improvement Centre vanaf halverwege de opkweekfase tot en met de afkweekfase. In de ene kas stond een praktijkconforme referentieteelt met SON-T. In de tweede kas is energiezuiniger geteeld door maximaal op elektra voor belichting te besparen en te besparen op warmte door de minimumbuis niet in te zetten (behalve op gietdagen) en intensief te schermen. De nadruk lag op elektrabesparing voor belichting:

- Energiezuinige LED (besparing 50% t.o.v. SON-T).
- Verder minimaliseren elektra door maximaal gebruik daglicht met PARperfect screen en door dynamisch dimmen LED bij voldoende daglicht.
- Afstemmen licht op de CAM-fase van de plant (op basis van eerder onderzoek Plant Lighting).
 - Dimmen LED in CAM-fase II (ochtend) en IV (middag).
 - Lichtintegratie in CAM-fase III.
- Kortere daglengte gedurende laatste 8 weken opkweek (bevordering bloemtak-uitloop).

Het gewas onder LED heeft uiteindelijk goed gepresteerd: het aantal bloemtakken was hoog, en het aantal bloemtakken en bloemen verschilde niet significant van de referentie-afdeling. De bladafsplitsing tijdens de laatste 14 weken van de warme opkweekfase was wel $\sim 10\%$ trager in de LED-kas t.o.v. SON-T. Dat is mogelijk vanwege de lagere planttemperatuur onder LED, hoewel het lichtspectrum ook een rol gespeeld kan hebben. Het totale plantgewicht was gelijk, maar onder LED was het bladgewicht lager en het wortelgewicht iets hoger. De bladeren waren in de LED-kas ook donkerder groen of roder (anthocyaan) en iets minder lang. Om het doel van een energiezuinige en op termijn fossielvrije Phalaenopsis-teelt te bereiken, zal de teelt onder full-LED nog moeten worden gefinetuned. Met name de klimaatsturing bij full-LED en wellicht ook de voeding vraagt daarbij aandacht.

Warmtevraag

Behalve teelt onder LED op zich, is de invulling van de warmtevraag in de warme opkweekfase een grote uitdaging. Ruim 50% besparing op elektra voor belichting is op zich positief, maar brengt wel minder warmte in de kas. Bij een teelttemperatuur van 29°C, een minimumtemperatuur van 27.5°C, en een belichting die niet veel intensiever zal worden dan ~120 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, blijft de warmtevraag hoog. Dat geldt nog altijd als er intensief geschermd wordt, geen minimumbuis wordt ingezet, bij een hogere RV geteeld wordt, en het gewas niet meer nat gegoten wordt. Uit berekeningen van WUR-glas (2011) blijkt dat de warmtevraag in *de warme afdeling*, door al dit soort maatregelen te combineren, kan halveren van $\pm 65\text{m}^3$ naar ruim $\pm 30\text{m}^3$ gas per m^2 per jaar. Recente berekeningen door B-Mex met full-LED (halvering elektra), en genoemde warmtebesparende maatregelen, laten een in grote lijnen vergelijkbaar beeld zien. Voor de korte tot middellange termijn is het belangrijk dat deze grote potentiële besparing gerealiseerd wordt. In de toekomst zal ook die resterende warmtevraag op een fossielvrije manier ingevuld moeten worden met andere bronnen, zoals aardwarmte, WKO, of restwarmte uit industrie.

Doelstelling onderzoek 2022-2023

Met dit project willen we een volgende stap maken richting een toekomstbestendige Phalaenopsis-teelt. De aandacht gaat daarbij nu uit naar de warme opkweekfase waar op dit moment de grootste uitdagingen liggen om fossielvrij te kunnen telen. Dit betreft vragen over het te gebruiken lichtspectrum om met LED op elektra te kunnen besparen, de effecten van planttemperatuur op groei, en hoe goed te kunnen telen onder full-LED met zo min mogelijk warmte-input. Het onderzoek bestaat uit een combinatie van rekenwerk aan energiezuinige teelttechnieken, onderzoek naar de effecten van licht-spectrum en temperatuur in klimaatcellen, en een demoproef waarin energiezuinige teelttechnieken worden toegepast.

Het onderzoek heeft twee deelrapporten opgeleverd. Voor u ligt deelrapport I, waarin twee proeven in klimaatcellen, gericht op effecten van lichtspectrum en temperatuur op groei en het ontstaan van voortakken, worden besproken. In deelrapport II staan de resultaten van een demonstratieproef in een proefkas, waarin in de winter van 2022-2023 28 weken lang Phalaenopsis is opgekweekt met gebruik van energiezuinige technieken (zie Bongers *et al.*, 2023). In dat rapport staan ook de resultaten van het rekenwerk aan verschillende (potentieel) energiezuinigere teelttechnieken.

Doelstelling dit rapport

Zoals genoemd was onder LED de bladafsplitsing trager en was er minder bladgewicht aan het eind van de opkweek dan onder SON-T. Het totale plantgewicht was gelijk. De vraag is of een lagere planttemperatuur onder LED dit heeft veroorzaakt en/of het andere lichtspectrum. Het juiste spectrum voor goede plantkwaliteit is van groot belang voor telers die de overstap maken van SON-T naar LED. Ook is er een risico op voortijdige bloei bij lagere temperatuur. Hoe kan dan toch bespaard worden op stookkosten met zo min mogelijk risico op voortakken?

De volgende doelstellingen zijn er voor het onderzoek in dit rapport:

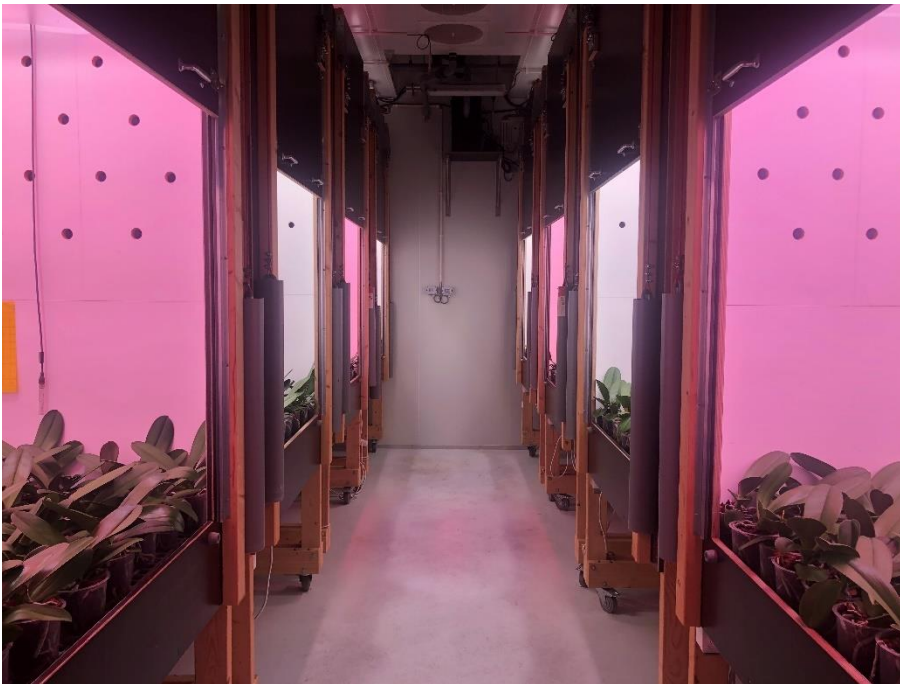
1. Kennis over de respons van Phalaenopsis in de opkweekfase op het lichtspectrum en de plant-temperatuur. Dit is nodig om in de opkweekfase succesvol onder full-LED te kunnen belichten. Zie hoofdstuk 2 voor het onderzoek hiernaar.
2. Kennis over de gevolgen van een lagere temperatuur gedurende een gedeelte van een etmaal in de opkweekfase. Zo kan op warmte bespaard worden. Wat is het effect op het ontstaan van voortakken, en groei en ontwikkeling? Zie hoofdstuk 3 voor het onderzoek hiernaar.

2 Proef lichtspectrum x temperatuur

De vraag die in deze proef werd onderzocht is: wat zijn de effecten van dagtemperatuur en van lichtspectrum op groei en ontwikkeling tijdens de opkweek van Phalaenopsis?

2.1 Materiaal en methoden

Planten van vier rassen zijn 28 weken lang opgekweekt. Het onderzoek is uitgevoerd in twee klimaatcellen met elk acht klimaatcabines van 1.2 m² netto oppervlak (Fig. 2.1).



Figuur 2.1. Overzicht van een klimaatcel met daarin acht klimaatcabines waarin verschillende lichtbehandelingen worden getoetst.

De setpoints van deze proef, plantdichtheid en watergift staan in Tabel 2.1 en de tijdlijn in Tabel 2.2. De behandelingen staan in Tabel 2.3. Klimaat wordt beschreven in Hoofdstuk 2.1.1, belichting in Hoofdstuk 2.1.2 en metingen in Hoofdstuk 2.1.3. De proef is gestart 6 oktober 2022.

In de twee klimaatcellen werd een verschillende dagtemperatuur aangehouden (30°C of 27.5°C) en gelijke nachttemperatuur (27.5°C). De etmaaltemperatuur was 29°C of 27.5°C. In iedere klimaatcel zijn vier verschillende LED-spectra getoetst: een standaard spectrum (R89%-G5%-B6%) met en zonder 10% verrood (Vr), en die beide spectra werden ook met een hoog percentage wit (hW) licht (dus meer groen en blauw ten koste van rood) getoetst. Er waren steeds twee klimaatcabines met dezelfde behandelingen, waarover in totaal de vier rassen waren verdeeld (twee rassen per cabine). In alle behandelingen was een achtergrond van winterzonlicht gerealiseerd met zonlichtsimulatoren.

Tabel 2.1. Setpoints van de proef, plantdichtheid en watergift.

Parameter	Waarde
Plantmateriaal	Planten 0 weken oud van rassen Leeds, Cambridge, Stellenbosch, Miraflore, opgepot bij Levoplant op een mix van bark, Sphagnum en voorraadbemesting.
Temperatuur	30/27.5°C of 27.5/27.5°C D/N, etmaal 29°C of 27.5°C
Luchtvochtigheid	65/70% D/N
CO ₂	800 ppm van 12:00-04:00 (9 uur na start belichting tot 1 uur na einde nacht)
Plantdichtheid	Bij start 83 planten/m ² en na 14 weken 58 planten/m ² met potten van 12 cm diameter.
Watergift	Bovenlangs iedere 5 dagen bij etmaal 29°C of 6 dagen bij etmaal 27.5°C met voedingswater EC 1.3 pH 5.8 (samenstelling in Bijlage Tabel B1)

Tabel 2.2. Tijdlijn van de proef.

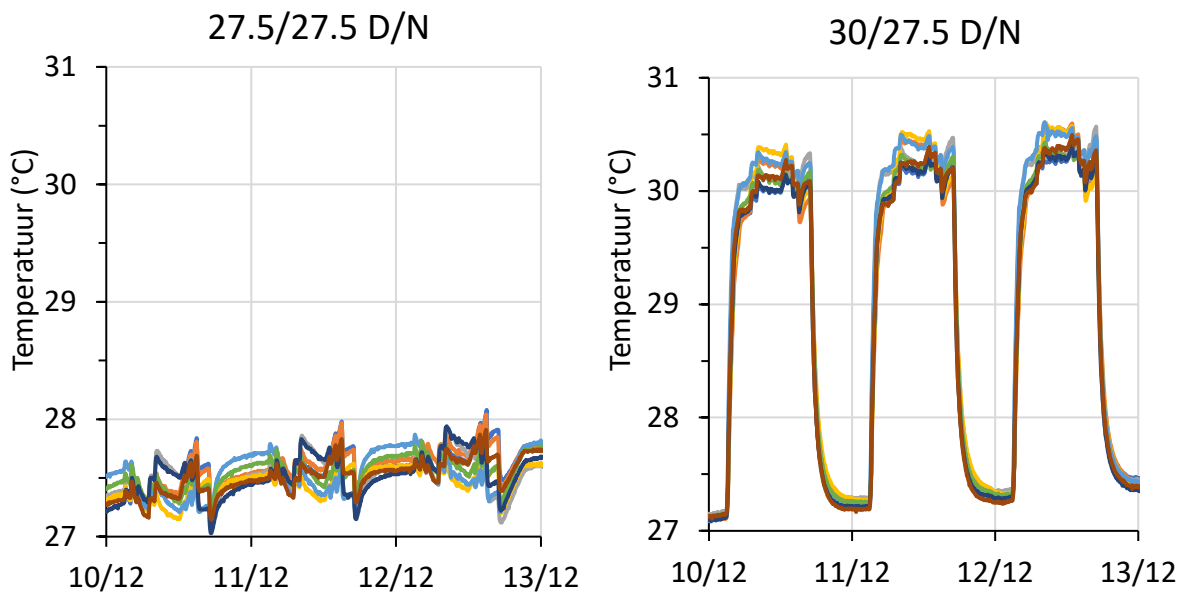
Weken na start	Gebeurtenis
0	Start proef, lightsom 6.6 mol/m ² /d (6 oktober 2022)
3	Lightsom verlaagd naar 5.9 mol/m ² /d
6	Eerste voortakken geteld en verwijderd
14	Dichtheid verlaagd naar 58 planten/m ² en tussentijdse meting groei
25	Start eindmetingen per ras (Le 25w, Ca 26w, St 27w, Mi 28w)
28	Einde proef

Tabel 2.3. Behandelingen. Etmaaltemperatuur (in °C) gevolgd door LED-lichtspectrum (zie details in Tabel 2.4). Alle behandelingen ontvingen ook winterzonlicht. Voor uitleg lichtspectrum zie Hoofdstuk 2.1.2.

