

Minder belichten Phalaenopsis zonder productieverlies III

Maximale daglichtbenutting voor minimale belichting Phalaenopsis



Oktober 2017

Govert Trouwborst, Sander Hogewoning en Reinder van der Spek

Minder belichten Phalaenopsis zonder productieverlies III

Maximale daglichtbenutting voor minimale belichting Phalaenopsis

Oktober 2017

G. Trouwborst, S.W. Hogewoning en R. van der Spek

Plant Lighting B.V.
Veilingweg 46
3981 PC Bunnik

info@plantlighting.nl
www.plantlighting.nl

REFERAAT

G. Trouwborst, S.W. Hogewoning en R. van der Spek. 2017. Minder belichten Phalaenopsis zonder productieverlies III: Maximale daglichtbenutting voor minimale belichting Phalaenopsis. Plant Lighting B.V., Bunnik. 52p.

Projectnummer: 20041



Ministerie van Economische Zaken



© 2017 Plant Lighting B.V.

Dit rapport is tot stand gekomen in samenwerking met het ministerie van Economische Zaken en LTO Glaskracht Nederland in het kader van het programma Kas als Energiebron, ter stimulering van energiebesparende maatregelen in de tuinbouw. 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

REFERAAT.....	3
SAMENVATTING.....	5
1 INLEIDING EN DOELSTELLING.....	8
1.1 Inleiding CAM-fotosynthese bij Phalaenopsis	8
1.2 Probleemstelling, onderzoeksvragen en doelstelling.....	9
1.3 Leeswijzer	10
1.4 Gebruikte begrippen in het rapport.....	11
2 KASPROEF BIJ TER LAAK.....	12
2.1 Materiaal en methoden kasproef.....	12
2.2 Resultaten en discussie kasproef.....	19
2.3 Conclusies praktijkonderzoek	28
3 ONDERZOEK VERDERGAANDE BESPARING IN KLIMAAT-RUIMTES PLANT LIGHTING.....	29
3.1 Materiaal en methoden onderzoek klimaatruimtes	29
3.2 Resultaten en discussie klimaatkamerteelt	34
3.3 Effect van de dimstrategie op plantkwaliteit.....	36
3.4 Consistentie openingstijden van de huidmondjes: overzicht over meerdere onderzoeken	37
3.5 Conclusies klimaatkamer-proef.....	39
4 TEELTRECEPT OP BASIS VAN HUIDIGE INZICHTEN.....	40
5 INVENTARISATIE SENSOREN VOOR PRAKTIJKTOEPASSING.....	43
5.1 Stomata sensor	43
5.2 Thermoviewcamera.....	48
5.3 Bladdiktesensor.....	49
5.4 Sensoren op basis van chlorofyl-fluorescentie	50
5.5 Evaluatie sensoren.....	51
REFERENTIES.....	52

Samenvatting

Doelstelling en onderzoeksvragen

Het hoofddoel van dit onderzoek is een zeer forse besparing op elektraverbruik tijdens de opkweek, koeling en afkweek van Phalaenopsis. Dit door minder uren te belichten tijdens de uren waarop het licht niet of nauwelijks voor de fotosynthese benut wordt (CAM-fasen II en IV, aangetoond in eerder onderzoek Plant Lighting). De besparing zou dus geen productie moeten kosten. Doelstelling van dit onderzoek is om de vorig jaar ontwikkelde zeer kansrijke energiezuinige belichtingsstrategie voor Phalaenopsis (1) onder meer praktijk-conforme omstandigheden op te schalen, (2) tevens te toetsen voor de koelfase, en (3) verder door te ontwikkelen door het belichtingsritme te verschuiven:

1. Opschaling van de in vorig onderzoek in klimaatkamers succesvol gebleken energie-besparende belichtingsstrategie onder meer praktijk-conforme omstandigheden. Eventuele uitdagingen in de praktijk worden zo duidelijk.
2. De 32% elektrabesparing die in voorgaand onderzoek is aangetoond voor de opkweek-2 en afkweek wordt tevens getoetst voor de koeling (8 weken).
3. Ontwikkeling van een belichtings-strategie die het bioritme van de plant zo aanstuurt dat daglicht optimaal benut wordt: Met de huidige praktijk-strategie door in de winter rond 1:00 uur te starten met belichting, wordt daglicht nauwelijks benut voor verwerking van vrijkomend CO₂ uit malaat. Dit omdat malaat vaak al voor het middaguur op is. Door enige uren later te starten met belichting, valt er meer natuurlijk daglicht in CAM-fase III (gesloten huidmondjes), zodat dit beter benut kan worden.

Onderzoekslocaties

Het praktijkonderzoek (doelstelling 1) in de kas vond plaats in twee proefkassen bij Ter Laak Orchids. Onderzoek naar nog verdergaande besparing (doelstelling 2 & 3) vond plaats in de klimaatruimtes van Plant Lighting te Bunnik.

Opzet en conclusies praktijkonderzoek

De cultivars Donau, Sacramento, Jewel en Las Palmas zijn acht weken na oppotten (Jewel 10 weken) in twee proefkassen van Ter Laak geplaatst: 20 weken verdere opkweek en 8 weken koeling, en vervolgens afgekweekt in de praktijk-kas (500 planten per cultivar per behandeling). Er zijn twee behandelingen uitgevoerd: Bij de controlebehandeling werd in principe 16 uur SON-T gegeven met een lichtintensiteit van 125 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Bij voldoende instraling gingen de lampen uit. In de besparende behandeling werd dezelfde daglengte aangehouden, maar wel twee uur verschoven om zo meer daglicht binnen de tijd dat de huidmondjes gesloten zijn (CAM-fase III), op te vangen. Tevens werd de eerste 1½ uur en de laatste 4¼ uur 30 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ SON-T licht gegeven. Dit geeft een besparing van 28% of hoger als overdag de lampen uitgingen. Tijdens de koelfase is kunstmatig de winter verlengd door maximaal 1-2 mol daglicht toe te laten en 16 uur te belichten.

Aan het einde van de opkweek, koeling en afkweek is het plantgewicht (wortel/blad/bloem) bepaald. Het drooggewicht van de wortels bleek 0.5 tot 1.0 gram hoger bij de controle-planten.

Het blad- en bloemgewicht en aantal bloemen van de tweetakkers verschilde niet. Het percentage tweetakkers was alleen bij Jewel significant lager (-9%) bij de dimbehandeling.

Opzet en conclusies doorontwikkeling belichtingsstrategie Phalaenopsis in klimaatkamers

In de klimaatunits van Plant Lighting zijn 600 Sacramento's opgekweekt, gekoeld en afgekweekt verdeeld over drie behandelingen in tweevoud. De daglicht-simulatie van ~2 mol (9:00-17:00) werd in alle behandelingen aangevuld met SON-T belichting. De volgende behandelingen zijn uitgevoerd: (1) de controle met 16 uur SON-T 90 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ van 1:00-17:00 uur), (2) de 'stuurlicht-behandeling' met aan het begin van de dag 1½-uur lang 30 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ SON-T en vanaf 13:00 uur 's middags de SON-T volledig uit, en (3) de 'bioritme-behandeling' waarin dagen met meer of minder daglicht werden gesimuleerd en het (kunst)daglicht grotendeels gedurende CAM-fase III (gesloten huidmondjes) viel. Hierbij startte de lichtperiode drie uur later (4:00 uur) en werd ook de eerste 1½ uur SON-T gedimd tot 30 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Overdag werd de SON-T op dagen met meer daglicht verder gedimd. De laatste 4 uur van de dag werd 30 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ SON-T gegeven.

De hoofdresultaten staan in onderstaande tabel. Op het juiste moment dimmen van de belichting gaf geen verlaging van de CO₂-opname over een etmaal. Wel was de teeltduur door het dimmen van SON-T 7-10 dagen trager. Deze teeltvertraging kan door middel van een hogere luchttemperatuur ongedaan gemaakt worden. Dit is in de proefkassen bij Ter Laak wel gedaan en daar is dan ook geen teeltvertraging voorgekomen. Het percentage tweetakkers verschilde niet significant, wel had de controle 0.4-0.9 meer bloemknop in een kortere teeltduur. De oorzaak waarom de controle iets beter presteerde dan de dimbehandelingen is niet geheel duidelijk gezien de gelijke CO₂-opname op bladniveau. De plantfotosynthese zou iets hoger geweest kunnen zijn (iets hogere fotosynthese bij dieperliggende bladeren). Opgemerkt moet worden dat het in de praktijk nooit 35 weken achter elkaar december is, dus kleine verschillen zijn in deze proef uitvergroot.

Teelt van opkweek tot afkweek in klimaatunits: Effect van de belichting op de netto CO₂-opname in de koeling en de opnametijd, teeltduur, aantal knoppen en % vertakt. Verschillende letters (a, b, c) geven statistisch significante verschillen tussen de gemiddelden aan.

	Controle (7.2 mol)	Stuur SON (5.6 mol)	Bioritme (5.5 mol)
Dagsom CO ₂ (mol CO ₂)	0.25 ^{ab}	0.24 ^b	0.27 ^a
CO ₂ -opnametijd	15:02 ^{ns}	15:11 ^{ns}	15:25 ^{ns}
Teeltduur vanaf koeling	117	124	127
% tweetakker	94% ^{ns}	94% ^{ns}	97% ^{ns}
Totaal bloemknoppen (commerciële telling)	19.1 ^a	18.2 ^b	18.7 ^{ab}
% 'vertakt'	34% ^a	24% ^b	21% ^b

Op basis van de resultaten van beide proeven wordt aanbevolen om bij inpassing van de dimstrategie in de praktijk iets minder de grenzen op te zoeken dan in dit onderzoek gedaan is. Tevens zal er het beste gedimd kunnen worden op basis van informatie van sensoren die inzicht geven in het dagverloop van de lichtbenutting en/of het huidmondjesgedrag.

Dankwoord

Dit rapport geeft de resultaten weer van bijna een jaar durend belichtingsonderzoek aan Phalaenopsis. Dit onderzoek vond deels plaats in de praktijk (proefkassen en productiekas van Ter Laak Orchids) en betrof opschaling van eerder behaalde resultaten met energiebesparing bij Phalaenopsis. Deels vond het onderzoek plaats in de klimaatunits van Plant Lighting waar er nieuwe kennis over belichting werd ontwikkeld aangaande het ritme van belichting. Dit onderzoek is ondersteund door het programma 'Kas als Energiebron', gefinancierd door het Ministerie van EZ en LTO Glaskracht Nederland en door de gewascoöperatie potorchidee.

We willen een aantal personen nog met name hartelijk bedanken voor hun bijdrage: We willen Martin van Dijk en Arnaud van de Zalm (Ter Laak Orchids) bedanken voor de gastvrijheid en de aansturing van de proef bij Ter Laak. Dirk-Jan Uittenbogaard (SO natural) danken we voor de gegeven teeltadviezen voor de proef in Bunnik. Martin van Dijk, (Ter Laak Orchids), Dirk-Jan Uittenbogaard, Raymond van der Knaap (Optiflor), Peter Ammerlaan (Ammerlaan orchideeën), Erwin van Vliet (Levoplant), Erwin van de Werken (Floricultura) en Sander Pot (Plant Dynamics) worden bedankt voor hun positief-kritische bijdrage in de BCO. Astrid van der Helm (LTO Glaskracht Nederland) wordt bedankt voor het coördineren van de BCO's. Jan Voogt (Hoogendoorn Growth Management) danken we voor de gegeven begeleiding bij de 'stomatasensor'. Als laatste willen we de onderzoekscoördinatoren Dennis Medema en Leo Oprel van het programma Kas als Energiebron bedanken voor hun steun bij de totstandkoming en uitvoering van dit project.