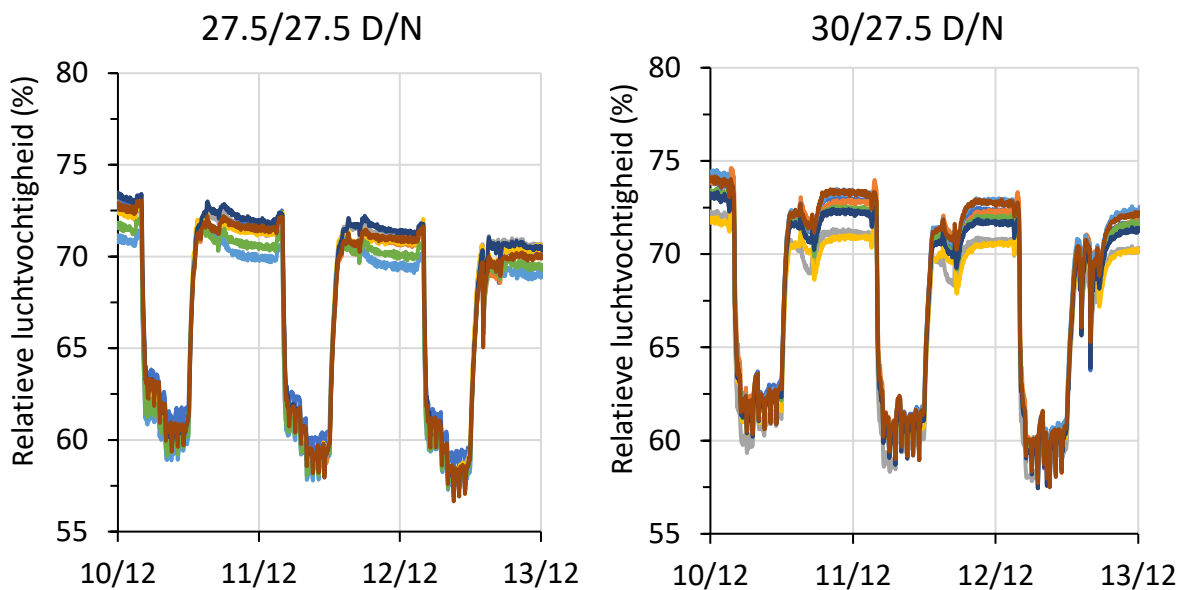
Behandeling	Dagtemperatuur (°C)	Nachttemperatuur (°C)
27.5 R-W-B	27.5	27.5
27.5 R-W-B+Vr	27.5	27.5
27.5 R-hW-B	27.5	27.5
27.5 R-hW-B+Vr	27.5	27.5
29 R-W-B	30	27.5
29 R-W-B+Vr	30	27.5
29 R-hW-B	30	27.5
29 R-hW-B+Vr	30	27.5

2.1.1 Klimaat

De klimaatinstellingen volgens Tabel 2.1 zijn in de proef gerealiseerd. Het typische verloop van temperatuur over de dag is te zien in Fig. 2.2 en van relatieve luchtvochtigheid in Fig. 2.3.

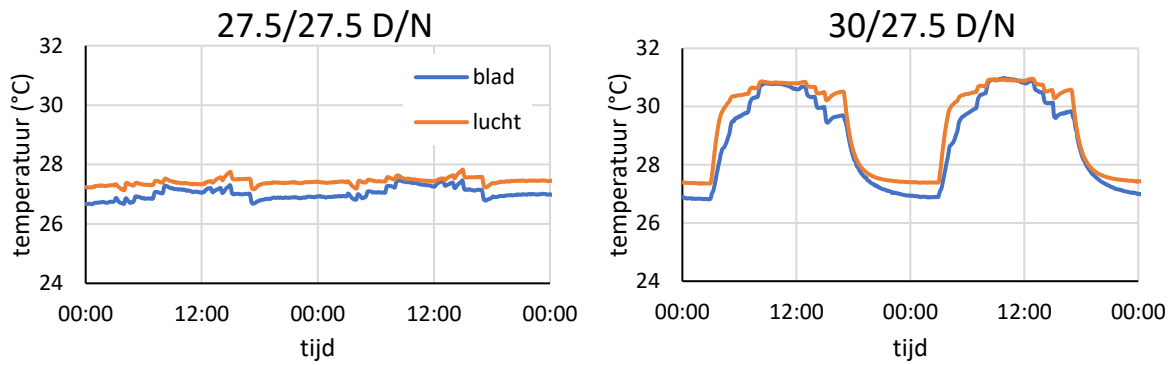


Figuur 2.2. Verloop van temperatuur over de dag in de behandelingen. Iedere lijn is één van de acht cabines in de klimaatcel.



Figuur 2.3. Verloop van relatieve luchtvochtigheid over de dag in de behandelingen. Iedere lijn is één van de acht cabines in de klimaatcel.

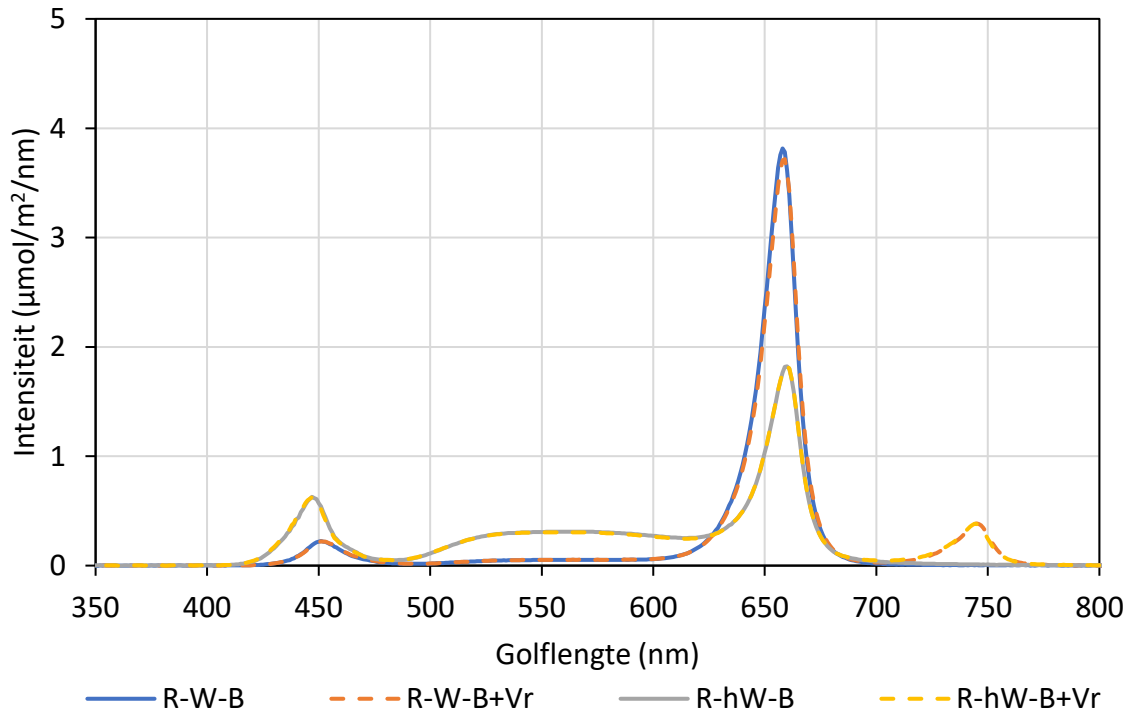
De bladtemperatuur is over twee etmalen gemeten in één van de cabines in beide klimaatcellen. Dit betreft dus een momentopname. De bladtemperatuur was midden op de dag, wanneer de instraling door de belichting het sterkst is, vrijwel gelijk aan de luchttemperatuur, terwijl 's nachts de bladtemperatuur $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ lager lag dan de luchttemperatuur (Fig. 2.4). Deze metingen zijn herhaald met vergelijkbaar resultaat.



Figuur 2.4. Bladtemperatuur en luchttemperatuur in de twee temperatuurbehandelingen. De bladtemperatuur is het gemiddelde van minstens drie bladeren. De etmaaltemperatuur van het blad was 27.0°C en die van de lucht 27.4°C in de behandeling 27.5/27.5 D/N. De etmaaltemperatuur van het blad was 28.9°C en die van de lucht 29.3°C in de behandeling 30/27.5 D/N. Deze metingen zijn herhaald met vergelijkbaar resultaat.

2.1.2 Belichting

Het spectrum van de LED-belichting is te zien in Fig. 2.5 en de spectrale verdeling in Tabel 2.4. Ten opzichte van een standaard RWB-spectrum is onderzocht wat het effect is van extra verrood licht, en van hoog wit. In de hoog wit spectra was er meer blauw en groen licht en minder rood (Tabel 2.4). In alle behandeling was de PAR-som gelijk, dus het verrood (>700 nm) dat buiten het PAR-gebied (400-700 nm) valt is extra toegevoegd.

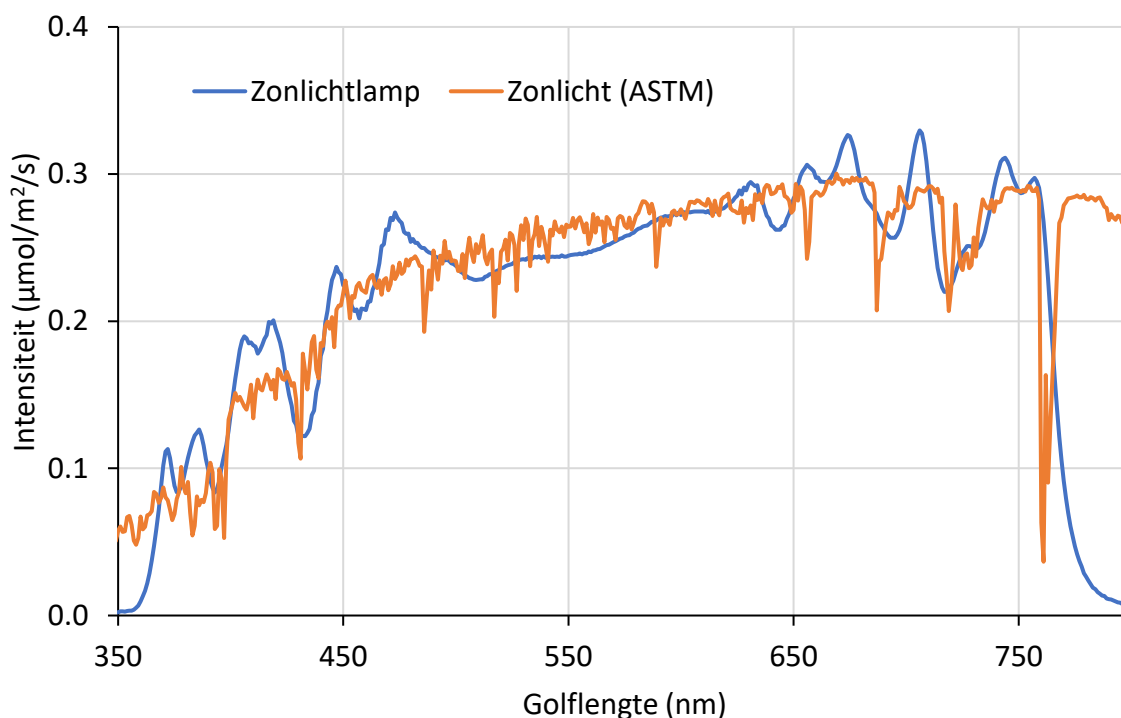


Figuur 2.5. Spectrum van de LED-lichtbehandelingen.

Tabel 2.4. Spectrale verdeling ten opzichte van PAR in de LED-lichtbehandelingen. PSS (phytochrome photostationary state) is een maat voor de lichtspectrum-gestuurde balans tussen actief en inactief fytochroom in de plant. Verrood

	R-W-B	R-W-B+Vr	R-hW-B	R-hW-B+Vr
% Blauw	6%	6%	17%	17%
% Groen	5%	5%	29%	29%
% Rood	89%	89%	54%	54%
% Verrood	0%	10%	1%	10%
PSS	0.89	0.86	0.87	0.84

Zonlicht is nagebootst met zonlichtsimulatoren (ASRM II; Specialty Lighting Holland, Giessen) waarvan het spectrum dat van zonlicht nauwkeurig volgt (Fig. 2.6).

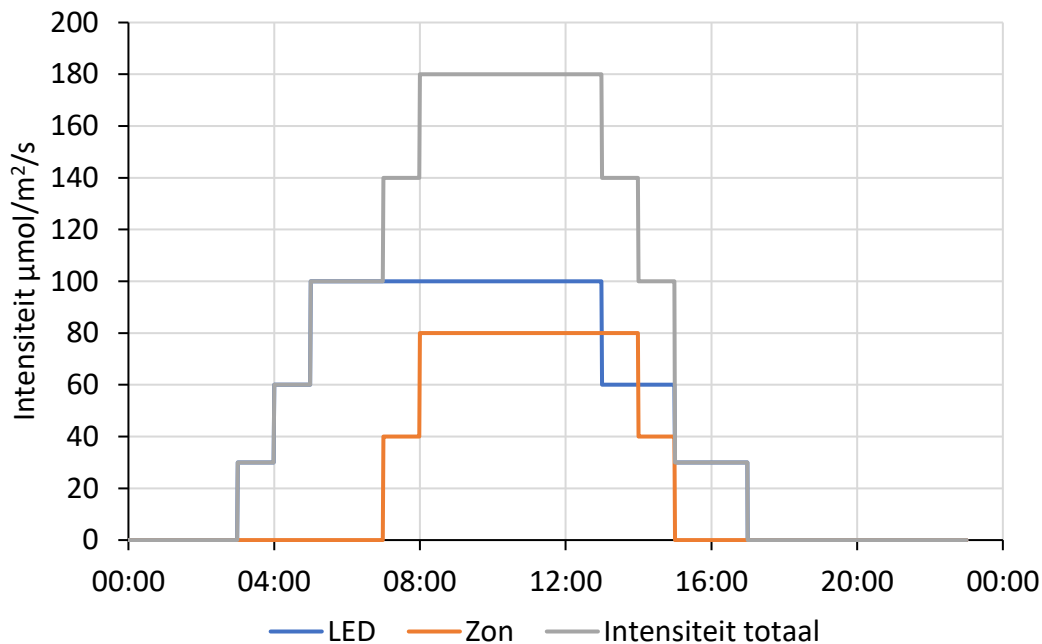


Figuur 2.6. Spectrum van de gebruikte zonlichtlamp (Specialty Lighting Holland) en standaard-spectrum (ASTM-global tilt) van zonlicht.

Het verloop van lichtintensiteit over de dag zoals dat is aangehouden vanaf drie weken na start is te zien in Figuur 2.7. Te zien is dat de intensiteit geleidelijk toeneemt en aan het eind van de lichtperiode weer geleidelijk afneemt, dit vanwege de lagere lichtbenutting van *Phalaenopsis* in CAM-fases II en IV, waardoor meer belichten op die momenten weinig zin heeft (Hogewoning *et al.*, 2021). Dit is gecontroleerd met metingen van fotosynthese en chlorofyl-fluorescentie (zie verderop in dit hoofdstuk).

De lichtperiode was 14 uur. Er werd belicht met maximaal 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ LED met een lichtsom van 3.9 $\text{mol}/\text{m}^2/\text{d}$. Kunstzonlicht had een maximum intensiteit van 80 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ met

een lichtsom van 2.0 mol/m²/d verdeeld over een periode van 8 uur per dag, waarmee een typische winterdag werd nagebootst. De totale lichtsom kwam hiermee op 5.9 mol/m²/d waarvan 5.5 mol/m²/d tijdens CAM fase III.



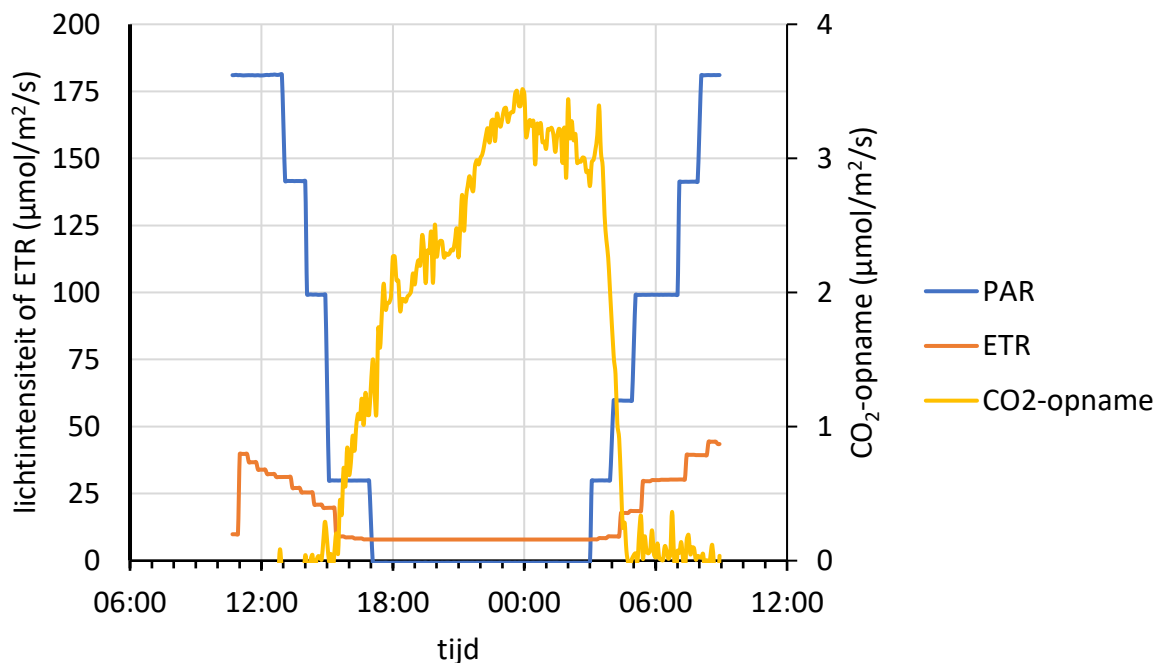
Figuur 2.7. Verloop van lichtintensiteit van LED en kunstzonlicht over de dag.

Het verloop van fotosynthese en chlorofyl-fluorescentie over de dag is gemeten in beide temperatuurbehandelingen (Fig. 2.8) met geavanceerde fotosynthese-meetapparatuur (Li-6400/6800 van LI-COR). Het profiel van lichtintensiteit en CO₂-concentratie over de dag is precies nagebootst in de bladkamer van de fotosynthesemeter. In de middag rond 15:00 uur gaan de huidmondjes open en begint het blad CO₂ op te nemen. De hele donkerperiode blijft het blad dan CO₂ opnemen, waarmee een voorraad malaat wordt opgebouwd. Vanaf 03:00 uur wanneer het licht aangaat daalt de CO₂-opname van het blad tot bijna nul terwijl de lichtintensiteit (PAR) oploopt. De huidmondjes sluiten dan en opgeslagen malaat wordt benut voor fotosynthese. De elektronen-transportnelheid ETR neemt geleidelijk toe met PAR. Dit toont aan dat het licht wordt benut voor elektronentransport. In de loop van de middag is te zien dat ETR langzaam afneemt. Ook het rendement van fotosynthese neemt af in die periode (Fig. 2.10). Om die reden is het nuttig om licht te dimmen in de middag: meer licht zou niet goed benut worden door de plant. Dit patroon was vergelijkbaar tussen de twee temperatuurbehandelingen.

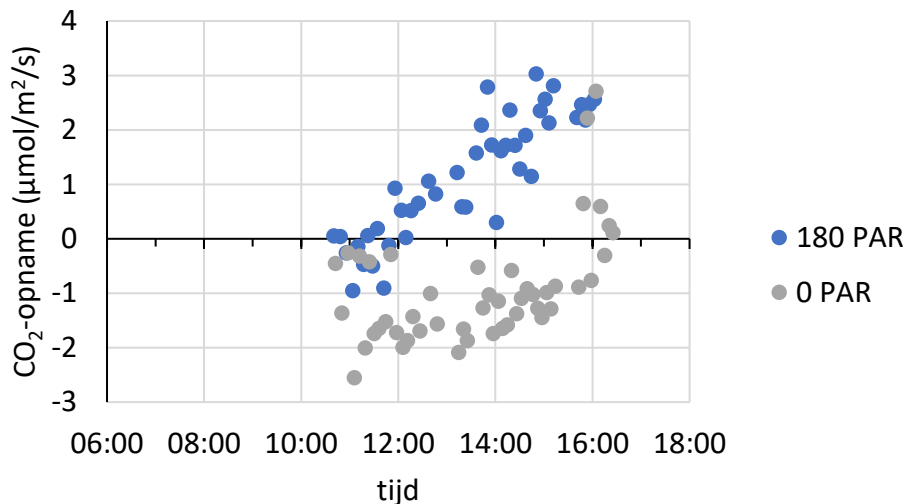
Verder zijn screenings uitgevoerd van CO₂-opname (Fig. 2.9) en het rendement van fotosynthese (ΦPSII; Fig. 2.10) bij de maximale lichtintensiteit 180 μmol/m²/s en in het donker. Dit is wederom uitgevoerd met geavanceerde fotosynthese-meetapparatuur (Li-6400 en Li-6800). Dit zijn kortdurende metingen van enkele minuten van vele bladeren van het ras Leeds. Er is gemeten op twee dagen bij beide temperatuurbehandelingen en twee verschillende lichtspectra (R-W-B en R-hW-B), die onderling geen verschillen vertoonden. Daarom is als

voorbeeld in Fig. 2.9 data getoond van de twee genoemde lichtspectra (afwisselend over de tijd) alleen in de hoge dagtemperatuur. Vanaf ongeveer 12:00 uur loopt de CO₂-opname op en die wordt steeds hoger tot ongeveer 16:00 uur. Tegelijkertijd neemt het rendement van fotosynthese steeds verder af. In werkelijkheid ontvangt het blad echter niet de hele tijd deze hoge lichtintensiteit in deze periode en daalt het rendement niet zo sterk. Vanaf ongeveer 16:00 start de lichtonafhankelijke CO₂-opname. Dit komt ook overeen met de 24-uurs metingen (Fig. 2.8). Het rendement van fotosynthese in het donker gemeten blijft over de hele periode constant hoog, wat aangeeft dat er geen schade aan het fotosynthese-apparaat is opgetreden. Deze patronen waren vergelijkbaar in beide temperatuurbehandelingen.

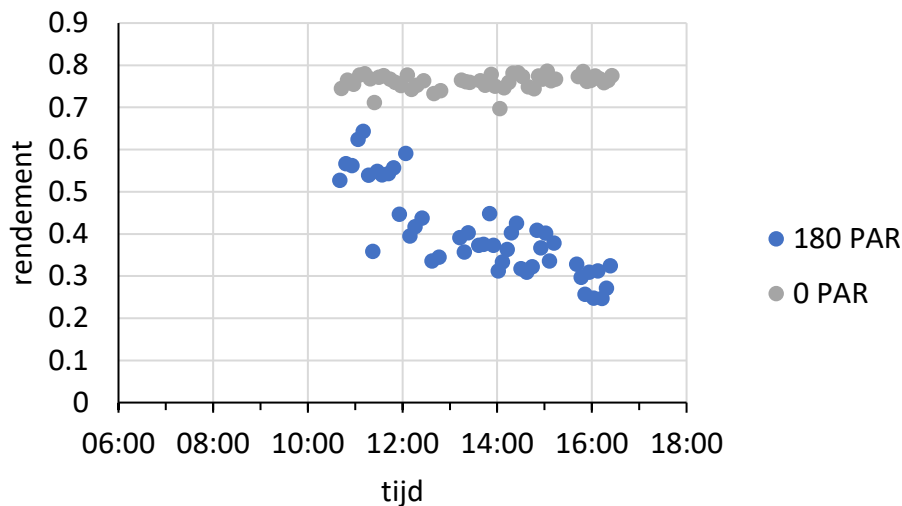
Deze metingen laten duidelijk de kenmerken van CAM-fotosynthese zien en geven aan dat er op de juiste manier belicht is door lichtintensiteit langzaam op te bouwen en 's middags te dimmen, zonder dat er een sterk verlaagd rendement optreedt.