Oktober 2017,

Govert Trouwborst, Sander Hogewoning & Reinder van der Spek

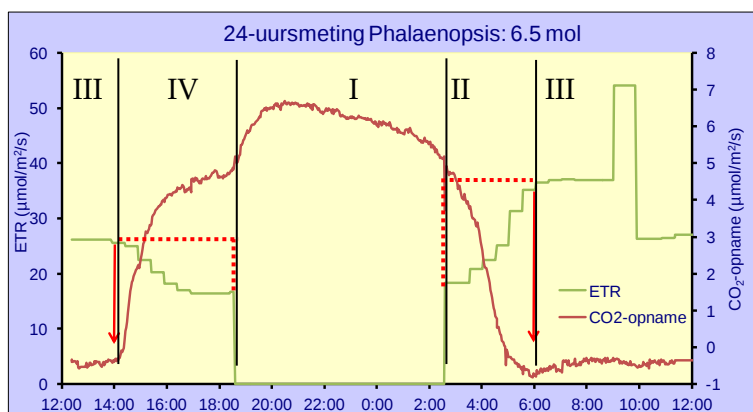
1 Inleiding en doelstelling

1.1 Inleiding CAM-fotosynthese bij Phalaenopsis¹

Het fotosyntheseproces van de meeste tuinbouwgewassen verloopt via het zogeheten C3-metabolisme, waarbij overdag CO₂ wordt opgenomen door de bladeren en met behulp van energie uit licht vastgelegd in suikers. Bij een beperkte groep planten, waaronder Phalaenopsis, verloopt de fotosynthese via het CAM-metabolisme (Crassulacean Acid Metabolism). In de CAM-bladeren wordt CO₂ 's nachts vastgelegd in de vorm van malaat (appelzuur) dat wordt opgeslagen in de vacuole van de cellen. Overdag wordt het malaat naar het cytoplasma getransporteerd en komt het CO₂ er weer uit vrij. Vervolgens wordt het CO₂ onder invloed van licht omgezet in suikers. Het samenspel tussen de opbouw van de malaatvoorraad en de verwerking van malaat tot suikers is dus een bepalende factor voor de potentiële groei van Phalaenopsis. De CAM-fotosynthese kent vier fasen (Figuur 1):

- Fase I, nacht: Huidmondjes zijn open, CO₂ wordt vastgelegd in malaat (appelzuur).
- Fase II, overgang van nacht naar dag: Huidmondjes gaan sluiten en start afbraak malaat en mogelijk kortstondig (directe) C3 fotosynthese.
- Fase III, overdag: Gesloten huidmondjes en afbraak malaat.
- Fase IV, overgang van dag naar nacht: Malaat op, huidmondjes gaan weer open en mogelijk kortstondig (directe) C3 fotosynthese.

Voor meer achtergrondinformatie over de CAM-fotosynthese, zie de Bijlagen in Trouwborst *et al.* 2014 en Trouwborst *et al.* 2016 en genoemde referenties daarin.



Figuur 1. De vier fasen van de CAM-fotosynthese bij Phalaenopsis. Van links naar rechts: CAM-fase III eindigt rond 14:00, vervolgens gaan in CAM-fase IV de huidmondjes in het licht al open. Dit geeft een beperking op de ETR: groene lijn volgt rode stippellijn niet (ETR is de door licht opgewekte energiestroom om suikers te maken). 18:30 startte de nacht: CAM-fase I. 2:30 startte de dag: CAM-fase II, huidmondjes gaan sluiten en ETR stijgt langzaam. Rond 6:00 startte CAM-fase III: gesloten huidmondjes en ETR die niet beperkt was (data afkweek, Trouwborst *et al.* 2014).

¹ Paragraaf 1.1. en 1.4 zijn vrijwel letterlijk overgenomen uit: Trouwborst *et al.* 2016. Minder belichten zonder productieverlies II.

1.2 Probleemstelling, onderzoeksvragen en doelstelling

De teelt van Phalaenopsis verbruikt ongeveer de helft van de elektra voor belichting van het totale areaal bloeiende potplanten (LEI, 2013). Tot voor kort was nog relatief weinig bekend over de benutting van licht en CO₂ door Phalaenopsis. Het onderzoek “Minder belichten Phalaenopsis zonder productieverlies I en II” (Trouwborst *et al.* 2014 / 2016) heeft zeer recent aangetoond dat niet zozeer de lichtsom op zich van belang is bij Phalaenopsis. Veel bepalender is de timing van de belichting: Het blad neemt CO₂ op gedurende ± 15 uur per dag. Gedurende de overige ± 9 uur zijn de huidmondjes gesloten (CAM-fase III) en vindt de omzetting van het in malaat gebonden CO₂ tot suikers plaats. Juist gedurende die 9 uur moet voldoende licht beschikbaar zijn. In de periode rondom die uren blijkt een lagere intensiteit (stuur)licht voor voldoende daglengte genoeg, terwijl een kortere daglengte een averechts bleek te hebben op de totale CO₂ opname per etmaal.

Door een dim-strategie toe te passen die afgestemd is op het ritme van de plant, is 32% aan elektra bespaard gedurende de opkweek-2 en afkweek in bovengenoemd onderzoek. In de besparende behandeling was de CO₂-opname van de bladeren, het aantal bloemtakken per plant en het aantal bloemen gelijk aan de controle. Dit zijn spectaculaire resultaten die vragen om (1) toepassing in de praktijk, maar ook om (2) toetsing van dezelfde strategie in de koelfase, en (3) doorontwikkeling. Daarom richt dit onderzoek zich op de volgende vragen:

1. Toetsing behaalde resultaten tot nu toe in praktijk: Zo komen ook eventuele praktische uitdagingen boven water, zoals de mogelijkheid om minder warmtestraling (door dimmen lampen) te compenseren met warmte om geen teeltsnelheid te verliezen.
2. Besparing in de koelfase: In het eerdere onderzoek is de belichting niet gedimd tijdens de koelfase. Dit om geen risico te nemen dat de bloemtakuitloop mogelijk negatief beïnvloed werd en zodoende de positieve resultaten niet tot toepassing komen. De 8 weken koelfase is een significant gedeelte van de teelt, en daarom is het toetsen van de dim-strategie ook in deze teeltfase zeer de moeite waard. Bovendien voorkomt licht dimmen op de uren dat de plant licht moeilijk kan verwerken mogelijk ook koude-schade tijdens de koeling.
3. Verdergaande besparing door verschuiven plantritme: Bij de huidige winter-belichtingsstrategie in de praktijk eindigt de cruciale periode, gedurende welke voldoende licht beschikbaar dient te zijn voor de verwerking van malaat, rond de middag. Veel gratis daglicht blijft zo onbenut. Door volgens een efficiënter schema te belichten kan volgens onze hypothese $\pm 43\%$ ² aan elektra bespaard worden ten opzichte van voluit belichten gedurende 16 uur per dag (huidige praktijk bij veel bedrijven).

² De 43% is berekend op (1) een andere ritme van belichting en (2) een daglichtdrempel. Hierdoor staat de SON-T ongeveer evenveel uren gedimd aan als bij de gewone dimbehandeling (de eerste 1.5 uur en de laatste 4 uur van de dag op 30 μmol in plaats van 90 μmol voluit). De SON-T wordt ook via een daglichtdrempel afgeschakeld als er overdag voldoende instraling is. De berekening is uitgevoerd op basis van langjarige KNMI-gegevens: de variatie aan instraling in december is als maat genomen voor de mate waarin SON-T gedimd kon worden.

Deze besparing gaat nog dus verder dan de 32% mogelijke besparing die recent is aangetoond. Sturing van het ritme van de plant, zodat de cruciale periode waarin een zekere lichtsom gehaald moet worden om de malaat te verwerken overdag valt, vergt ook minder investeringen in lampen: Immers, het daglicht helpt mee om de gewenste lichtsom te halen. Als de cruciale periode van malaatverwerking vooral 's nachts valt (praktijk) dan moet vrijwel de hele benodigde lichtsom met lamplicht gehaald worden.

Het hoofddoel van dit onderzoek is dus een zeer forse besparing op elektraverbruik bij zowel de opkweek, koeling en afkweek van *Phalaenopsis*. Dit door minder uren te belichten tijdens de uren waarop is aangetoond dat het licht niet of nauwelijks voor de fotosynthese benut wordt (Trouwborst *et al.* 2016). De besparing zou dus geen productie moeten kosten. Het onderzoek is verdeeld in twee onderdelen: De opschaling van het eerdere onderzoek naar meer praktijk-conforme omstandigheden (onderzoeksvraag 1). En de doorontwikkeling van de energiezuinige belichtingsstrategie voor *Phalaenopsis* (onderzoeksvragen 2 & 3). Het praktijkonderzoek in de kas vond plaats in de twee proefkassen en vervolgens de productiekas bij Ter Laak Orchids. Onderzoek naar de nog verdergaande belichtingsstrategie vond plaats in de klimaatruimtes van Plant Lighting te Bunnik.

1.3 Leeswijzer

Het rapport is als volgt opgebouwd: Paragraaf 1.4 bevat een tabel met veel gebruikte begrippen rondom CAM-fotosynthese. Hoofdstuk 2 beschrijft het praktijkonderzoek. Hoofdstuk 3 geeft het onderzoek in de klimaatruimtes van Plant Lighting te Bunnik weer. Hoofdstuk 4 geeft een 'teeltrecept' weer op basis van de tot hiertoe behaalde resultaten. Hoofdstuk 5 biedt een inventarisatie van sensoren voor toepassing in de praktijk om zelf als teler de cruciale belichtingsperiode (malaatverwerking in CAM-fase III) te achterhalen.

1.4 Gebruikte begrippen in het rapport

In Tabel 1 worden de meest gebruikte begrippen kort toegelicht. Lezers die deze begrippen niet kunnen plaatsen, worden aangeraden Bijlage 1 van het rapport Minder belichten I (Trouwborst *et al.* 2014) te lezen.

Tabel 1. Toelichting van de meest gebruikte begrippen in het rapport.

Begrip	Toelichting
C3-fotosynthese	'Normale' fotosynthese zoals optreedt bij de meeste planten. Dit proces bestaat uit twee deelprocessen die tegelijkertijd plaats vinden: Lichtreactie: gemeten d.m.v. chlorofyl-fluorescentie en uitgedrukt in elektronentransportsnelheid (ETR). Donkerreactie: Binding van CO ₂ (en O ₂ , zie fotorespiratie) via Rubisco (centraal enzym uit de Calvin-cyclus) en verdere verwerking van CO ₂ tot suiker. De snelheid van de donkerreactie is o.a. afhankelijk van de energie die wordt geleverd door de lichtreactie, het aanbod van CO ₂ en de efficiëntie van Rubisco
Calvin-cyclus	Binding van CO ₂ via Rubisco en verdere verwerking van CO ₂ tot suiker. Ook wel lichtonafhankelijke reactie of donkerreactie genoemd
CAM-plant	Plant met het Crassulecean Acid Metabolisme
CAM-fotosynthese	CAM-fotosynthese kan benoemd worden als <i>indirecte</i> C3-fotosynthese. Het CO ₂ wordt 's nachts door middel van het enzym PEPc gebonden en vervolgens vastgelegd als malaat (appelzuur). Overdag komt dit CO ₂ vrij en wordt gebruikt door Rubisco. In de CAM-fotosynthese worden vier CAM-fasen onderscheiden.
CAM-fasen	Fase I: nacht, huidmondjes open, opgenomen CO ₂ wordt vastgelegd als malaat. Fase II: overgang nacht naar dag, huidmondjes sluitende, mogelijkheid tot opname van CO ₂ dat direct gebonden wordt aan Rubisco (directe C3-fotosynthese). Fase III: overdag, huidmondjes gesloten, CO ₂ in het blad komt vrij uit malaat. Via de C3-fotosynthese wordt dit verwerkt tot suiker. Fase IV: overgang dag naar nacht: malaat op, huidmondjes gaan open, mogelijkheid tot opname van CO ₂ dat direct gebonden wordt aan Rubisco (directe C3-fotosynthese).
ETR	Elektronentransport-snelheid; de snelheid van de lichtreactie van de fotosynthese. Met andere woorden: ETR is de door licht opgewekte energiestroom die aangewend kan worden om suikers te maken. Deze wordt gemeten door middel van chlorofyl-fluorescentie. Voor details over het meten van de ETR via chlorofyl-fluorescentie, zie Pot <i>et al.</i> (2011).
Fotorespiratie	Het enzym Rubisco bindt O ₂ i.p.v. CO ₂ en er komt CO ₂ vrij. Dit is dus een verliespost. Hoe hoger de verhouding O ₂ /CO ₂ hoe meer fotorespiratie er plaats vindt.
Huidmondjes	Poriën in het blad waardoor CO ₂ naar binnen kan en water naar buiten gaat (verdamping).
PEP	Fosfo-enol-pyruvaat: grondstof voor malaatvorming
PEPc	Fosfo-Enol-Pyruvaat-Carboxylase: Enzym dat CO ₂ bindt aan PEP zodat er uiteindelijk malaat ontstaat.
Rubisco	Ribulose-bifosfaat-carboxylase/oxygenase: Centraal enzym voor de eerste stap in de Calvin-cyclus: Het bindt CO ₂ aan RuBP, en in een aantal vervolgstappen worden suikers gevormd. NB afhankelijk van de verhouding CO ₂ /O ₂ in het blad bindt Rubisco ook zuurstof. Dit wordt fotorespiratie genoemd.