Figuur 2.8. Typisch verloop over de dag van CO₂-opname en elektronen-transportnelheid (ETR) afhankelijk van lichtintensiteit (PAR).



Figuur 2.9. Screening van CO₂-opname gemeten bij maximale lichtintensiteit (180 PAR) of in het donker (0 PAR)



Figuur 2.10. Screening van rendement van fotosynthese (Φ_{PSII}) gemeten bij maximale lichtintensiteit (180 PAR) of in het donker (0 PAR).

2.1.3 Metingen

Regelmatig zijn voortakken geteld. Als criterium werd gebruikt een duidelijk zichtbare voortak van 5 cm of langer. Deze zijn steeds verwijderd onder het onderste oog en de planten zijn gemerkt en apart geoogst.

Er is een destructieve oogst uitgevoerd bij de start van de proef, het wijder zetten (14 weken na start) en aan het einde van de opkweek (25-28 weken na start). Planten die voortakken hadden gevormd en eventuele achterblijvende planten zijn zo veel mogelijk verwijderd bij het wijder zetten. De selectie was dus niet willekeurig, wat betekent dat de tussentijdse oogst minder betrouwbare data heeft opgeleverd dan de eindoogst. Het doel van plantselectie bij

wijder zetten was echter een zo'n gelijkmatig mogelijke partij over te houden voor de rest van de proef. De volgende metingen zijn uitgevoerd:

- Totaal aantal bladeren.
- Versgewicht en drooggewicht van scheut en wortels.

Bij de eind oogst zijn daarnaast ook deze metingen gedaan:

- Aantal nieuw afgesplitste bladeren.
- Lengte en breedte van het grootste blad.
- Versgewicht en drooggewicht van wortels die boven de pot uitgroeiden voor de rassen Cambridge en Miraflore.

Bij eind oogst zijn voor de destructieve metingen van vers- en drooggewicht steeds drie planten gegroepeerd. Het aantal herhalingen per meting wordt in de resultaten weergegeven.

2.2 Resultaten

2.2.1 Voortakken

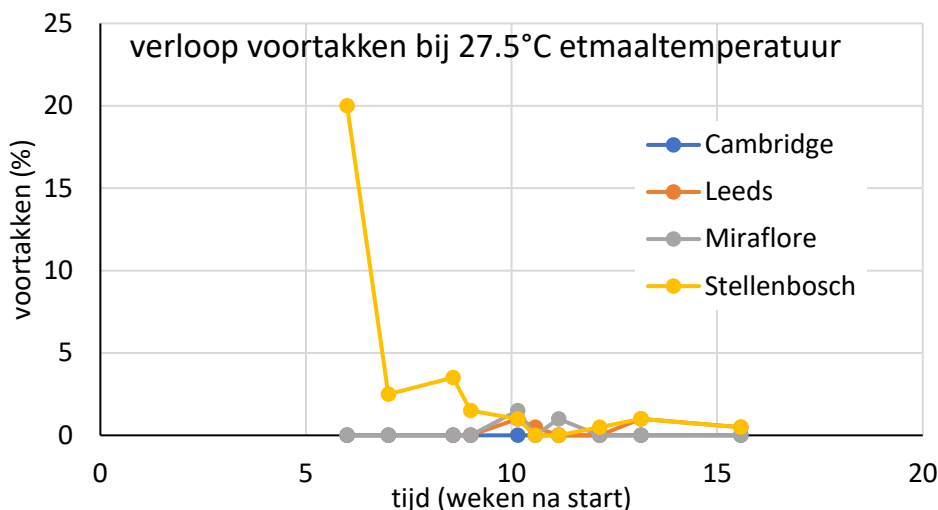
Er was een sterk effect van dagtemperatuur op het ontstaan van voortakken. Bij de lage dagtemperatuur van 27.5°C (etmaal 27.5°C) werden voortakken gevormd, tot wel bij 44% van de planten (Stellenbosch), maar bij de hoge dagtemperatuur van 30°C (etmaal 29°C) geen enkele voortak (Tabel 2.5). Het ras Stellenbosch had de meeste voortakken en Cambridge geen enkele. Met verrood in het spectrum leek het percentage voortakken wat hoger, hoewel het aantal planten per ras wat klein is om hier harde conclusies aan te kunnen verbinden.

Tabel 2.5. Totaal percentage planten met voortakken. Data zijn op basis van 50 planten per behandeling per ras. Behandeling is etmaaltemperatuur gevolgd door lichtspectrum.

Behandeling	Cambridge	Leeds	Miraflore	Stellenbosch
27.5 R-W-B	0	0	0	30
27.5 R-W-B+Vr	0	4	4	30
27.5 R-hW-B	0	2	2	20
27.5 R-hW-B+Vr	0	8	4	44
29 R-hW-B	0	0	0	0
29 R-hW-B+Vr	0	0	0	0
29 R-W-B	0	0	0	0
29 R-W-B+Vr	0	0	0	0

De meeste voortakken in Stellenbosch werden gevormd redelijk in het begin van de proef (Fig. 2.11). Op het moment van de eerste telling 6 weken na start waren de voortakken al redelijk lang. Mogelijk was de aanleg van die voortakken dus al geïnduceerd voor de start van de proef en speelde het voortraject hier een rol (voor oppotten, tijdens oppoten of transport). Echter, het daadwerkelijke uitgroeien van voortakken was duidelijk het gevolg van de lage temperatuurbehandeling, want de hogere dagtemperatuur gaf geen enkele voortak. Bovendien werden ook veel later in de proef voortakken gevormd alleen bij 27.5°C, wat niet gewijd kan worden aan het voortraject.

De dagtemperatuur van 27.5°C is dus een risico, omdat gevoelige rassen zoals Stellenbosch dan veel voortakken kunnen maken. Dit is onwenselijk. Hierbij moet ook opgemerkt worden dat in de klimaatcel geen sprake is van uitstraling naar een koel kasdek, dus in een kas zou een dagtemperatuur van 27.5°C nog risicovoller kunnen zijn. In een vervolgprouf is onderzocht of toch energie kan worden bespaard met een andere temperatuurstrategie, waarbij de vorming van voortakken wellicht onderdrukt kan worden (Hoofdstuk 3).



Figuur 2.11. Verloop van vorming van planten met voortakken over de tijd, gemiddeld over alle lichtspectra bij de lage etmaaltemperatuur van 27.5°C. Data zijn op basis van 50 planten per ras.

2.2.2 Planteigenschappen bij start en tussentijdse oogst

Bij de start van de proef zijn planten geoogst (Tabel 2.6). Op dit moment was het drooggewicht van de scheut zo'n 60% van het totale drooggewicht.

Tabel 2.6. Gegevens startoogst. Data zijn het gemiddelde van 10 planten per ras. Drooggewichten (DW) zijn in gram.

Ras	# blad	DW scheut	DW wortel	DW totaal	% scheut (DW basis)
Cambridge	4.6	1.06	0.72	1.8	60
Leeds	5.2	1.09	0.76	1.8	60
Miraflore	3.6	1.00	0.71	1.7	59
Stellenbosch	5.3	1.05	0.67	1.7	62

Veertien weken na start zijn planten wijder gezet en de overgebleven planten zijn gebruikt voor een destructieve oogst (Tabel 2.7). Waarbij nogmaals opgemerkt dat de dataset bij deze tussentijdse oogst minder zuiver is dan bij de eindoogst, vanwege selectie op planten zonder afwijkingen of voortakken voor de vervolgteelt na wijder zetten. Temperatuur of lichtspectrum had geen duidelijk effect op het aantal aanwezige bladeren of het totale drooggewicht. De scheut was nu ongeveer 45% van het totale drooggewicht, een vermindering ten opzichte van de start. Planten zijn tijdens de proef dus relatief meer wortel dan scheut gaan maken. Bij de hogere dagtemperatuur was er een kleine verschuiving naar relatief meer scheut en minder wortel ten opzichte van de lage temperatuur. Bij Stellenbosch bij lage temperatuur waren er veel planten met voortakken, die niet zijn meegenomen in de gemiddelde waarden. Overigens waren planten met voortakken gemiddeld zwaarder dan planten zonder voortakken, ondanks dat die planten assimilaten hebben moeten investeren in de tijdens de proef weggeknipte (en dus niet meegewogen) voortakken.

Tabel 2.7. Samenvatting van gegevens tussentijdse oogst na 14 weken. De data zijn gemiddeld over de vier lichtspectra, op basis van minimaal 48 herhalingen. Drooggewichten (DW) zijn in gram. Bij Stellenbosch bij lage temperatuur waren er veel planten met voortakken die niet zijn meegenomen in de analyse en waren er 19 herhalingen.

Ras	Etmaal-temperatuur	# blad	DW scheut	DW wortel	DW totaal	% scheut
Cambridge	27.5	5.4	1.6	2.3	3.9	42
	29	5.4	1.8	2.2	4.0	46
Leeds	27.5	6.2	2.6	3.4	6.0	44
	29	6.6	2.6	2.8	5.4	49
Miraflore	27.5	4.9	1.9	2.6	4.6	43
	29	5.1	2.0	2.4	4.5	46
Stellenbosch	27.5	5.2	1.6	1.9	3.5	46
	29	5.5	1.9	2.0	3.8	49

2.2.3 Planteigenschappen bij eindoogst

Bij eindoogst waren er bij hoge dagtemperatuur over het algemeen meer bladeren afgesplitst, het drooggewicht van de scheut en het totaal was hoger, en het percentage scheut lag ook iets hoger dan bij lage dagtemperatuur (Tabel 2.8). Het drooggewicht van de wortels bleef ongeveer gelijk tussen de twee temperaturen. Het percentage scheutgewicht lag gemiddeld weer rond de 45%, net als bij de tussentijdse oogst. Foto's van de planten bij eindoogst staan in Fig. 2.14-2.17 in de volgende paragraaf.

Het effect van dagtemperatuur was substantieel: er was gemiddeld een half blad meer en totaal drooggewicht nam met gemiddeld 9% toe bij de hoge temperatuur. Bij het ras Leeds waren de effecten wat sterker dan bij de andere rassen, wat ook op het oog opviel (Fig. 2.15). De effecten van lichtspectrum waren kleiner dan die van dagtemperatuur. Bladlengte was ook groter bij de hoge dagtemperatuur, maar breedte niet (Tabel 2.9).

Tabel 2.8. Samenvatting van gegevens eindoogst na 25 tot 28 weken. Drooggewichten (DW) zijn in gram. De data zijn gemiddeld over de vier lichtspectra, op basis van 33 herhalingen (# blad) en 11 herhalingen van steeds drie gegroepeerde planten (drooggewicht). Wortelgewicht inclusief dat van de bovengrondse wortels.

Ras	Etmaal-temperatuur	# blad	DW scheut	DW wortel	DW totaal	% scheut
Cambridge	27.5	6.4	3.4	4.8	8.2	42
	29	7.0	4.2	4.5	8.7	48
Leeds	27.5	7.5	4.6	6.3	10.9	42
	29	8.3	5.6	6.7	12.3	46
Miraflore	27.5	6.5	4.1	6.0	10.1	40
	29	6.6	4.8	6.0	10.8	45
Stellenbosch	27.5	7.4	3.9	4.8	8.7	45
	29	7.9	4.7	4.9	9.7	49

Tabel 2.9. Lengte en breedte (cm) van het grootste blad bij eindooft.