2 Kasproef bij Ter Laak

Dit hoofdstuk beschrijft de opschaling van eerder behaalde resultaten in klimaatkamers (Minder belichten II, Trouwborst *et al.* 2016) naar de proefkassen van Ter Laak Orchids.

2.1 Materiaal en methoden kasproef

2.1.1 Plantmateriaal

Er zijn vier cultivars onderzocht, deze waren bij start 8-10 weken oud (Tabel 2). De planten stonden in eerste instantie in 6-kantige vazen met een dichtheid van 70 planten/m² (Foto 1). Per ras per proefcompartiment waren er ± 500 planten, in totaal dus ± 4000 planten. Tabel 3 bevat de tijdlijn die gehanteerd is voor de proef. De proef startte op dinsdag 18 oktober 2016 (week 42).

Tabel 2. Onderzochte cultivars in de kasproef.

Cultivar	potweek	typering
Jewel	week 32	moeilijke groeier
Las Palmas	week 34	moeilijke groeier
Donau	week 34	makkelijke groeier, onderzoekscultivar bij Ter Laak
Sacramento	week 34	makkelijke groeier, cultivar waar voorgaand onderzoek mee is gedaan bij Plant Lighting

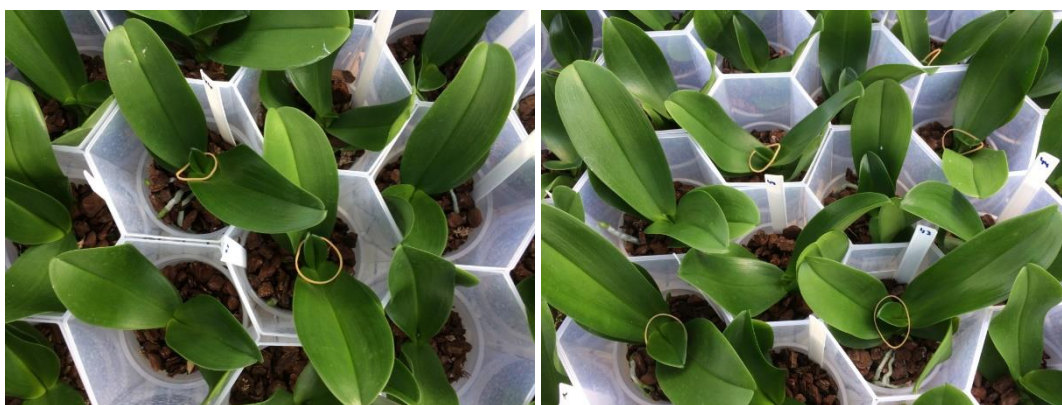


Foto 1. De planten stonden tot week 5 (einde opkweek 1) in 6-kantige vazen. De plantdichtheid was 70 planten per m². Per ras per compartiment waren er ± 500 planten aanwezig. Hartbladeren zijn aan het begin van de proef gemerkt met een elastiekje (foto 7 november 2016).

Tabel 3. Gehanteerde tijdlijn gedurende de kasproef.

Weeknr, jaar	Leeftijd	Handeling
Week 34, 2016	0 weken	opgepot bij Ter Laak
Week 42, 2016	8 weken	opkweek 1, 70 planten/m ² , start proefkas (foto1)
Week 4, 2017	22 weken	opkweek 2, 50 planten/m ² , proefkas (foto 2)
Week 10, 2017	28 weken	start koelfase, proefkas (±19.5°C etmaal)
Week 18, 2017	36 weken	start afkweek, einde proefkas, planten naar afkweekkas
Week 26-29, 2017	44-47 weken	1-2 bloemen open, bloemknoppen geteld

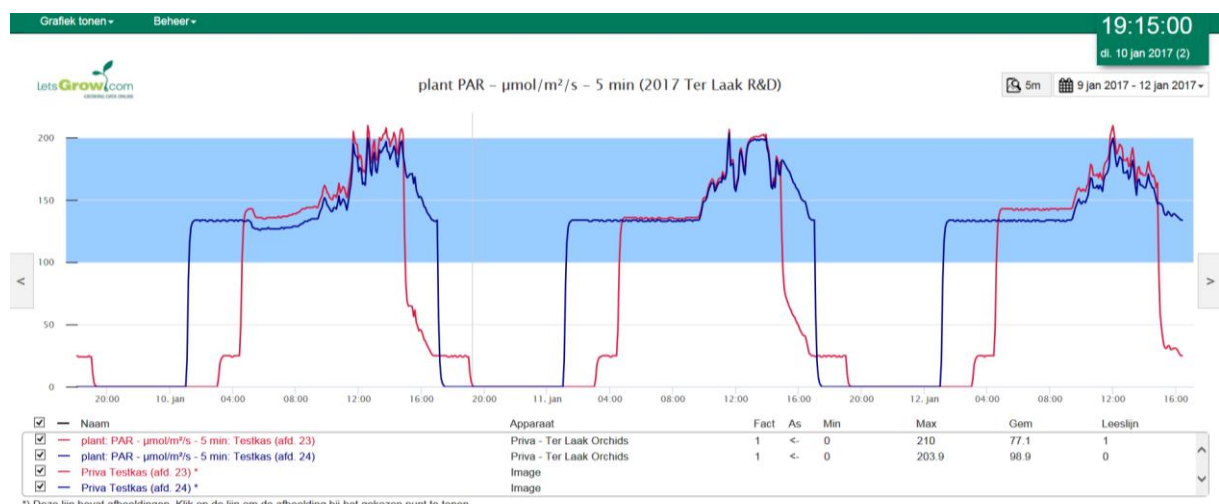
2.1.2 Behandelingen

Er zijn twee behandelingen uitgevoerd in twee naast elkaar liggende proefkassen: een controle-behandeling en een dim-behandeling. Bij de controlebehandeling werd in principe 16 uur SON-T gegeven met een lichtintensiteit van 125 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. De keuze voor 125 μmol was een pragmatische: in de proefkassen hing een capaciteit van 250 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ die in twee stappen geschakeld kon worden. Bij het dimregime werd dezelfde daglengte aangehouden, maar wel twee uur verschoven om zo meer daglicht binnen de tijd dat de huidmondjes gesloten zijn (verwerking malaat), op te vangen. Tevens werd de eerste 1½ uur en de laatste 4¼ uur 30 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ SON-T licht gegeven.

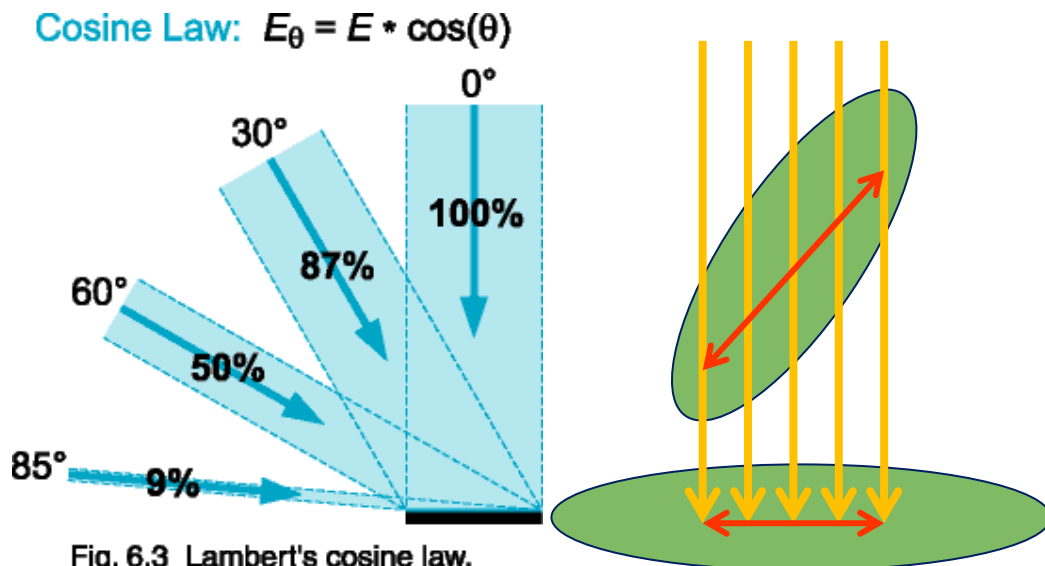
De 30 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ werd verkregen door er acht 250 W SON-T's (Gavita Hortistar SE) bij te hangen (Foto 2). Deze werden ook via de klimaatcomputer aangestuurd. Tabel 4 geeft de details van de behandelingen weer. De lichtsom van de controle was 7.2 mol SON-T, hier kwam nog ruim 1 mol aan daglicht bij (Figuur 2). Gezien de bladstand van $\pm 45^\circ$ in de vazen kan er uitgegaan worden van een effectieve lichtsom van $8.2 \cdot 0.7 \approx 5.7$ mol in het platte vlak (Figuur 3).

Tabel 4. Proeffactoren onderzoekskassen Ter Laak

	Controle	Dimbehandeling
Proefkas	afdeling 24	afdeling 23
SON-T voluit	125 μmol	125 μmol
SON-T dim	niet van toepassing	30 μmol
Belichtingstijd	1:00-17:00	3:00-19:00
Dimtijd	niet van toepassing	3:00-4:30 14:45-19:00
Lichtsom SON-T (exclusief daglicht)	7.2 mol/m ² /dag	5.2 mol/m ² /dag



Figuur 2. Voorbeeld licht (PAR) in kas van 9-12 januari 2017, (Screenshot LetsGrow) van de controle (blauwe lijn) en de dimbehandeling (rode lijn). De dimbehandeling begint en eindigt twee uur later.



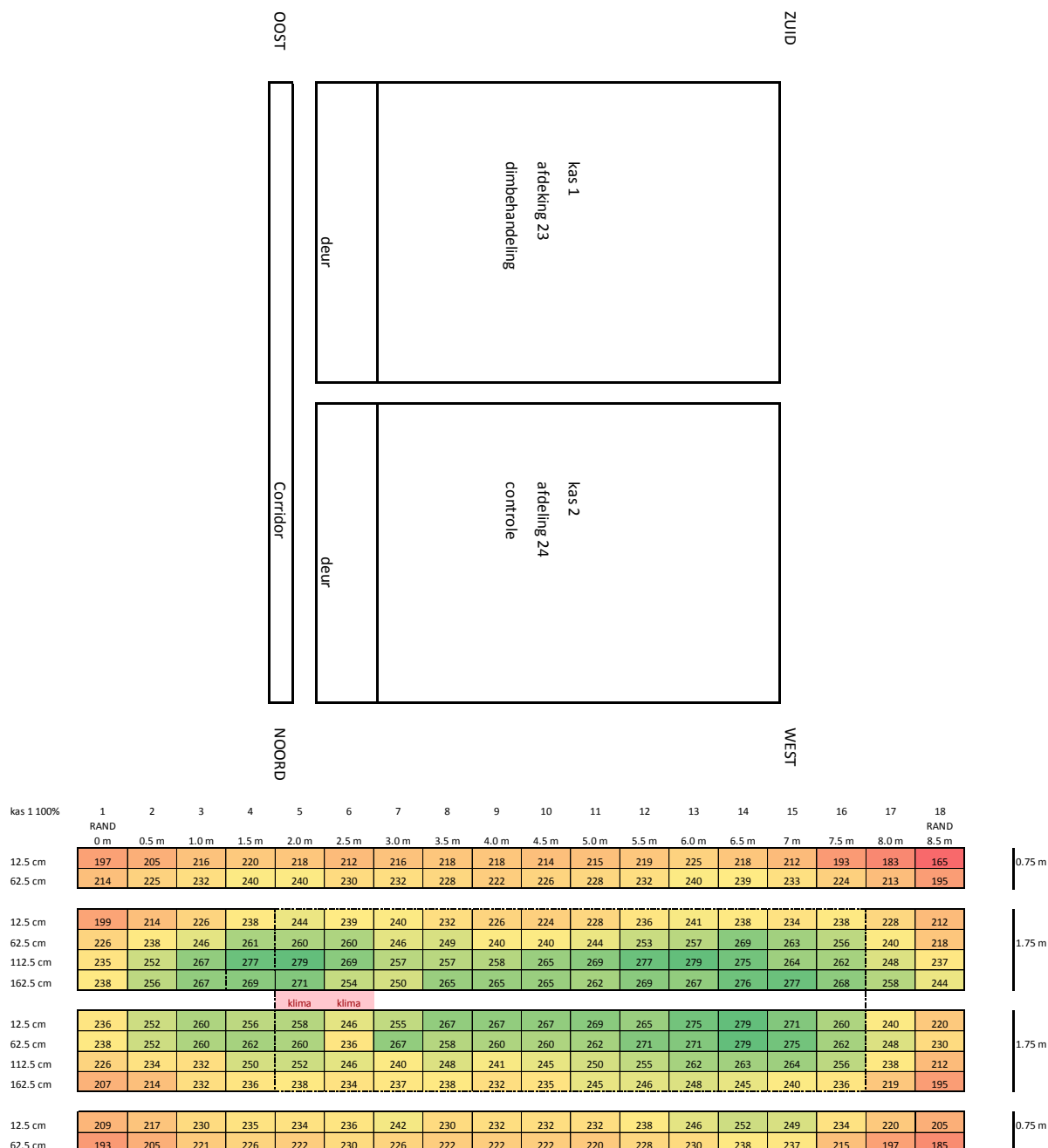
Figuur 3. Hoe verticaler de bladstand, hoe groter het oppervlak waarover het licht verdeeld moet worden, hoe lager de effectieve lichtintensiteit op bladniveau (bron: Ryer, 1998).



Foto 2. Dim-regime SON-T: naast de 1000W SON-T zijn er acht 250 Watt SON-T lampen bij gehangen. Deze lampen gaven gemiddeld 30 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR en konden via de klimaatcomputer worden bediend.

2.1.3 Proefkassen

De proefkassen zijn 8.3m breed en 10.6m diep (Figuur 4). De achtergevel bestaat uit melkwitte, niet transparante platen. Aan de zuidoostkant bevindt zich de opweekkas en aan de noordwestkant bevindt zich nog een proefkas. Om van beide naburige afdelingen geen hinder te ondervinden werd besloten om de zijgevels van de kassen permanent gesloten te houden. Samen met de achtergevel gaf dit dus een lage kastransmissie voor daglicht in de winterperiode omdat de laagstaande zon door drie gevels geblokkeerd werd. Tijdens de opweek werd dan ook per dag gemiddeld slechts 1 mol daglicht opgevangen. De kas was uitgerust met twee rijen van 7 SON-T lampen (1000W). Hiermee werd gemiddeld 250 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ behaald. Voor de 50%-schakeling gingen de lampen om en om uit. In iedere proefkas stonden vier tafels, twee van 8.5*1.75m en 2 van 8.5*0.75m (Figuur 4, zie ook Foto 3). Het netto teeltoppervlak bedroeg dus 42.5m².



Figuur 4. Plattegrond proefkassen en lichtkaart van één proefkas waarbij de lampen 100% aanstonden. De kleuren van groen naar rood geven een beeld van de variatie in lichtintensiteit. Om geen hinder te ondervinden van de gevel links van de eerste en rechts van de tweede proefkas is besloten om permanent de zijgevels gesloten te houden. Op de plaats van de woorden 'klima' hingen links en rechts van het pad een PAR-meter. Aan de rechterzijde hing tevens de klimaatbox.



Foto 3. Overzicht van één van de proefkassen bij Ter Laak Orchids (foto eind oktober 2016). De zijtafels stonden in eerste instantie leeg. Op het moment dat de plantdichtheid verlaagd werd van 70 naar 50 pl/m², werden deze volgezet.

Er waren vier schermen aanwezig. Een verduisteringsschermb (inclusief gevelschermen) een energiedoek, een zonneschermb en dekrolschermen. Het dekrolscherm werd alleen onder extreem zonnige omstandigheden ingezet en is een aantal keer ingezet tijdens de wintersimulatie gedurende de koelfase (zie paragraaf 2.1.4).

2.1.4 Teeltcondities gedurende de opkweek, koeling en afkweek

Door het gemis aan lampwarmte in de dim-afdeling, is op grond van metingen van de planttemperatuur de stook/luchtlijn 0.2°C verhoogd ten opzichte van de controle. Er is bewust gestuurd op een gelijke planttemperatuur. Indicatie buistemperatuur: 45°C onder en gemiddeld 55-60°C met uitloop tot 75 °C boven. Er werd fors verneveld om de RV boven de 60% te houden. Verder zijn er bevoeiingsmatten uitgerold om de inzet van de verneveling vooral 's nachts te verminderen (Foto 4). De setpoint voor CO₂ stond op 800 ppm. De gemiddelde teeltcondities voor de opkweek staan weergegeven in tabel 5.

Tabel 5. Gemiddelde dagsom PAR, temperatuur, CO₂ en vocht tijdens de opkweek van plantleeftijd 8 tot 28 weken.

	Controle	Dimbehandeling
PARsom (mol)	8.2 (waarvan ~1 mol daglicht)	6.2 (waarvan ~1 mol daglicht)
Kastemperatuur (°C)	29.3	29.6
Planttemperatuur (°C)	29.0	29.0
CO₂ (ppm)	935	895
RV (%)	61	61
Absoluut vocht (g/m³)	18.3	18.3
VPD (kPa)	1.52	1.58
VD (g/m³)	11.8	11.9



Foto 4. In de proefkassen was verneveling aanwezig, zeker in de opkweek stond deze veelvuldig aan vanwege het feit dat de proefkassen vrij droog waren. Er zijn bevoeiingsmatten op grond gelegd om het gebruik van de vernevelaar te verminderen.

In week 5 zijn de planten wijder gezet (Foto 5). Hierbij daalde de dichtheid van 70 naar 50 planten/m². In week 5 werd de belichting in beide behandelingen een uur in de tijd verschoven (Controle= 2:00-18:00 / Dim= 4:00-20:00). Dit is uitgevoerd via stappen van een kwartier per dag. In week 11 is de belichting opnieuw in stappen van een kwartier een uur verschoven (Controle= 3:00-19:00 / Dim=5:00-21:00). In week 13 startte de zomertijd. Hierdoor verschoven de proeftijden een uur zonder dat er voor de planten iets veranderde (Controle= 4:00-20:00 / Dim= 6:00-22:00). Vanaf week 7 (15 februari) gingen de schermen open om meer natuurlijk daglicht toe te laten en de lampen vaker uit tussen 11:00 en 15:00. Vanaf week 10 (koelfase) is juist bewust veel licht weggeschermd om winterse daglichtsommen te simuleren en de SON-T gedurende 16 uur aan te houden. De dagsommen natuurlijk daglicht lagen gedurende de koeling op ± 2 mol/dag (Tabel 6). Door de wintersimulatie was het moeilijker om de gewenste luchttemperatuur te handhaven, deze kwam uit op 20°C (Tabel 6).



Foto 5. In week 5 zijn de planten wijder gezet in andere vazen. De plantdichtheid zakte van 70 naar 50 planten/m² (foto 8 februari 2017).

Tabel 6. Gemiddelde dagsom PAR, temperatuur, CO₂ en vocht tijdens de koelfase van plantleeftijd 29 tot 36 weken.

	Controle	Dimbehandeling
PARsom (mol)	9.3 (waarvan ~2 mol daglicht)	7.3 (waarvan ~2 mol daglicht)
Kastemperatuur (°C)	19.9	20.2
Planttemperatuur (°C)	20.9	20.8
CO ₂ (ppm)	788	782
RV (%)	67	68
Absoluut vocht (g/m ³)	11.6	11.8
VPD (kPa)	0.93	0.92
VD (g/m ³)	5.8	5.7

Na de koelperiode werden beide partijen planten afgekweekt in de commerciële productie afkweekkas van Ter Laak. Tijdens de afkweek verschilden de teeltcondities dus niet tussen de behandelingen. De gemiddelde PARsom was tot 8 juni rond de 9 mol/dag en erna rond de 7 mol/dag. Dit was een bewuste stuuractie door de teler vanwege een te lichte bladkleur. De lichtperiode liep van 7:00 tot 20:30. Verdere details staan vermeld in Tabel 7.

Tabel 7. Gemiddelde dagsom PAR, temperatuur, CO₂ en vocht tijdens de afkweek van plantleeftijd 37-47 weken.

	Afkweekkas praktijk
PARsom (mol)	7.8
Kastemperatuur (°C)	21.0
CO ₂ (ppm)	635.0
RV (%)	75.4
VD (g/m ³)	4.6

2.1.5 Metingen

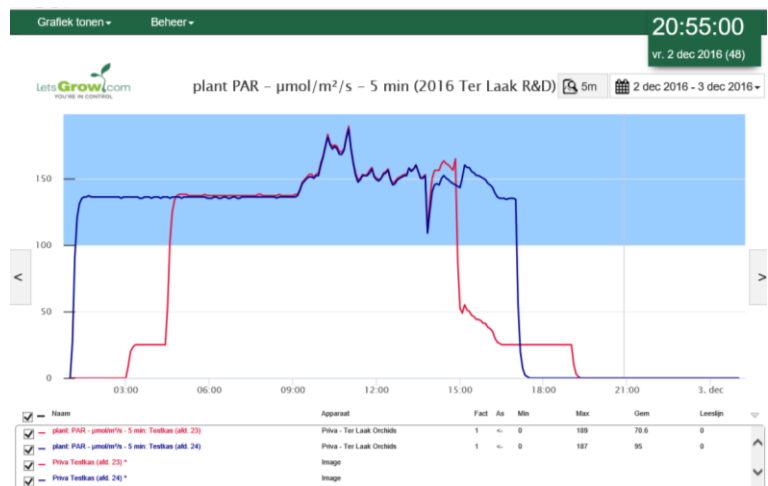
- Fotosynthese gedurende de opkweek met twee Li-6400 fotosynthesemeters (LI-COR, Nebraska, USA). Voornaamste doel van deze metingen is het vastleggen van het plantritme in de twee behandelingen voor de vier verschillende cultivars. Een belangrijke vraag daarbij is of het ritme erg varieert tussen de cultivars. Dit zou namelijk gevolgen hebben voor de toepasbaarheid van de dimstrategie in de praktijk.
- Bepaling vers- en drooggewicht wortels, blad/stengel en bloemen aan het begin van de proef, aan het einde van de opkweekfase, aan het einde van de koelfase en aan het einde van de afkweekfase.
- Tellen bloemtakuitloop einde koelfase (twee cultivars, andere twee nog niet mogelijk) en einde afkweek
- Tellen bloemkwaliteit einde afkweek: aantal bloemen per hoofdtak, aantal bloemen per zijtak, aantal zijtakken en bloemtaklengte/bloemtakgelijkheid.

Meer details over de meetmethoden zijn bij de resultaten beschreven.

2.2 Resultaten en discussie kasproef

2.2.1 Fotosynthesemetingen gedurende de opkweek

De fotosynthesemetingen zijn uitgevoerd tussen 15 november en 8 december (week 46-week 49). Het doel van deze metingen was om te achterhalen of het dimregime bijstelling behoefde vanwege het gemeten plantritme. De gemiddelde lichtsom per dag was in die weken respectievelijk 8 en 6 mol voor de controle en de dimkas. Daglicht werd toegelaten tussen 9:30 en 16:30. Figuur 5 geeft een impressie van het verloop van de lichtintensiteit over de dag. Het verloop van de lichtintensiteit is op een eenvoudiger manier nagebootst in de meetcuvet van de Li-6400. Vanwege de schuine bladstand is de lichtintensiteit in de Li-6400 ingesteld op factor 0.7 (zie Figuur 2). Voor de 125 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ SON-T werd dus 88 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR in de meetcuvet ingesteld, voor de 30 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ SON-T werd 21 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ingesteld. Het daglicht werd vereenvoudigd nagebootst door 7 uur lang een vaste lichtintensiteit aan te bieden, de details staan vermeld in tabel 8.