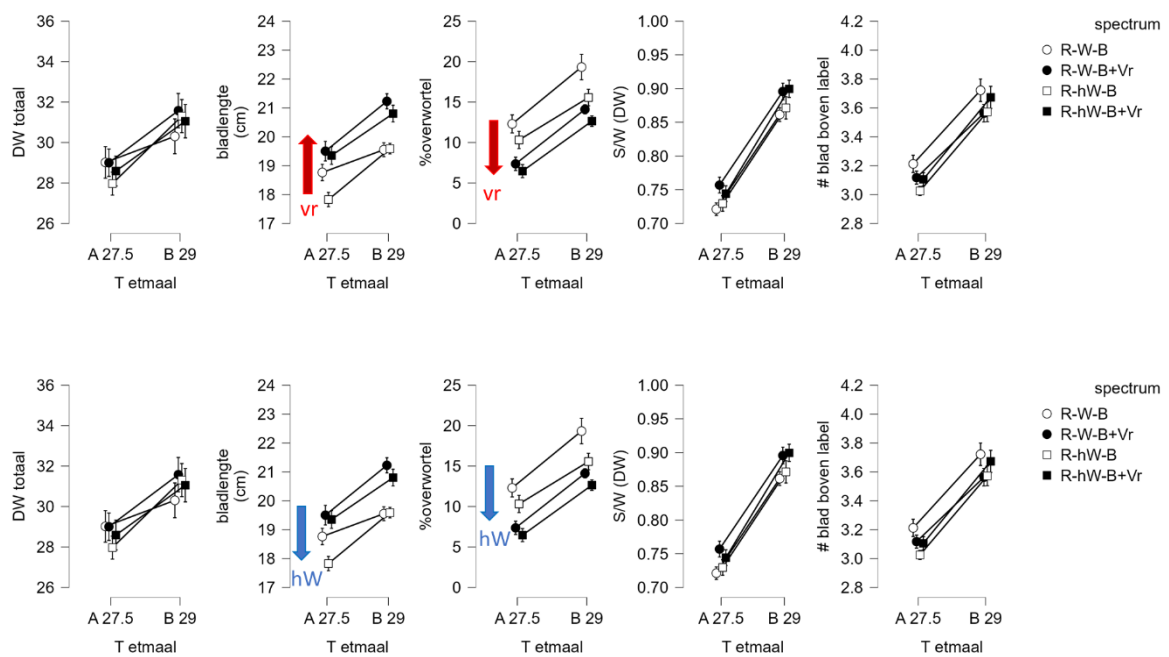
Ras	Etmaal-temperatuur	Bladlengte	Bladbreedte
Cambridge	27.5	19.8	8.8
	29	20.7	8.5
Leeds	27.5	20.5	7.8
	29	21.6	7.3
Miraflore	27.5	17.0	8.5
	29	19.7	8.9
Stellenbosch	27.5	18.1	9.3
	29	19.2	9.1

Bij de rassen Miraflore en Cambridge zijn apart de wortels geoogst die boven de pot uitgroeiden. Zulke overgroei is ongewenst. Bij de hoge dagtemperatuur was het percentage overgroei hoger. Met verrood in het spectrum werd de overgroei juist iets geremd (Tabel 2.11). Alle gegevens van de eindooft zijn weergegeven in Tabel 2.11.

Tabel 2.10. Overgroei van wortels als percentage drooggewicht van alle wortels.

Etmaaltemperatuur	Cambridge	Miraflore
27.5	12	6
29	18	12

Lichtspectrum had weinig effect op groei en ontwikkeling van de planten, minder dan dagtemperatuur. Met verrood werden bladeren iets langer dan zonder verrood; ook was de overgroei van wortels wat minder (Fig. 2.12; Tabel 2.11). Drooggewicht en bladafsplitsing waren vergelijkbaar in de verschillende lichtbehandelingen. Een opvallend effect was dat verrood in de belichting groener blad gaf. Dit trad vooral op in het ras Stellenbosch die van nature vrij rood blad heeft. In afwezigheid van verrood werd het blad nog donkerder rood (Fig. 2.13). Het vrij donkergroen gekleurde blad van Miraflore kreeg zonder verrood nog donkerder groen blad. Lichter gekleurd, groener blad is overigens een bekend effect van verrood licht op meerdere gewassen.



Figuur 2.12. Effecten van lichtspectrum op planteigenschappen bij eind oogst. *vr*, verrood; *hW*, hoog wit.



Figuur 2.13. Voorbeeld van het effect van 10% verrood in de belichting op roodkleuring van het blad in Stellenbosch 27.5 R-hW-B (zonder en met verrood).

Tabel 2.11. Overzicht van alle gegevens bij eindoogst. Lengte en breedte zijn in cm en drooggewichten zijn in gram. Lengte en breedte zijn gemiddeld van 10 planten, aantal bladeren zijn gemiddeld van 33 planten en gewichten zijn gemiddeld van 11 herhalingen van steeds drie gegroepeerde planten.

Ras	Etmaal-temperatuur	Spectrum	Blad-lengte	Blad-breedte	# blad totaal	# blad afgesplitst	DW scheut	DW wortel	DW totaal	% over-wortel	% scheut
Cambridge	27.5	R-W-B	20	8.9	6.4	2.8	3.3	4.7	8.0	16	42
		R-W-B+Vr	20	8.7	6.5	2.9	3.6	4.8	8.5	10	43
		R-hW-B	19	8.9	6.4	2.9	3.4	5.0	8.4	14	41
		R-hW-B+Vr	20	8.9	6.2	3.0	3.3	4.6	8.0	9	42
	29	R-W-B	19	8.4	6.9	3.4	3.9	4.3	8.2	26	47
		R-W-B+Vr	22	8.5	6.8	3.4	4.3	4.4	8.7	16	49
		R-hW-B	20	8.7	7.3	3.4	4.2	4.7	8.9	19	47
		R-hW-B+Vr	22	8.7	7.2	3.4	4.2	4.7	9.0	14	47
Leeds	27.5	R-W-B	20	7.8	7.8	3.1	4.9	6.8	11.7		42
		R-W-B+Vr	22	7.9	7.2	3.0	4.6	6.2	10.7		43
		R-hW-B	19	7.7	7.4	3.1	4.3	6.1	10.5		41
		R-hW-B+Vr	21	7.7	7.8	3.1	4.5	6.2	10.7		42
	29	R-W-B	21	7.3	8.4	3.9	5.5	6.8	12.3		45
		R-W-B+Vr	22	7.4	8.2	3.7	5.8	6.7	12.5		46
		R-hW-B	20	7.3	8.4	3.7	5.3	6.7	12.0		44
		R-hW-B+Vr	23	7.5	8.3	3.7	5.8	6.5	12.3		47
Miraflore	27.5	R-W-B	17	8.6	6.7	3.2	3.8	5.8	9.6	9	40
		R-W-B+Vr	17	8.3	6.7	3.3	4.4	6.4	10.9	5	41
		R-hW-B	16	8.4	6.3	3.0	4.0	5.9	9.9	7	41
		R-hW-B+Vr	17	8.6	6.3	3.1	4.1	6.0	10.0	4	41
	29	R-W-B	19	8.8	6.6	3.4	4.6	5.7	10.3	13	45
		R-W-B+Vr	21	8.9	6.5	3.6	5.0	6.1	11.1	13	45
		R-hW-B	19	9.2	6.8	3.4	4.9	6.2	11.2	13	44
		R-hW-B+Vr	20	8.8	6.5	3.6	4.7	5.8	10.6	12	45
Stellenbosch	27.5	R-W-B	18	9.4	7.7	3.6	4.1	5.3	9.4		44
		R-W-B+Vr	19	9.2	7.4	3.2	3.7	4.3	8.1		46
		R-hW-B	17	9.4	7.4	3.0	3.8	4.6	8.5		45
		R-hW-B+Vr	19	9.1	7.0	3.2	4.0	4.8	8.8		46
	29	R-W-B	18	8.8	8.2	4.0	4.6	5.0	9.6		48
		R-W-B+Vr	20	9.1	7.6	3.6	4.7	5.1	9.8		48
		R-hW-B	19	9.1	8.1	3.7	4.8	4.9	9.7		50
		R-hW-B+Vr	20	9.4	7.6	4.0	4.7	4.8	9.5		50

2.2.4 Foto's eind oogst

Cambridge



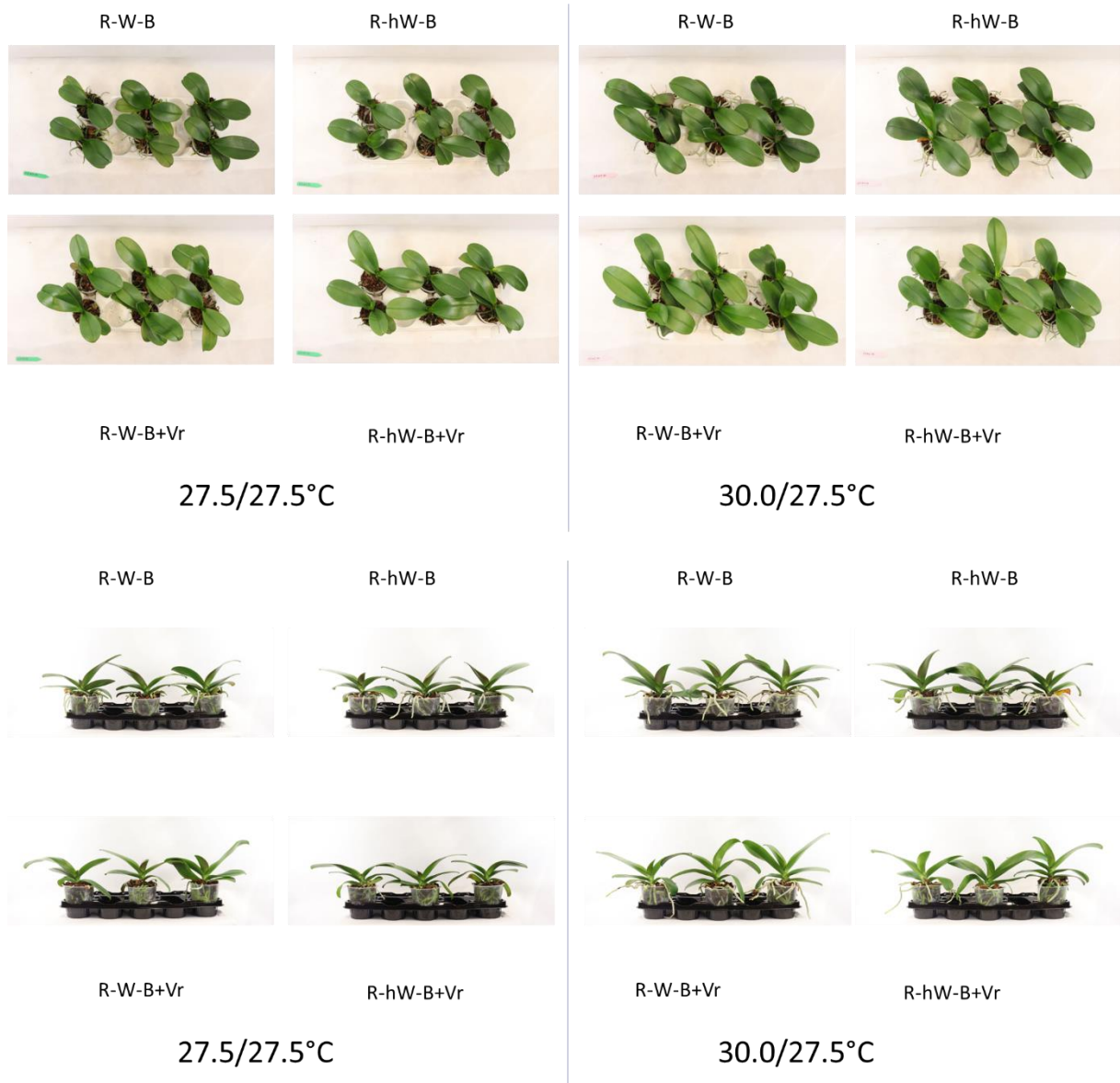
Figuur 2.14. Bovenaanzicht en vooraanzicht van planten van het ras Cambridge bij eind oogst in de verschillende behandelingen.

Leeds



Figuur 2.15. Bovenaanzicht en vooraanzicht van planten van het ras Leeds bij eindooft in de verschillende behandelingen.

Miraflore



Figuur 2.16. Bovenaanzicht en vooraanzicht van planten van het ras Miraflore bij eindogst in de verschillende behandelingen.

Stellenbosch



Figuur 2.17. Bovenaanzicht en vooraanzicht van planten van het ras Stellenbosch bij eindooft in de verschillende behandelingen.

2.3 Discussie en conclusies proef lichtspectrum x temperatuur

Over het algemeen waren de effecten van de temperatuurbehandelingen op groei groter dan die van de getoetste lichtspectra. Totaal drooggewicht was gemiddeld 9% lager bij de dagtemperatuur van 27.5°C ten opzichte van 30°C. Ook was de bladafsplitsing ± 0.5 blad minder en waren bladeren iets korter. Het is de vraag of een dagtemperatuur van 27.5°C meer energie bespaart dan een aantal weken kortere teelt voor eenzelfde plantontwikkeling bij 30°C overdag. Het grote nadeel van de lage dagtemperatuur was verder de vorming van een groot aantal voortakken. Daarmee is deze behandeling niet aan te raden, althans voor gevoelige rassen. Overigens toont deze proef aan dat er geen enkele voortak werd gevormd in deze vier rassen bij een temperatuur van 30/27.5°C D/N. Dat biedt op zich een mogelijkheid om te besparen op stookkosten wanneer telers uit voorzorg een hogere nachttemperatuur dan 27.5°C aanhouden. Hierbij geldt wel dat overal in de kas deze temperatuur gehaald moet worden, ook in koude hoeken of randen van de tafel. Bovendien is er in een kas uitstraling naar het koelere kasdek en dat speelt niet in de klimaatcel. Dus klimaatgelijkheid en het monitoren van planttemperatuur in de kas zijn praktische aandachtspunten.