Figuur 5. Screenshot verloop PAR over de dag van de controle (blauw) en de dimkas (rood) rondom de fotosynthesemetingen.

Tabel 8. Instellingen lichtintensiteit in de meetcuvet van de Li-6400. De meetintensiteit op bladniveau verschilde een factor 0.7 met de intensiteit in de kas vanwege de bladhoek. Het daglicht werd vereenvoudigd nagebootst door 7 uur lang (9:30-16:30) een vaste lichtintensiteit aan te bieden.

Behandeling	Tijden SON-T + Daglicht	Lichtbron	Intensiteit opgeteld	Factor bladhoek 0.7
Controle	1:00-9:30	SON-T	125	88
	9:30-16:30	SON-T +Dag	125+35=160	112
	16:30-17:00	SON-T	125	88
Dimbehandeling	3:00-4:30	SON-T -stuur	30	21
	4:30-9:30	SON-T	125	88
	9:30-14:45	SON-T +Dag	125+35=160	112
	14:45-16:30	SON-T -stuur+ dag	30+35=65	46
	16:30-19:00	SON-T -stuur	30	21

De resultaten van de fotosynthesemetingen staan vermeld in tabel 9. Doordat het aantal herhalingen aan metingen per cultivar beperkt is, mag er niet een te hoge waarde gehecht worden aan het gemiddelde per cultivar. De gemiddelden per behandeling zijn wel robuust. De volgende zaken vallen op:

- De dagsom CO₂-opname en de ETR tijdens gesloten huidmondjes (CAM-fase III, malaatverwerking) verschilde niet significant tussen de controle en de dimkas.
- Start en einde van de CO₂-opname vond bij de controle ruwweg 2 uur eerder plaats. Dit komt overeen met het feit dat de lichtperiode in de dimbehandeling twee uur later begon.
 - De waarnemingen per cultivar laten wel zien dat er rondom de gemiddelde openingstijd een variatie is van $\pm \frac{1}{2}$ uur tot ± 1 uur.
 - De CO₂-opname begon in beide behandelingen ruwweg 10.5 uur na start van de belichting.
 - De CO₂-opname was relatief vroeg afgelopen, gemiddeld $\frac{1}{2}$ tot $\frac{3}{4}$ uur na start van de belichting. Op dat moment heeft de ETR z'n maximum nog niet bereikt. Dit lag voor de controle ruwweg een uur later. Dit is ook te zien in Figuur 6. Het moment dat 's ochtends de ETR niet meer gelimiteerd is, kan dus later liggen dan huidmondjessluiting. In hoofdstuk 3.4 wordt een tabel weergegeven van de gemeten openingstijden van de huidmondjes in relatie tot start van de belichting van eerdere onderzoeken die door Plant Lighting zijn uitgevoerd. Deze openingstijden variëren tussen proeven. De herkomst van deze verschillen is nog niet duidelijk.
- De lichtsom tijdens CAM-fase III (gesloten huidmondjes) was 4% lager in de dimbehandeling, echter het verschil met de controle was statistisch niet significant.

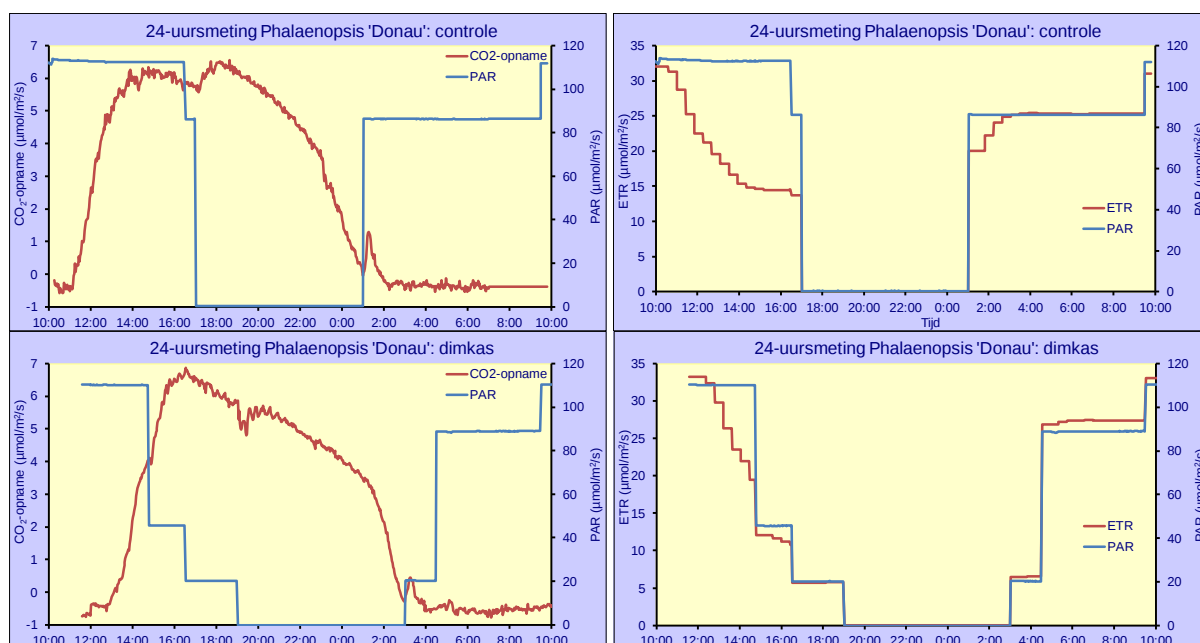
Op basis van deze metingen is besloten het dimregime (dimmen 1.5 uur na start belichting) te handhaven.

Tabel 9. Effect van de lichtbehandeling op de CO₂-opname, CO₂-opnametijd, huidmondjesopening, ETR en lichtsom tijdens CAM-fase III in de opkweek. Verschillende letters (a, b) geven per statistisch significante verschillen tussen de gemiddelden aan (n=3-4 per cultivar, paarsgewijze t-toets, $\alpha < 0.05$; ns= niet significant).

	Kas	Sacra- mento	Donau	Jewel	Las Palmas	Gemiddelde
Dagsom CO₂-opname	controle	0.21	0.22	0.17	0.24	0.21 ^{ns}
	dim	0.24	0.22	0.20	0.21	0.21 ^{ns}
Dagsom ETR (mol e-)	controle	1.42	1.33	1.30	1.41	1.37 ^a
	dim	1.15	1.21	1.19	1.17	1.18 ^b
Dagsom ETR gesloten huidmondjes (mol e-)	controle	0.98	0.88	0.94	0.92	0.93 ^{ns}
	dim	0.84	0.94	0.87	0.96	0.90 ^{ns}
Start opname*	controle	11:01	11:17	12:00	11:29	11:27 ^a
	dim	12:33	13:13	13:07	14:18	13:17 ^b
Einde opname*	controle	0:47	1:53	1:37	1:36	1:28 ^a
	dim	3:51	3:17	4:12	3:48	3:47 ^b
Opnametijd	controle	13:45	14:35	13:37	14:07	14:01 ^{ns}
	dim	15:17	14:04	15:05	13:30	14:29 ^{ns}
Maximale huidmondjesopening	controle	0.019	0.019	0.017	0.026	0.020 ^{ns}
	dim	0.021	0.019	0.015	0.020	0.019 ^{ns}
Lichtsom CAM-fase III	controle	3.35	3.05	3.47	3.27	3.29 ^{ns}
	dim	2.90	3.16	3.07	3.48	3.15 ^{ns}

* Gedurende de fotosynthesemetingen was de lichtperiode van de controle 1:00-17:00 en de dimbehandeling van 3:00-19:00.

Figuur 6 laat het 24-uurspatroon van de CO₂-opname en de ETR zien van Phalaenopsis 'Donau' voor de controle en de dimbehandeling. Wat opvalt, is dat de nachtelijk CO₂-opname net voor de lampen aangaan tot praktisch nul is gereduceerd en daarna een piekje vertoont. Vermoedelijk is dit C3-fotosynthese. Tevens is zichtbaar dat de ETR van de controle 's ochtends pas rond 2:45 z'n maximum bereikt. Dit ligt ruwweg een uur later dan het moment dat de CO₂-opname onder nul daalt. 's Middags daalt de ETR bij de controle enorm terwijl het lichtniveau gelijk blijft (afname van ETR bij een gelijk lichtniveau duidt op fotosynthesestress). Bij de dimbehandeling is de relatieve afwijking van de ETR ten opzichte van het lichtniveau veel kleiner.



Figuur 6. Representatieve patronen van de CO₂-opname (rode lijnen links en de ETR (rode lijnen rechts) over een etmaal van de controle en dimbehandeling van cv 'Donau'. De blauwe lijn geeft de meetlichtintensiteit aan (0.7*intensiteit in het platte vlak). De gemiddelden staan weergegeven in tabel 9. Wat opvalt, is dat de nachtelijk CO₂-opname net voor de lampen aangaan tot praktisch nul is gereduceerd en daarna een piekje vertoont. Vermoedelijk is dit directe C3-fotosynthese. Tevens is zichtbaar dat de ETR van de controle pas rond 2:45 z'n maximum bereikt, dit is dus iets later dan huidmondjessluiting in de ochtend.

Nuancerings fotosynthese-metingen

Alle metingen zijn verricht aan volgroeide bovenste bladeren. Deze zullen voor het leeuwendeel van de totale plant-assimilatie zorgen. Dieperliggende bladeren krijgen betrekkelijk weinig licht doordat planten aaneengesloten op de tafels staan en de lichttransmissie door de bladeren zeer laag is. Het blijft een mogelijkheid dat bij dieperliggende bladeren de C3-fase in de middag groter is, mede vanwege een vochtiger microklimaat tussen de bladeren. Tijdens die uren meer licht aanbieden zou dan de plantfotosynthese wel degelijk iets kunnen verhogen.

De tweede nuancerings ligt op gebied van plantritme. Zoals eerder aangegeven is het plantritme van sluiting en opening van de huidmondjes niet in beton gegoten (zie tabel 20 in hoofdstuk 3.4). Wat in de opkweek een goede sturing lijkt te zijn gezien het gemeten plantritme, zou mogelijk tijdens de koeling minder goed kunnen uitpakken door mogelijke verschuiving van het plantritme (geen metingen aan gedaan in deze kasproef). Voor de praktijk is het dus veiliger om rond de 9-10 uur dat de lichtsom hoog moet zijn (CAM-fase III, verwerking van malaat bij gesloten huidmondjes) een marge in te bouwen om kwaliteitsverlies te voorkomen. Idealiter is het plantritme zichtbaar op de klimaatcomputer door middel van sensoren, zodat hierop geanticipeerd kan worden (zie hoofdstuk 5 Inventarisatie sensoren voor praktijktoepassing).

2.2.2 Resultaten plantgewicht

Tijdens de proef is op 4 momenten het plantgewicht gemeten:

- Bij start (week 43, 2016, leeftijd 9 weken): 8 planten per cultivar ($4 \times 8 = 32$), Tabel 10.
- Einde opkweek II (week 9, 2017, leeftijd 27 weken): 30 planten per cultivar per behandeling ($8 \times 30 = 240$), Tabel 11.
- Einde koeling (week 18, 2017, leeftijd 36 weken): 45 planten per cultivar per behandeling ($8 \times 45 = 360$), Tabel 12.
- Einde afkweek (week 27, 2017, leeftijd 45 weken): 40 planten per behandeling bij twee cultivars ($4 \times 40 = 160$), Tabel 13.

Bij de eerste oogst, 9 weken na oppotten, viel op dat bij alle vier de cultivars het drooggewicht van de wortels fors hoger lag dan het drooggewicht van de bladeren (Tabel 10). Blijkbaar wordt er door de kleine plantjes relatief veel geïnvesteerd in de wortel.

Tabel 10. Versgewicht (FW) en drooggewicht (DW) van vier cultivars *Phalaenopsis*. De planten waren 9 weken oud (Jewel 11 weken). $N=8$ planten per cultivar.