Er zijn aanwijzingen dat de dagtemperatuur bepalend is voor de vorming van voortakken (Blanchard and Runkle, 2006). Bij voldoende hoge dagtemperatuur (29°C) kon de nachttemperatuur zelfs zakken tot 17°C zonder voortijdige bloei in twee rassen. Mogelijk speelt ook de lichtintensiteit een rol: in de praktijk is bekend dat bij lagere intensiteit ook minder voortakken worden gevormd. In dit onderzoek (hoofdstuk 2) was de lichtsom met 5.9 mol/m²/dag relatief hoog voor de opkweekfase. De volgende proef (Hoofdstuk 3) is gericht op temperatuur-strategieën in de opkweek waarbij zo min mogelijk voortakken worden gevormd.

Lichtspectrum had weinig effect op groei en ontwikkeling van de planten, minder dan dagtemperatuur. Het meest opvallende effect was dat verrood in de belichting groener blad gaf. Dit trad vooral op bij Stellenbosch die van nature vrij rood blad heeft. In afwezigheid van verrood werd het blad nog donkerder rood (Fig. 2.13). Miraflore heeft vrij donkergroen blad en werd zonder verrood nog donkerder groen. Een ander gunstig effect van verrood was dat er minder overgroei van wortels was. Bladeren werden iets langer met verrood. Verrood licht toevoegen aan de PAR-belichting vergt extra investering en elektrakosten, en draagt minder bij aan fotosynthese dan PAR-licht. Het is aan de tuinder of deze effecten op de planten dus zo'n investering waard zijn.

In deze proef werd nauwelijks effect gevonden van hoog wit in de belichting. Witte LED's zijn minder efficiënt dan rode LED's en een spectrum met hoog wit verhoogt dus het elektraverbruik. Op grond van de resultaten uit deze proef is er geen aanwijzing dat hoog wit gunstig is voor plantkwaliteit in de opkweek.

Deze proef toont voor de getoetste rassen aan dat er onder winterse omstandigheden met full LED met het basisspectrum zonder verrood (R89%-G5%-B6%) een goede plant op te kweken is. Dit spectrum en dezelfde lichtintensiteiten zijn ook gebruikt voor de vervolgprouf.

3 Proef temperatuur en voortakken

De vraag die in deze proef werd onderzocht is: wat is het effect van temperatuur tijdens verschillende periodes over de dag op het ontstaan van voortakken in de opkweek van Phalaenopsis? In de vorige proef is gevonden dat een dagtemperatuur van 27.5°C kan leiden tot veel voortakken in gevoelige rassen. Kan er toch bespaard worden op stookkosten door op andere momenten de temperatuur te verlagen, zonder dat voortakken worden gevormd?

3.1 Materiaal en methoden

De proef is deels op dezelfde wijze uitgevoerd als de vorige proef (Hoofdstuk 2.1). Er is gestart met planten van 13 weken oud. Deze waren gekweekt in een proefkas in het Delphy Improvement Centre als onderdeel van dit project (zie Bongers *et al.*, 2023). De planten zijn in de middag geraapt en 's avonds verwarmd vervoerd om eventuele malaatschade of inductie van voortakken te voorkomen. Planten van vier rassen zijn 14 weken lang verder opgekweekt. Omdat het ras Cambridge geen voortakken gaf bij de lage dagtemperatuur in de vorige proef is dat ras vervangen door Freeride, die meer gevoelig is. Het onderzoek is uitgevoerd in een klimaatcel met acht klimaatcabines van 1.2 m² netto oppervlak. Er is één lichtspectrum gebruikt, het basisspectrum (R89%-G5%-B6%) uit de vorige proef. In alle behandelingen was een achtergrond van winterzonlicht. Er waren steeds twee cabines met dezelfde behandelingen, waarover in totaal de vier rassen waren verdeeld (twee rassen per cabine).

De setpoints van deze proef staan in Tabel 3.1 en de tijdlijn in Tabel 3.2. De behandelingen staan in Tabel 3.3. Klimaat wordt beschreven in Hoofdstuk 3.1.1, belichting in Hoofdstuk 3.1.2 en metingen in Hoofdstuk 3.1.3. De proef is gestart op 1 mei 2023.

Tabel 3.1. Setpoints van de proef.

Parameter	Waarde
Plantmateriaal	Planten 13 weken oud van rassen Leeds, Freeride, Stellenbosch, Miraflore
Temperatuur	30/28°C D/N bij start en na 1 week zie behandelingen (Tabel 3.3)
Luchtvochtigheid	65/70% D/N
CO ₂	800 ppm van 12:00-04:00 (9 uur na start belichting tot 1 uur einde nacht)
Plantdichtheid	58 planten/m ² met potten van 12 cm diameter.
Watergift	Bovenlangs iedere 5 dagen met voedingswater EC 1.3 pH 5.8 (samenstelling in Bijlage Tabel B1)

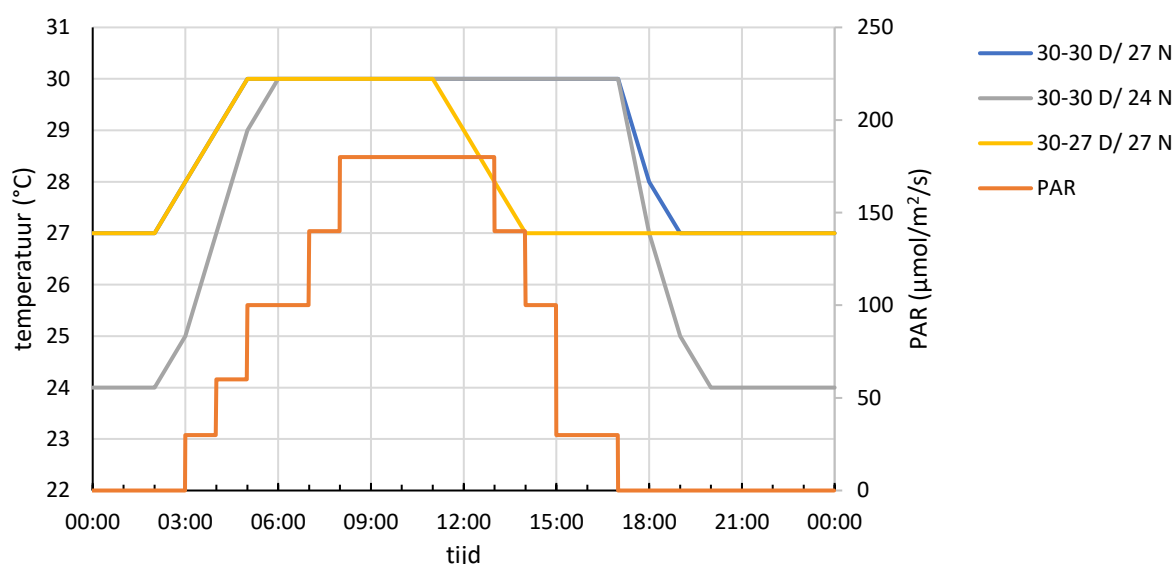
Tabel 3.2. Tijdlijn van de proef.

Weken na start	Gebeurtenis
0	Start proef met warme temperatuur 30/28°C D/N en gedimd licht ter acclimatie. Na 4 dagen voluit belicht. Start 1 mei 2023.
1	Start temperatuurbehandelingen
6	Eerste voortakken geteld en verwijderd
14	Eindmetingen per ras en einde proef

Tabel 3.3. Behandelingen met resulterende etmaaltemperatuur. De code geeft aan de temperatuur (in °C) in de eerste en tweede helft van de dag (D) gevolgd door temperatuur in de nacht (N).

Behandeling	Etmaaltemperatuur
30-30 D/ 27 N	28.8
27-27 D/ 27 N	27.0
30-30 D/ 24 N	27.5
30-27 D/ 27 N	28.1

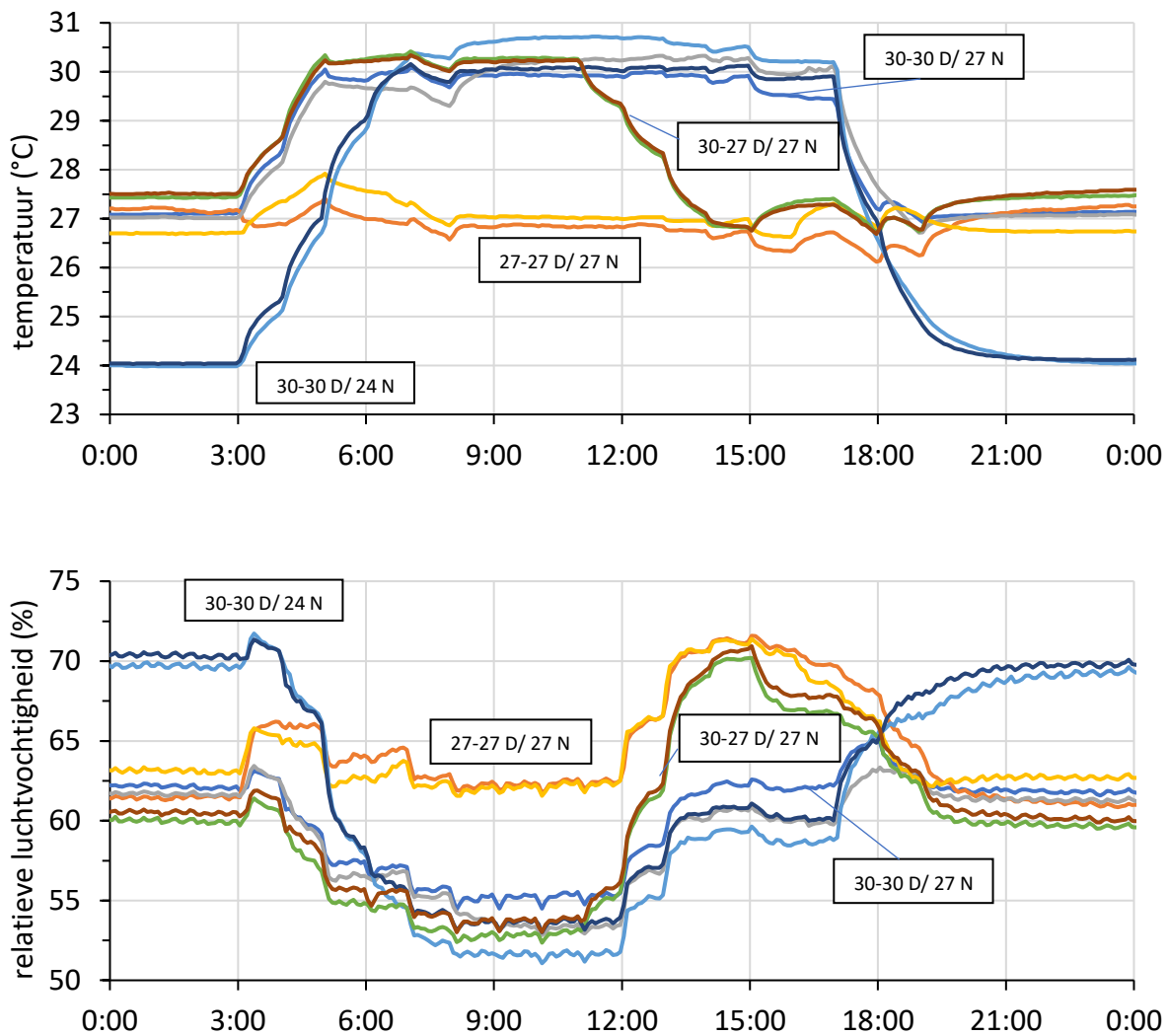
De positieve controle is 30-30 D/ 27 N waarin geen voortakken worden verwacht. De negatieve controle is 27-27 D/ 27 N waarin maximaal voortakken worden verwacht, deze behandeling is nog een halve graad koeler dan in de vorige proef. Vervolgens is getoetst wat er gebeurt bij een warme dag maar een koudere nacht in 30-30 D/ 24 N. Als laatste in 30-27 D/ 27 N wordt in de tweede helft van de dag de temperatuur al verlaagd naar 27°C. In de winter bij afnemend zonlicht kost het meer energie om in de namiddag een hoge temperatuur aan te houden. Dan is het dus gunstig als de temperatuur al kan zakken, mits dit niet tot voortakken leidt. Het verloop over de dag van de ingestelde temperaturen is weergegeven in Fig. 3.1.