	Donau	Jewel	Las Palmas	Sacramento
FW-blad	38.8	24.1	35.4	31.3
DW-blad	2.00	1.40	1.94	1.64
FW-wortel	23.4	17.7	26.3	16.9
DW-wortel	3.19	2.69	3.77	2.66
% DW-blad	5.2%	5.8%	5.5%	5.3%
% DW-wortel	14.7%	17.5%	14.3%	14.8%

Aan het einde van de opkweek vielen de volgende zaken op (Tabel 11):

- Het drooggewicht van de wortels bij Las Palmas en Sacramento was significant zwaarder bij de controle. Donau en Jewel laten dezelfde trend zien (niet significant).
- Het drooggewicht van de bladeren verschilde niet, behalve bij Las Palmas.
- Het percentage drogestof (DW/FW) van blad en wortel was in bijna alle gevallen significant hoger onder de controle. Dit wijst op meer vochtstress en zou een mogelijke verklaring voor het hogere wortelgewicht kunnen zijn.

Tabel 11. Versgewicht (FW) en drooggewicht (DW) van *Phalaenopsis*. Verschillende letters (a, b) geven per cultivar statistisch significante verschillen tussen de behandelingen aan ($n=6$ met 5 planten per herhaling, dus 30 planten per behandeling, t -toets, $\alpha < 0.05$; ns= niet significant).

	Donau		Jewel		Las Palmas		Sacramento	
	Controle	Dim	Controle	Dim	Controle	Dim	Controle	Dim
FW-blad	141 ^{ns}	150 ^{ns}	94 ^{ns}	95 ^{ns}	101 ^a	96 ^b	112 ^{ns}	118 ^{ns}
DW-blad	7.3 ^{ns}	7.4 ^{ns}	5.5 ^{ns}	5.4 ^{ns}	5.6 ^a	5.2 ^b	6.3 ^{ns}	6.4 ^{ns}
FW-wortel	71 ^{ns}	69 ^{ns}	50 ^{ns}	49 ^{ns}	76 ^a	61 ^b	66 ^{ns}	58 ^{ns}
DW-wortel	5.6 ^{ns}	5.1 ^{ns}	4.5 ^{ns}	4.1 ^{ns}	6.1 ^a	4.6 ^b	5.7 ^a	4.9 ^b
FW-totaal	212 ^{ns}	219 ^{ns}	145 ^{ns}	144 ^{ns}	177 ^a	157 ^b	179 ^{ns}	176 ^{ns}
DW-totaal	12.9 ^{ns}	12.5 ^{ns}	9.9 ^{ns}	9.5 ^{ns}	11.8 ^a	9.8 ^b	12.0 ^{ns}	11.2 ^{ns}
% DW-blad	5.1% ^a	4.9% ^b	5.8% ^a	5.6% ^b	5.6% ^b	5.4% ^b	5.6% ^a	5.4% ^b
% DW-wortel	7.8% ^a	7.4% ^b	8.9% ^a	8.5% ^b	8.0% ^b	7.6% ^b	8.6% ^{ns}	8.4% ^{ns}

Aan het einde van de koelfase viel op dat (Tabel 12):

- Het drooggewicht van de wortel bij de controle overal zwaarder was. Bij Sacramento was dit statistisch niet significant.
- Het bladgewicht verschilde niet of nauwelijks
- Opnieuw was het percentage drogestof in bijna alle gevallen significant hoger bij de controleplanten. Dit wijst op meer vochtstress en zou een mogelijke verklaring voor het hogere wortelgewicht kunnen zijn.

De vraag kan gesteld worden dat als de controle relatief meer assimilaten in de wortels steekt, waarom dan het bladgewicht van de dimbehandeling niet hoger ligt dan de controle? Het zou kunnen dat de controle meer assimilaten beschikbaar heeft en daarom zwaardere wortels, maar geen zwaarder spruitgewicht vanwege sink-limitatie. Met andere woorden, de groeisnelheid van de spruit heeft al z'n maximum bereikt. Of de controle heeft niet meer assimilaten beschikbaar dan de dimbehandeling, maar de wortels groeien sterker door een hoger dampsspanningsdeficiet bij de controle door de volle belichting op de uren dat de plant verdampt in de middag.

Tabel 12. Versgewicht (FW) en drooggewicht (DW) van *Phalaenopsis*. Verschillende letters (a, b) geven per cultivar statistisch significante verschillen tussen de behandelingen aan (n=9 met 5 planten per herhaling, dus 45 planten per behandeling, t-toets, $\alpha < 0.05$; ns= niet significant).

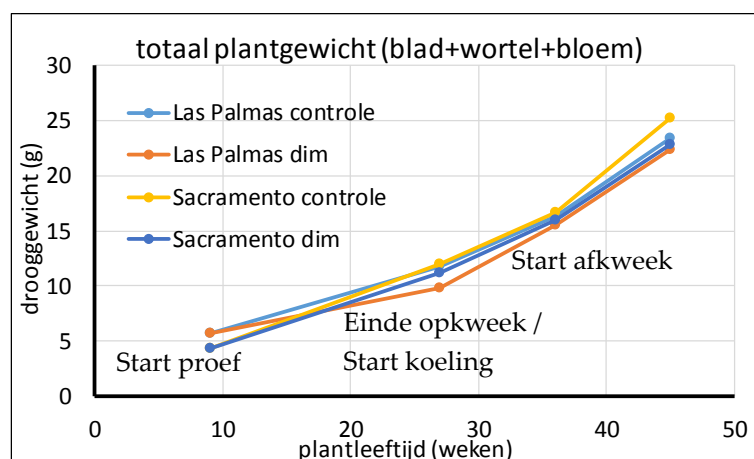
	Donau		Jewel		Las Palmas		Sacramento	
	Controle	Dim	Controle	Dim	Controle	Dim	Controle	Dim
FW-blad	184 ^{ns}	188 ^{ns}	126 ^{ns}	120 ^{ns}	134 ^{ns}	139 ^{ns}	142 ^{ns}	152 ^{ns}
DW-blad	10.5 ^{ns}	10.3 ^{ns}	7.9 ^{ns}	7.3 ^{ns}	7.9 ^{ns}	7.9 ^{ns}	8.5 ^{ns}	8.7 ^{ns}
FW-wortel	100 ^a	91 ^b	76 ^a	68 ^b	107 ^{ns}	101 ^{ns}	96 ^{ns}	88 ^{ns}
DW-wortel	8.1 ^a	7.1 ^b	6.8 ^a	6.0 ^b	8.5 ^a	7.6 ^b	8.1 ^{ns}	7.3 ^{ns}
FW-totaal	284 ^{ns}	279 ^{ns}	202 ^{ns}	188 ^{ns}	241 ^{ns}	240 ^{ns}	238 ^{ns}	241 ^{ns}
DW-totaal	18.5 ^{ns}	17.4 ^{ns}	14.7 ^a	13.4 ^b	16.4 ^a	15.5 ^b	16.7 ^{ns}	16.0 ^{ns}
% DW-blad	5.7% ^a	5.5% ^b	6.3% ^a	6.1% ^b	5.9% ^a	5.7% ^b	6.0% ^a	5.7% ^b
% DW-wortel	8.1% ^{ns}	7.9% ^{ns}	9.0% ^{ns}	8.9% ^{ns}	7.9% ^a	7.5% ^b	8.5% ^{ns}	8.3% ^{ns}

Aan het einde van de afkweek zijn alleen de cultivars Las Palmas en Sacramento gemeten. Van deze cultivars zijn van beide behandelingen alleen tweetakkers geoogst. Bij beide cultivars verschilde het spruitgewicht (blad en bloem) niet terwijl het drooggewicht van de wortels bij controle nog steeds 1-1.5 gram zwaarder was. De conclusie kan dus getrokken worden dat de tweetakkers bovengronds hetzelfde gewicht kunnen hebben, terwijl de wortel in het geval van de dimbehandeling lichter is.

Tabel 13. Versgewicht (FW) en drooggewicht (DW) van Phalaenopsis. Verschillende letters (a, b) geven per cultivar statistisch significante verschillen tussen de behandelingen aan (n=8 met 5 planten per herhaling, dus 40 planten per behandeling, t-toets, $\alpha < 0.05$; ns= niet significant).

	Las Palmas		Sacramento	
	Controle	Dim	Controle	Dim
FW-blad	158 ^{ns}	162 ^{ns}	183 ^{ns}	178 ^{ns}
DW-blad	9.0 ^{ns}	9.0 ^{ns}	10.3 ^{ns}	9.9 ^{ns}
FW-wortel	131 ^{ns}	125 ^{ns}	132 ^a	110 ^b
DW-wortel	9.3 ^a	8.2 ^b	9.6 ^a	7.9 ^b
FW-bloem	65 ^{ns}	65 ^{ns}	64 ^{ns}	61 ^{ns}
DW-bloem	5.0 ^{ns}	5.1 ^{ns}	5.3 ^{ns}	5.1 ^{ns}
FW-totaal	354 ^{ns}	353 ^{ns}	378 ^a	350 ^b
DW-totaal	23 ^{ns}	22 ^{ns}	25 ^a	23 ^b
% DW-blad	5.7% ^a	5.5% ^b	5.6% ^a	5.5%
% DW-wortel	7.1% ^a	6.6% ^b	7.3% ^{ns}	7.2% ^{ns}
% DW-bloem	7.8% ^{ns}	7.9% ^{ns}	8.2% ^{ns}	8.3% ^{ns}

Figuur 7 geeft het gewichtsverloop over de tijd weer. Te zien is dat het plantgewicht in de laatste 18 weken ongeveer verdubbelt ten opzichte van einde opkweek. De lichtonderschepping per plant neemt na de opkweek niet heel veel meer toe, terwijl de trend is dat de toename in drooggewicht in de afkweek hoger is dan gedurende de koeling. De gemiddelde groei was voor Las Palmas en Sacramento 0.53-0.57 gram per week gedurende de koeling en 0.77-0.86 gram per week gedurende de afkweek. In de afkweek lag de lichtsom per dag ook nog eens 1 mol lager dan gedurende de koeling. Dit wekt de suggestie dat de toenemende assimilatenvraag (ontwikkeltende bloemtakken) in de afkweek een positief effect heeft op de groei (toename in drogestof per tijdseenheid). Beperking van de groei door lage assimilatenvraag (sink-limitatie) zou bij Phalaenopsis wel degelijk een rol kunnen spelen. Het opzoeken van de grenzen met het dimmen van de lampen zou dan in de opkweek minder riskant zijn dan in de koeling, terwijl dit het meest riskant zou zijn in de afkweek.



Figuur 7. Plantgewicht van start tot einde proef. De zichtbare verschillen tussen de controle en de dimbehandeling zijn terug te voeren op verschil in wortelgewicht, zie tabel 11-13. Te zien is dat het plantgewicht in de laatste 18 weken ongeveer verdubbelt ten opzichte van einde opkweek.

2.2.3 Resultaten tak- en bloemtellingen

De taktellingen zijn verricht aan de gehele partij nog resterende planten: ~400 planten per behandeling. De bloemtellingen zijn alleen gedaan aan de planten die op de middentafels stonden (zie plattegrond in Figuur 4). Deze tellingen zijn gedaan bij ongeveer gelijke gemiddelde rijpte per cultivar: als er per plant gemiddeld 2 tot 3 bloemen open waren. Het aantal takken, zijtakken en bloemknoppen is op twee manieren geteld: Botanisch en commercieel volgens de veilingdefinitie (VBN, product specification, Phalaenopsis in pots, 2013). Bij de botanische telling zijn alle takken, zijtakken en bloemknoppen ongeacht grootte meegeteld. De veilingdefinitie komt kortgezegd op het volgende neer:

- Alleen bloemknoppen groter dan 0.5 cm tellen mee
- Takken met drie of meer bloemknoppen (groter dan 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 plant is 'vertakt' als de plant tenminste 10 knoppen (groter dan 0.5 cm) heeft en er tenminste drie bloemknoppen (groter dan 0.5 cm) op de zijtakken zitten.