Figuur 3.1. Verloop over de dag van ingestelde temperatuur in de verschillende behandelingen, met de totale lichtintensiteit (PAR). Voor helderheid is de behandeling met continu 27°C niet weergegeven. De code geeft aan de temperatuur in de eerste en tweede helft van de dag (D) gevolgd door temperatuur in de nacht (N).

3.1.1 Klimaat

De temperatuurinstellingen volgens Tabel 3.1-3.3 zijn in de proef gerealiseerd. Het typische verloop van temperatuur en van relatieve luchtvochtigheid over de dag is te zien in Fig. 3.2. Gevolg van de hogere temperatuur ten opzichte van continu 27°C binnen dezelfde klimaatcel was wel een lagere relatieve luchtvochtigheid, vooral tussen 6 en 12 u 's ochtends.

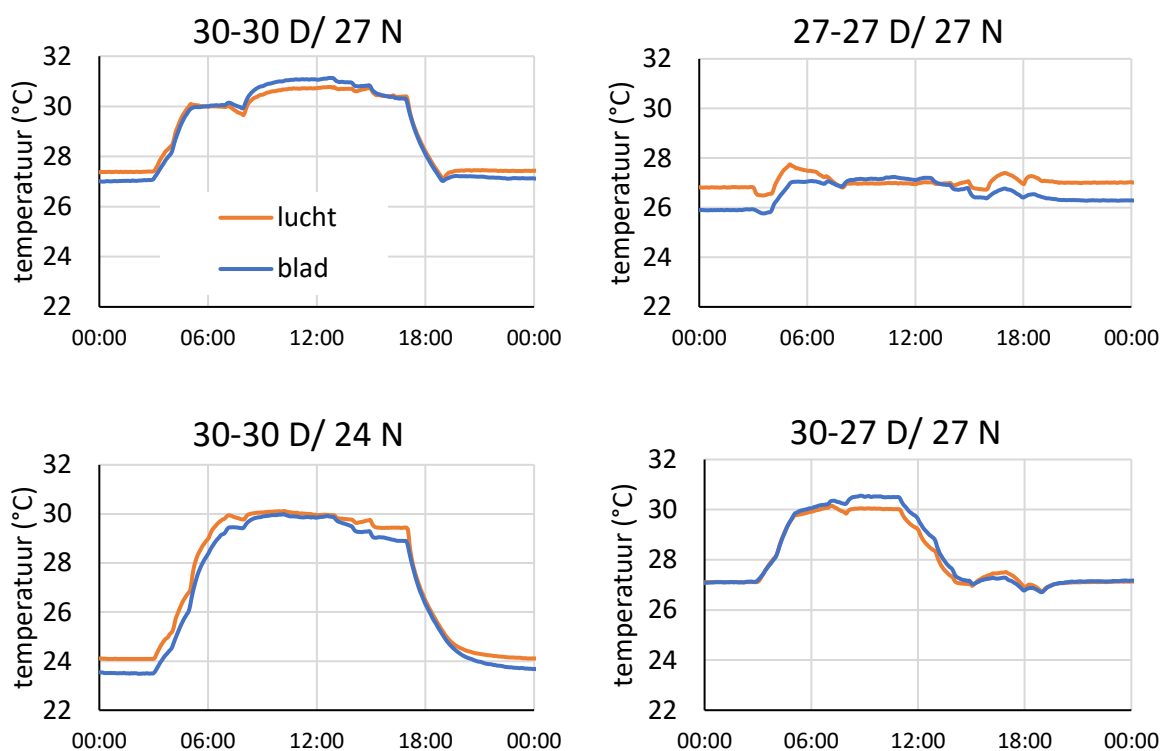


Figuur 3.2. Typisch verloop van temperatuur en relatieve luchtvochtigheid over de dag in de behandelingen. Iedere lijn is één van de acht cabines in de klimaatcel. Er zijn steeds twee cabines met hetzelfde temperatuurprofiel. Vergelijk met instellingen in Fig. 3.1.

De bladtemperatuur is over twee etmalen gemeten in één van de cabines in iedere temperatuurbehandeling. Dit betreft dus een momentopname. De bladtemperatuur was midden op de dag, wanneer de instraling door de belichting het sterkst is, vergelijkbaar met de luchttemperatuur of iets hoger, terwijl 's nachts de bladtemperatuur iets lager lag dan de luchttemperatuur (Fig. 3.3). De gemiddelde etmaaltemperatuur van het blad was vergelijkbaar met die van de lucht (Tabel 3.4).

Tabel 3.4. Etmaaltemperatuur van blad en lucht in de behandelingen. Data zijn gemiddelden van 5 bladeren en betreffen een momentopname van een representatieve dag.

Behandeling	Blad	Lucht
30-30 D/ 27 N	29.1	28.7
27-27 D/ 27 N	26.6	26.5
30-30 D/ 24 N	26.9	27.1
30-27 D/ 27 N	28.3	28.0



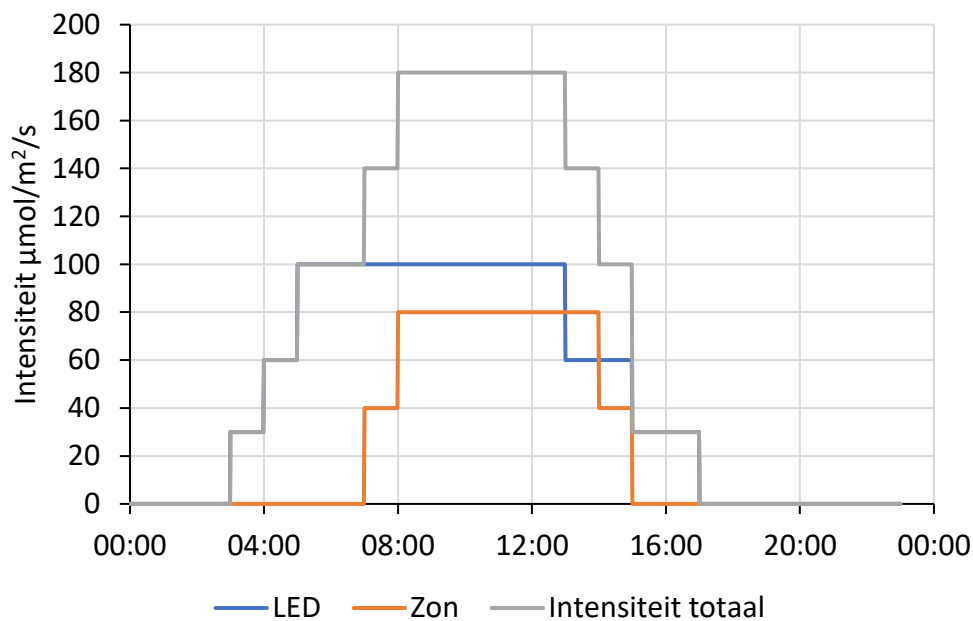
Figuur 3.3. Bladtemperatuur en luchttemperatuur in de behandelingen. De bladtemperatuur is het gemiddelde van vijf bladeren.

3.1.2 Belichting

Er is belicht met het R-W-B spectrum uit de voorgaande proef. Het spectrum van de LED-belichting is te zien in Fig. 2.5 en de spectrale verdeling was R89%-G5%-B6%, zie ook Tabel 2.4 in Hoofdstuk 2.1.2. Er was een achtergrond winterzonlicht door gebruik te maken van zonlichtsimulatoren (Specialty Lighting Holland). Het verloop van lichtintensiteit staat in Fig. 3.4 en was ook gelijk aan de voorgaande proef.

De lichtperiode was 14 uur. Omdat de planten uit de kas gehaald zijn waar ze een natuurlijke lichtperiode hadden tot ongeveer 20:30 uur 's avonds, is in eerste instantie ook deze lichtperiode in de klimaatcel aangehouden. Over een periode van drie weken is geleidelijk de lichtperiode verschoven tot een eindtijd van 17:00 uur, wat praktisch beter werkbaar is. Dit om een abrupte overgang te voorkomen die mogelijk malaatschade had kunnen veroorzaken.

Er werd belicht met maximaal 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ LED met een lichtsom van 3.9 $\text{mol}/\text{m}^2/\text{d}$. Kunstzonlicht had een maximum intensiteit van 80 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ met een lichtsom van 2.0 $\text{mol}/\text{m}^2/\text{d}$, waarmee een typische winterdag werd nagebootst. De totale lichtsom kwam hiermee op 5.9 $\text{mol}/\text{m}^2/\text{d}$, waarvan 5.5 $\text{mol}/\text{m}^2/\text{d}$ tijdens CAM fase III.



Figuur 3.4. Verloop van lichtintensiteit van LED en kunstzonlicht over de dag.

3.1.3 Metingen

Regelmatig zijn voortakken geteld. Deze zijn steeds verwijderd onder het onderste oog en de planten zijn gemerkt en apart geoogst.

Er is een destructieve oogst uitgevoerd aan het eind van de proef. De volgende metingen zijn uitgevoerd:

- Totaal aantal bladeren.
- Versgewicht en drooggewicht van scheut en wortels.
- Lengte en breedte van het grootste blad.
- Versgewicht en drooggewicht van wortels die boven de pot uitgroeiden voor het ras Miraflore.

Bij eind oogst zijn voor de destructieve metingen steeds drie planten gegroepeerd. Het aantal herhalingen per meting wordt in de resultaten weergegeven.

3.2 Resultaten

3.2.1 Voortakken

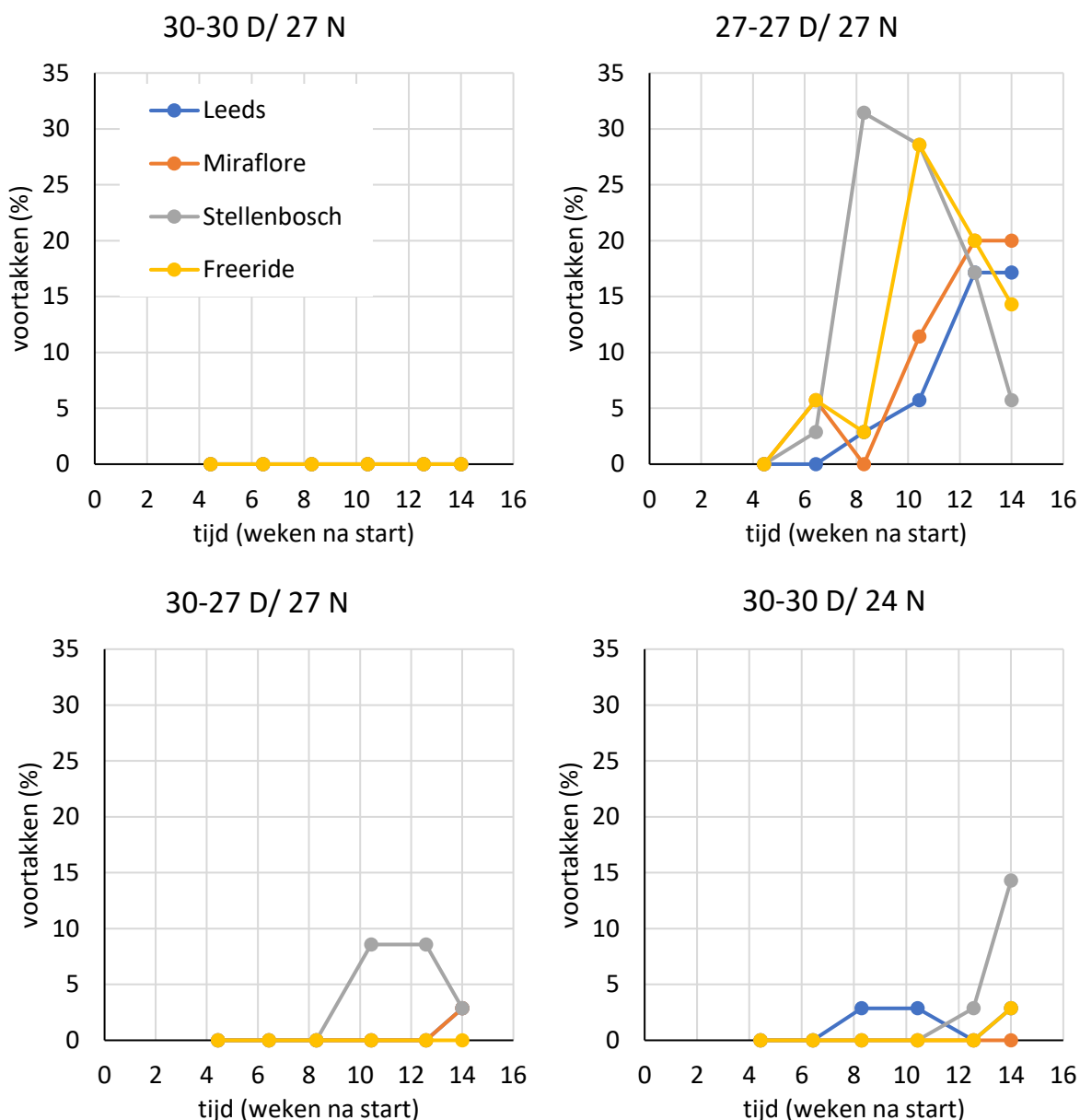
Zoals verwacht waren er geen voortakken in de warme controle 30-30 D/ 27 N en een groot aantal voortakken in de koude behandeling 27-27 D/ 27 N (Tabel 3.5). Die laatste was nog een halve graad koeler dan in de vorige proef. Dat geldt overigens ook voor de nachttemperatuur van de warme controle. Ook waren de planten in deze proef ouder, 13 weken na oppotten in vergelijking met 0 weken, wat de gevoeligheid voor de vorming van voortakken verhoogt. Vooral bij Stellenbosch waren er veel meer voortakken bij de lage temperatuur, in wel 86% van de planten.

Tabel 3.5. Percentage planten met voortakken. Behandelingen zijn gesorteerd op toenemende etmaaltemperatuur.

Behandeling	T Etmaal	Voortakken (% van planten)			
		Leeds	Miraflore	Stellenbosch	Freeride
27-27 D/ 27 N	27	43	57	86	71
30-30 D/ 24 N	27.5	9	0	17	3
30-27 D/ 27 N	28.1	3	3	20	0
30-30 D/ 27 N	28.8	0	0	0	0

Wanneer in de tweede helft van de dag de temperatuur werd verlaagd naar 27°C (30-27 D/ 27 N) werden er ook voortakken gevormd, zij het een veel lager percentage. Ook bij de lage nachttemperatuur van 24°C in 30-30 D/ 24 N werden voortakken gevormd, tot 17% bij Stellenbosch. Deze temperatuurbehandelingen bieden dus wel kansen tot besparing op stookkosten, maar hebben nog steeds een risico dat in gevoelige rassen voortakken worden gevormd. Leeds en Miraflore hadden maar 3% (1 plant op de 35) voortakken en Freeride geen één in 30-27 D/ 27 N, dus met de juiste raskeuze zou dit een werkbaar temperatuursregime kunnen zijn.

De grootste piek in voortakken kwam 8 tot 10 weken na de start van de proef in 27-27 D/ 27 N (Fig. 3.5). Dit geeft aan dat de vorming van voortakken duidelijk werd bepaald door de condities tijdens de proef en niet door voorafgaande condities zoals transport.



Figuur 3.5. Verloop van vorming van voortakken over de tijd in de behandelingen (percentage van alle planten voor ieder van de zes scoringsmomenten).

3.2.2 Eindoogst

Bij eindoogst 14 weken na start van de proef waren er kleine verschillen tussen de behandelingen (Tabel 3.6). In deze proef was er weer een verschuiving in drooggewicht van de scheut naar de wortels zichtbaar in de koele temperatuur (27° continu), maar dit was wat minder dan in de vorige proef. Dat kan mogelijk verklaard worden door de kortere proefduur. Verder viel op dat het hoogste totale drooggewicht werd behaald in 30-30 D/ 24 N, ondanks dat deze behandeling niet de hoogste etmaaltemperatuur had. Dat duidt op een mogelijk gunstig effect van een groter verschil in dag- en nachttemperatuur op groei. Ook een effect

van de iets hogere RV in de nacht (Fig. 3.2) valt niet uit te sluiten. Bij de laagste etmaaltemperatuur is het laagste aantal bladeren en laagste scheutgewicht gemeten. Foto's van de planten bij eind oogst staan in Fig. 3.6-3.9 in de volgende paragraaf.

Tabel 3.6. Samenvatting gegevens eind oogst. De data zijn gemiddeld over de vier rassen. Drooggewichten (DW) zijn in gram. De data zijn gemiddeld over de vier rassen, op basis van 33 herhalingen per ras (# blad) en 11 herhalingen van steeds drie gegroepeerde planten per ras (drooggewicht).

Behandeling	T Etmaal	# blad	DW Scheut	DW wortel	DW totaal	% scheut
27-27 D/ 27 N	27.0	6.7	3.6	5.4	9.0	40
30-30 D/ 24 N	27.5	7.0	4.0	5.5	9.5	42
30-27 D/ 27 N	28.1	7.2	3.8	5.3	9.1	42
30-30 D/ 27 N	28.8	7.1	3.9	5.1	9.0	43

Een overzicht van alle gegevens van de eind oogst staat in Tabel 3.7. Bladlengte was in alle rassen korter in 27-27 D/ 27 N dan in 30-30 D/ 27 N.

Tabel 3.7. Overzicht van alle gegevens eind oogst. Lengte en breedte zijn in cm en drooggewichten (DW) zijn in gram. Lengte en breedte zijn gemiddeldes van 12 planten, aantal bladeren zijn gemiddeld van 33 planten en gewichten zijn gemiddeld van 11 herhalingen van steeds drie gegroepeerde planten.

Ras	Behandeling	Bladlengte	Bladbreedte	# blad totaal	DW scheut	DW wortel	DW totaal	% over-wortel	% scheut
Leeds	30-30 D/ 27 N	20.1	7.0	7.5	4.2	5.7	9.9		42
	27-27 D/ 27 N	18.5	7.3	7.5	4.1	6.2	10.3		40
	30-30 D/ 24 N	21.5	7.7	7.4	4.4	6.2	10.6		42
	30-27 D/ 27 N	19.3	7.3	7.7	4.2	6.1	10.4		41
Miraflore	30-30 D/ 27 N	17.1	8.1	6.4	3.4	5.1	8.6	17	40
	27-27 D/ 27 N	14.7	8.2	6.0	3.1	5.5	8.6	8	36
	30-30 D/ 24 N	16.1	8.7	6.4	3.5	5.7	9.2	9	38
	30-27 D/ 27 N	17.5	8.4	6.8	3.5	5.5	8.9	12	39
Stellenbosch	30-30 D/ 27 N	19.5	8.8	7.9	4.3	4.9	9.2		47
	27-27 D/ 27 N	16.5	8.0	7.4	3.6	5.1	8.7		42
	30-30 D/ 24 N	19.7	9.1	7.8	4.2	5.2	9.4		45
	30-27 D/ 27 N	18.5	8.9	7.7	4.1	4.9	9.0		46
Freeride	30-30 D/ 27 N	19.0	8.3	6.6	3.7	4.6	8.4		45
	27-27 D/ 27 N	17.6	8.1	6.1	3.5	5.0	8.5		41
	30-30 D/ 24 N	19.6	8.6	6.3	3.7	5.0	8.7		43
	30-27 D/ 27 N	18.1	8.3	6.6	3.4	4.7	8.1		42

3.2.3 Foto's eind oogst

Leeds



Figuur 3.6. Bovenaanzicht en vooraanzicht van planten van het ras Leeds bij eind oogst in de verschillende behandelingen.

Miraflore



Figuur 3.7. Bovenaanzicht en vooraanzicht van planten van het ras Miraflore bij eind oogst in de verschillende behandelingen.

Stellenbosch



Figuur 3.8. Bovenaanzicht en vooraanzicht van planten van het ras Stellenbosch bij eind oogst in de verschillende behandelingen.

Freeride



Figuur 3.9. Bovenaanzicht en vooraanzicht van planten van het ras Freeride bij eind oogst in de verschillende behandelingen.

3.3 Discussie en conclusies proef temperatuur en voortakken

De vraag die in deze proef werd onderzocht is: wat is het effect van temperatuur tijdens verschillende periodes over de dag op het ontstaan van voortakken in de opkweek van Phalaenopsis? Er was een duidelijke bevestiging dat er geen voortakken worden gevormd in deze vier rassen bij 30/27°C D/N, terwijl er veel voortakken worden gevormd bij 27/27°C D/N. Dit bevestigt de bevindingen uit de vorige proef. Het geeft nogmaals aan dat de nachttemperatuur dus kan zakken naar 27°C (vorige proef 27.5°C) zolang de dagtemperatuur hoog genoeg is, in dit geval 30°C.

Wanneer in de tweede helft van de dag de temperatuur al werd verlaagd naar 27°C (30-27 D/ 27 N) werden er ook voortakken gevormd, zij het een veel lager percentage dan bij continu 27°C (27/27°C D/N). Ook bij de lage nachttemperatuur van 24°C in 30-30 D/ 24 N werden voortakken gevormd, tot 17% bij Stellenbosch. Deze temperatuurbehandelingen bieden dus wel kansen tot besparing op stookkosten, maar hebben nog steeds een risico dat in gevoelige rassen voortakken worden gevormd. Leeds en Miraflore hadden maar 3% (1 plant op de 35) voortakken en Freeride geen één in 30-27 D/ 27 N, dus met de juiste raskeuze zou dit een werkbaar temperatuursregime kunnen zijn. Mogelijk biedt een lagere namiddag- of nachttemperatuur in combinatie met een lagere lichtsom in de opkweek perspectief om zonder voortakken op warmte te kunnen besparen. In de praktijk leeft de gedachte dat bij een lagere lichtsom minder snel voortakken ontstaan. De effecten van een lagere lichtsom op groei en ontwikkeling in de opkweek worden in 2023-2024 onderzocht door Plant Lighting.

De eindoogst liet zien dat er geen nadeel kleefte aan lagere temperatuur op een deel van de dag of een nachttemperatuur van 24°C voor wat betreft groei. Het totale drooggewicht was vergelijkbaar met of zelfs wat hoger dan de positieve controle 30/27°C D/N. Ook bladlengte of totaal aantal bladeren werd niet nadelig beïnvloed. Bij 27/27°C D/N waren het aantal bladeren per plant en het scheutgewicht wel lager en waren de bladeren minder lang.

Samenvattend kunnen we uit deze twee proeven de volgende conclusies trekken:

- Totaal drooggewicht was gemiddeld 9% lager bij de dagtemperatuur van 27.5°C ten opzichte van 30°C. Ook was de bladafsplitsing ± 0.5 blad minder en waren bladeren iets korter. Het is de vraag of een dagtemperatuur van 27.5°C meer energie bespaart dan een aantal weken kortere teelt voor eenzelfde plantontwikkeling bij 30°C overdag. Het grote nadeel van de lage dagtemperatuur was verder de vorming van een groot aantal voortakken.
- LED-belichting met een basisspectrum (R89%-G5%-B6%) voldoet om een goede Phalaenopsis op te kweken (in ieder geval voor de getoetste rassen).
- Hoog wit in het spectrum biedt geen duidelijk voordeel en wordt niet aangeraden.
- Verrood in het spectrum heeft als voordeel dat het blad groener oogt van rassen die meer roodgekleurd blad hebben en het vermindert de overgroei van wortels. Bladeren worden iets langer. Of de toevoeging van verrood aan de PAR-belichting

voldoende voordeel biedt om de extra kosten voor investering en elektra te rechtvaardigen, is aan de telers zelf om te beoordelen.

- Bij een dagtemperatuur van 30°C kan de nachttemperatuur naar 27°C zonder voortakken te induceren, maar bij 24°C bestaat het risico op voortakken in gevoelige rassen. In een kas met uitstraling en ongelijker klimaat dan in de gebruikte onderzoeks-klimaatcel kunnen veilige grenzen anders liggen.
- Wanneer in de tweede helft van de dag de temperatuur al wordt verlaagd naar 27°C, nog tijdens de lichtperiode, is de vorming van voortakken beperkt in drie van de vier getoetste rassen.

Referenties

- Blanchard MG, Runkle ES.** 2006. Temperature during the day, but not during the night, controls flowering of *Phalaenopsis* orchids. *J Exp Bot* **57**: 4043–4049.
- Bongers MW, Hogewoning SW, Helmus-Schuddebeurs L, van Beveren PJM.** 2023. *Phalaenopsis* duurzaam geteeld II. Deelrapport II: demonstratie energiezuinige opkweekfase in de kas. Plant Lighting B.V., Bunnik. 67p.
- Hogewoning SW, Bongers MW, Trouwborst G, Helmus-Schuddebeurs L, Van Beveren PJM.** 2022. *Phalaenopsis* duurzaam geteeld. Plant Lighting B.V., Bunnik. 89p.
- 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.

4 Bijlage

Tabel B1. Samenstelling voedingswater.

Concentratie												
mmol/l							μmol/l					
NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe	Mn	Zn	B	Cu	Mo
7.1	1.4	1.05	1.8	3.6	1.35	1.25	34	6	7	17	2.2	1.9