Steekproeven van Ter Laak bij de praktijkreferentiepartij van Donau en Las Palmas lieten voor beide cultivars 100% meertakkers zien, en hiervan 35 tot 45 % een 3-takker (of meer dan 3). Dit is fors meer dan bij de planten uit beide proefkassen. Het percentage meertakkers lag voor Donau, Sacramento en Las Palmas dicht bij de 100% (Tabel 14); er waren slechts enkele drietakkers. Het lagere percentage 3- of meertakkers ligt waarschijnlijk aan de 1°C te hoge koeltemperatuur in de proefkassen. Deze kon niet op de 19°C worden gehouden vanwege de wintersimulatie (veel natuurlijk daglicht wegschermen en 16 uur SON-T aan).

Tabel 14. Effect behandelingen op het percentage meertakkers van vier cultivars *Phalaenopsis*. Verschillende letters (a, b) geven statistisch significante verschillen tussen de behandelingen aan (t-toets, $\alpha < 0.05$; ns= niet significant).

	Donau		Sacramento		Las Palmas		Jewel	
	Controle	Dim	Controle	Dim	Controle	Dim	Controle	Dim
Middentafel telplanten (± 230)	96%	87%	98%	91%	100%	99%	89%	79%
Zijtafel + randplanten (± 200)	94%	96%	98%	93%	100%	100%	91%	81%
Gewogen Gemiddelde	95%^{ns}	91%^{ns}	98%^{ns}	92%^{ns}	100%^{ns}	100%^{ns}	89%^b	80%^a

Bij de dimbehandeling lag het percentage meertakkers voor de cultivars Donau, Sacramento en Jewel respectievelijk 4, 6 en 9% lager dan voor de controle. Dit was alleen voor Jewel statistisch significant lager. De dimstrategie heeft dus in ieder geval voor Jewel een licht negatief effect gehad op het aantal meertakkers. Mogelijke oorzaken hiervoor zijn:

- Tijdens koeling is de 'winter' verlengd, dus verschillen zijn uitvergroot.
- Het is onduidelijk of een lager wortelgewicht einde opkweek (mede) de oorzaak is en/of dat er toch minder assimilaten beschikbaar waren tijdens de koelfase. Zeker is dat voor Las Palmas een lager wortelgewicht geen invloed had op takvorming.

- Een iets lagere beschikbaarheid van assimilaten kan niet uitgesloten worden. De fotosynthese-metingen zijn gebaseerd op bovenste bladeren terwijl het altijd mogelijk is dat dieperliggende bladeren iets andere opname patronen laten zien waarbij C3-fotosynthese in de namiddag mogelijk een grotere rol zou kunnen spelen.

De vraag kan gesteld worden waarom een lager percentage meertakkers in de proeven in de klimaatkamers van Plant Lighting te Bunnik (2016 en 2017, zie hoofdstuk 3) niet naar voren is gekomen. Hiervoor zijn drie mogelijke redenen te noemen:

- De temperatuur in de koeling was relatief hoog bij Ter Laak (20.9°C en 19.9°C voor respectievelijk plant- en luchttemperatuur), door de 'wintersimulatie' in het voorjaar. In Bunnik lag dit een graad lager.
- Er is gestuurd op gelijke planttemperatuur, dus de luchttemperatuur lag iets hoger in de dimkas (Tabel 6). Planttemperatuur is vanwege de meting met een IR-camera vooral gemeten aan de bovenste bladeren, die het meeste opwarmen door de volle belichting in de controle-kas. Hierdoor zou de temperatuur van de wortels en onderste bladeren enkele tienden hoger kunnen hebben liggen in de dimkas.
- Toeval. Zoals meestal bij kasproeven waren er geen echte herhalingen: er was één proefkas met alle controleplanten en één proefkas met alle dimplanten. Wat zou er gebeuren als de proef één of meerdere keren opnieuw gedaan werd en de behandelingen en proefkassen worden omgewisseld? In de klimaatkamerproeven van Plant Lighting was wel sprake van een herhaling (twee klimaat-units per behandeling).

In Tabel 15 staan de bloemtellingen weergegeven van de tweetakkers. Er was een groter aantal open bloemen bij dimbehandeling Sacramento, die partij was dus iets rijper. Dit geeft ook meer knoppen > 5 mm. Over alle vier de cultivars gezien verschilt de takkwaliteit van de tweetakkers niet. Ook de taklengte verschilt niet, de tweede tak is gemiddeld 3 tot 5 cm korter dan de eerste tak. De cultivar Donau is bij Ter Laak ook getoetst op uitbloei. Hier werden geen verschillen tussen de behandelingen gevonden.

Tabel 15. Effect van de dimbehandeling op het aantal bloemen van vier cultivars Phalaenopsis. Verschillende letters (a, b) geven statistisch significante verschillen tussen de behandelingen aan (t-toets, $\alpha < 0.05$; ns= niet significant).

Behandeling	Donau		Sacramento		Las Palmas		Jewel	
	Controle	Dim	Controle	Dim	Controle	Dim	Controle	Dim
Open bloemen	3.0 ^{ns}	3.1 ^{ns}	2.0 ^b	3.4 ^a	4.1 ^{ns}	4.4 ^{ns}	3.2 ^{ns}	3.0 ^{ns}
Knop hoofdkam commercieel	15.6 ^{ns}	15.7 ^{ns}	17.8 ^b	18.4 ^a	17.2 ^b	17.6 ^a	14.1 ^{ns}	14.1 ^{ns}
Knop totaal commercieel	16.7 ^{ns}	16.6 ^{ns}	20.7 ^b	22.0 ^a	27.2 ^{ns}	27.2 ^{ns}	17.3 ^{ns}	16.7 ^{ns}
Knop totaal botanisch	20.6 ^{ns}	19.9 ^{ns}	26.6 ^{ns}	26.0 ^{ns}	30.9 ^{ns}	30.3 ^{ns}	19.2 ^{ns}	18.4 ^{ns}
Fractie vertakt	0.15 ^{ns}	0.11 ^{ns}	0.50 ^{ns}	0.54 ^{ns}	0.92 ^{ns}	0.91 ^{ns}	0.47 ^{ns}	0.44 ^{ns}
Lengte tak 1	62 ^{ns}	61 ^{ns}	59 ^{ns}	60 ^{ns}	66 ^{ns}	67 ^{ns}	63 ^{ns}	63 ^{ns}
Lengte tak 2	59 ^{ns}	58 ^{ns}	54 ^{ns}	55 ^{ns}	61 ^{ns}	62 ^{ns}	59 ^{ns}	58 ^{ns}

2.3 Conclusies praktijkonderzoek

De volgende conclusies kunnen getrokken worden uit de kasproef:

- Tweekakkers verschillen niet in kwaliteit ondanks verschil in wortelgewicht. Hierbij moet bedacht worden dat er wel gelijke omstandigheden waren tijdens de afkweek. Hier staat tegenover dat in een praktijkteelt het ook nooit 28 weken winter is zoals in deze proef is gesimuleerd.
- De dimstrategie heeft in ieder geval bij Jewel een licht negatief effect gehad op het aantal meertakkers, waarom?
 - Tijdens koeling is de 'winter' verlengd, dus verschillen zijn uitvergroot.
 - Het is onduidelijk of een lager wortelgewicht einde opkweek (mede) de oorzaak is en/of dat er toch minder assimilaten beschikbaar waren tijdens de koelfase.
 - i. Zeker is dat een lager wortelgewicht voor Las Palmas geen verschil uitmaakte in takvorming en takkwaliteit
 - ii. Ondanks geen verschillen in bladfotosynthese van de bovenste bladeren, is het niet uit te sluiten dat plantfotosynthese (inclusief dieperliggende bladeren) onder het dimregime iets lager was waardoor er minder takuitloop was bij Jewel.
 - Waarom geen effect op aantal meertakkers in proeven klimaatkamers Plant Lighting te Bunnik (2016 en 2017)? Mogelijke redenen:
 - i. De temperatuur in de koeling was relatief hoog bij Ter Laak (20.9°C planttemperatuur en 19.9°C luchttemperatuur). Dit werd veroorzaakt door de 'wintersimulatie' in het voorjaar. In Bunnik lag dit een graad lager.
 - ii. Er is gestuurd op gelijke planttemperatuur, dus de luchttemperatuur lag iets hoger in de dimkas. Doordat planttemperatuur is gemeten aan de bovenste bladeren, zou de temperatuur van de wortels en onderste bladeren enkele tienden hoger kunnen hebben liggen in de dimkas. Verklaart dit het gevonden effect?
 - iii. Toeval. Zoals meestal bij kasproeven waren er geen echte herhalingen: er was één proefkas per behandeling. Wat zou er gebeuren als de proef één of meerdere keren opnieuw gedaan werd en de behandelingen en proefkassen worden omgewisseld? NB. In de klimaatkamerproeven van Plant Lighting waren er twee klimaat-units per behandeling.

De boodschap voor het praktijk-segment dat topkwaliteit nastreeft is om voorlopig niet op de grens van de besparing te gaan zitten (~30%), maar voor de zekerheid hier wat meer vandaan te blijven.

3 Onderzoek verdergaande besparing in klimaat-ruimtes Plant Lighting

De volgende onderzoeksvragen stonden centraal:

- Kan de dimstrategie met SON-T ook uitgevoerd worden in de koelfase?
- Kan er nog meer op elektra bespaard worden door het ritme van de belichting te verschuiven, zodat er meer geprofiteerd wordt van het gratis daglicht?

3.1 Materiaal en methoden onderzoek klimaatruimtes

3.1.1 Plantmateriaal

De Phalaenopsis planten cv. Sacramento werden geleverd door Ammerlaan Orchideeën op 20 oktober 2016 (week 42). Deze partij was week 28 opgepot (14 weken oud). De leverdatum vanuit Anthura was 9 juni 2016 (week 23). Sommige telers poten diezelfde week op, Ammerlaan laat ze nog een tijdje in de tray doorgroeien. Bij een andere teler zouden het dus 19 weken oude planten genoemd kunnen worden. De planten werden verder opgekweekt bij 3 verschillende belichtingsstrategieën in de klimaat-units van bij Plant Lighting B.V. (zie 3.1.2). De gehanteerde tijdlijn van opkweek via koeling naar afkweek staat vermeld in tabel 16. Foto 6 geeft een impressie van de groei in de klimaatunits te Bunnik.

Tabel 16. Overzicht tijdlijn van de proef

Weeknummer, jaar	Handeling
Week 28, 2016	opgepot bij Ammerlaan orchideeën
Week 42, 2016	start proef, 50 pl/m ² , (29-30°C etmaaltemperatuur)
Week 4, 2017	start koelfase, 45 pl/m ² (19°C etmaaltemperatuur)
Week 12, 2017	start afkweek (21°C etmaaltemperatuur)
Week 21/22, 2017	1-2 bloemen open, planten teruggeleverd aan Ammerlaan orchideeën

De hartbladeren werden bij aankomst gemerkt met een elastiekje (foto 21 oktober 2016)



26 weken oud: twee weken voor start koelfase (foto 12 januari)



Planten terug naar Ammerlaan Orchideeën (foto vrijdag 2 juni)



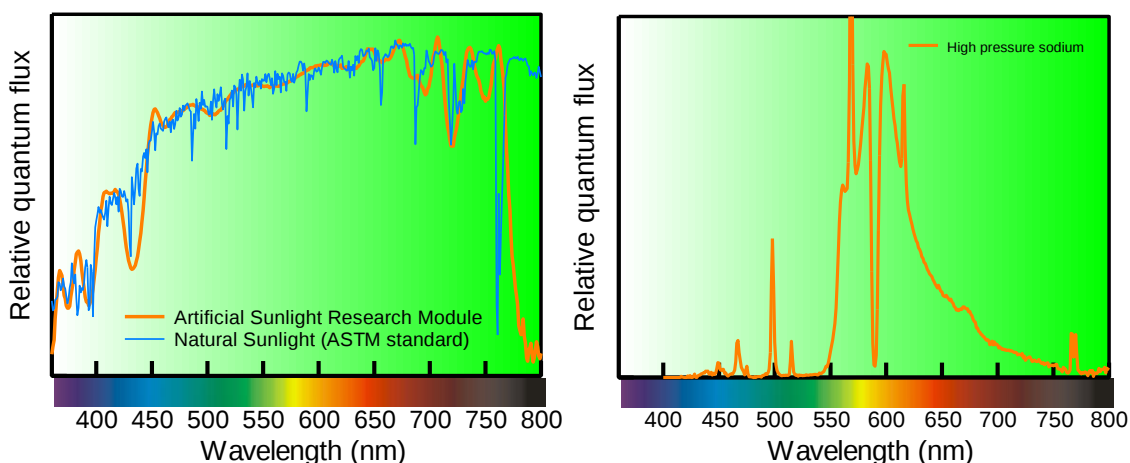
Foto 6. Overzicht groeiproef Phalaenopsis 'Sacramento' in klimaatunits van 1.65m bij 1.25m te Bunnik

3.1.2 Teeltcondities en behandelingen gedurende de opkweek tot en met de afkweek

De Phalaenopsisplanten cv. 'Sacramento' van 14 weken oud werden geteeld in zes klimaat-units van 1.65 bij 1.25 m ieder bij Plant Lighting te Bunnik (Foto 6). De etmaaltemperatuur was tijdens de opkweek 29-30°C. De plantdichtheid was tijdens de verdere opkweek 50 planten/m². RV was ~70% en CO₂ was 800 ppm. Er werd naar behoefte gegoten met EC van 1.0. Gemiddeld was dit eens in de 5 dagen. Tijdens de 8 weken koeling werd de gemiddelde etmaaltemperatuur verlaagd naar 19°C (gemiddelde planttemperatuur van 19.7°C). Tevens werd de plantdichtheid verlaagd van 50 naar 45 planten/m². Er werden drie behandelingen uitgevoerd: Controle, Stuurlicht en Bioritme. Bij de stuurlicht- en bioritme-behandeling werd de SON-T op bepaalde uren van de dag fors gedimd of zelfs uitgezet. Tijdens de afkweek was de gemiddelde etmaaltemperatuur 20.6°C (gemiddelde planttemperatuur 21.3°C). De controle-behandeling waar de SON-T niet gedimd werd, had gemiddeld een ~0.5°C hogere planttemperatuur dan beide andere behandelingen waar er substantieel minder SON-T werd gegeven.

Belichting en behandelingen

De belichting in de klimaat-units was een combinatie van *kunstmatig* daglicht en bijbelichting met SON-T. Het kunstmatig daglicht werd in alle behandelingen toegepast om het daglicht in kassen in de Nederlandse winter te simuleren. Dit kunstmatig daglicht werd gecreëerd door een op een LED-lampen gebaseerde dimbare en programmeerbare lichtbron (Artificial Sunlight Research Module, Specialty Lighting Holland, Breda, Nederland). Deze lichtbron produceerde licht met een spectrale samenstelling die vrijwel gelijk is aan het lightspectrum van natuurlijk daglicht (golflengtegebied 360-760 nm; Figuur 8). Het kunstmatig daglicht werd in trappen op- en afgeschakeld van 31 (½ uur), naar 62 (1 uur) naar 81 µmol/m²/s (5 uur) en weer terug gedurende 8 uur van 9:00 tot 17:00 uur. Dit resulteerde in een daglichtsom van 2 mol/m²/dag. Dit is vergelijkbaar met de gemiddelde lichtsom daglicht in de kas gedurende enige weken rondom de kortste dag.



Figuur 8. Links: Spectrale samenstelling van natuurlijk zonlicht (blauwe lijn) en van de zonlichtlampen (oranje lijn). Rechts: Spectrale samenstelling van SON-T licht.

Het kunstmatig daglicht werd in alle behandelingen aangevuld met SON-T belichting. In de controle werd 16 uur met SON-T bijbelicht (van 1:00-17:00 uur). De stuurlichtbehandeling startte met de eerste 1½-uur lang een lage intensiteit SON-T en 's middags stond de SON-T volledig uit. Bij de bioritme-behandeling startte de lichtperiode drie uur later (4:00 uur) en werd ook de eerste 1½ uur SON-T gedimd. Vervolgens werd tot 11:00 voluit belicht. De intensiteit kunstdaglicht varieerde: 4 'bewolktere dagen' en drie 'zonnige dagen' per week. Tussen 11:00 en 15:00 werd gedimd afhankelijk van de intensiteit 'kunstdaglicht'. De laatste 4 uur van de dag werd er een lage intensiteit SON-T gegeven. De details staan vermeld in tabel 17. In Figuur 9 staan de patronen van de SON-T belichting en het kunstdaglicht weergegeven.

Tabel 17. Drie behandelingen bij 'Sacramento' gedurende de opkweek tot en met de afkweek (in duplo uitgevoerd). Het kunstdaglicht had een lichtsom van 2.0 mol en stond aan van 9:00-17:00, zie ook Figuur 1. De dagsom SON-T varieerde tussen de 3.5 en de 5.2 mol.

Behandeling	Dagsom PAR (besparing SON-T)	SON-T aan-uit	Intensiteit (μmol) SON-T	Fotoperiode
1. controle	7.2 (0%)	1:00-17:00	90 (16 uur)	16 uur
2. Stuurlicht ochtend, middag uit	5.6 (31%)	1:00-2:30 2:30-13:00	30 (1½ uur), 90 (10½ uur) 0 (4 uur)	16 uur
3. Bioritme*, 'gewone dag'	5.5 (32.6%)	5:00-6:30 6:30-11:00 11:00-15:00 15:00-17:00 17:00-21:00	30 (1½ uur), 90 (4½ uur) 60 (4 uur) 90 (2 uur) 30 (4 uur)	16 uur
3. Bioritme*, 'zonnige dag'	5.5 (47.9%)	5:00-6:30 6:30-11:00 11:00-15:00 15:00-17:00 17:00-21:00	30 (1½ uur), 90 (4½ uur) 0 (4 uur)** 90 (2 uur) 30 (4 uur)	16 uur

*Bioritme was dusdanig ingesteld dat er drie zonnige en 4 gewone dagen per week waren. Gemiddeld geeft dit 39% besparing op SON-T

** op 'zonnige dagen' werd er tussen 11:00 en 15:00 60 μmol/m²/s extra kunstzonlicht (=0.8mol) gegeven.

Toelichting behandelingen:

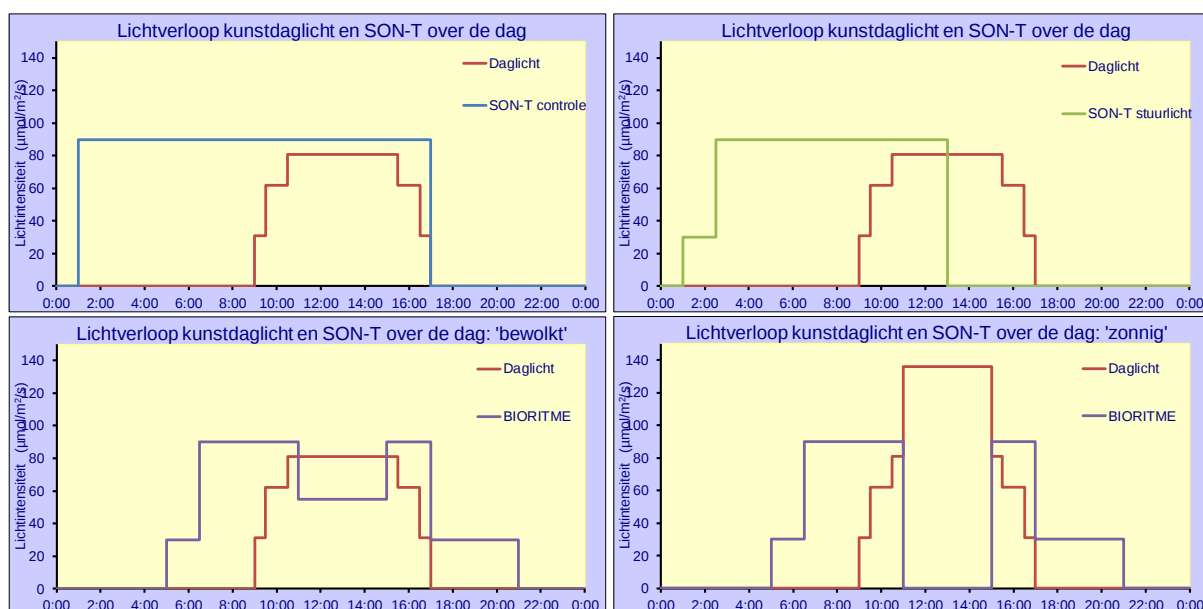
1. *Controle*: De keuze voor rond de 7 mol lichtsom is gebaseerd op eerder onderzoek: Deze lichtsom is in het platte vlak van bladeren net aan verzadigend. Een hogere lichtsom zou eventuele negatieve effecten van dim-behandelingen vertroebelen, omdat bijvoorbeeld 30% minder licht t.o.v. 10 mol (= 7 mol) geen grote negatieve effecten zal hebben. Bij 7 mol heeft 30% minder licht wel negatieve effecten, tenzij dit op een 'slimme manier' gebeurt, wat in deze proef is getracht te doen.

2. *Stuurlicht*: Deze behandeling is in recent onderzoek zeer succesvol gebleken in opkweek-2 en afkweek (zie rapport Minder belichten II, Trouwborst *et al.* 2016). In dit onderzoek is de behandeling uitgebreid met ook de koelperiode. Dat is 8 weken extra licht dimmen en dus een substantiële extra besparing. Mogelijk heeft deze behandeling als positief nevenresultaat

minder licht-gerelateerde koude-schade omdat het licht tijdens de meest stressvolle uren van de dag gedimd staat. Grootste vraag is wat het effect zal zijn op de bloemtakuitloop.

3. *Bioritme*: Bij de huidige vroege start van belichting rond de kortste dag in de winter (~1:00 uur 's nachts) valt de cruciale 9 uren-periode waarin een voldoende hoge lichtsom gehaald moet worden voor verwerking van het CO₂ uit malaat (CAM-fase III) tussen ongeveer 2:30 en 11:30. In de winter is er grofweg 4 -5 uur rond het hoogste punt van de zon nog redelijk wat daglicht, dus tussen 11:00 en 15:00, zeker op heldere dagen. Dus wordt er nu heel slecht gebruik gemaakt van het gratis daglicht. Door drie uur later te starten met belichten (en de eerste 1½-uur gedimd), is getracht de cruciale 9 uren-periode te verschuiven van 5:30 naar 14:30 uur. In de praktijk zou dan op heldere dagen een flink gedeelte van die periode de belichting uitgezet (of gedimd) kunnen worden. Om de 16 uur fotoperiode te behouden, is belicht tot 20:00 met 30 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Zo wordt fors elektra bespaard. Bovendien kan het een voordeel voor de praktijk zijn dat er minder vermogen aan armaturen nodig is om de gewenste lichtsom gedurende deze cruciale periode (CAM-fase III) te behalen.

Een belangrijke nevenvraag is wat voor effect een verschoven ritme heeft op het aantal meertakkers: Lamplicht wordt minder dominant ten opzichte van daglicht (minder rood licht), hetgeen mogelijk takken zou kunnen kosten (Dueck *et al.* 2015), maar altijd met stuurlicht (lamplicht) de nacht ingaan zou juist wel weer gunstig kunnen zijn. Mogelijke nadelen van een verschoven planritme zouden hogere kosten voor stroom tussen 17:00-20:00 kunnen zijn. Tevens zou dit regime kunnen conflicteren met lichthinderregels in geval er geen verduisteringsscherm aanwezig is. Beide zaken verschillen tussen individuele bedrijven, in dit onderzoek wordt alleen het principe onder de loep genomen.



Figuur 9. Lichtverloop van het kunstdaglicht en de SON-T over de dag. De lichtsom kunstdaglicht was 2 mol/dag en de lichtsom SON-T was respectievelijk 5.2 en 3.6 mol/dag voor de controle en de stuurlicht-behandeling. De bioritmebehandeling kreeg afwisselend 3.5 en 2.7 mol SON-T per dag en 2 en 2.8 mol kunstdaglicht.

3.2 Resultaten en discussie klimaatkamerteelt

3.2.1 Effect van dimstrategie op de CO₂-opname (gemeten tijdens de koeling)

Tijdens de koelfase is de CO₂-opname, lichtbenutting (ETR) en huidmondjesgeleidbaarheid over een etmaal gemeten. De resultaten hiervan staan in Tabel 18. De volgende zaken vallen op:

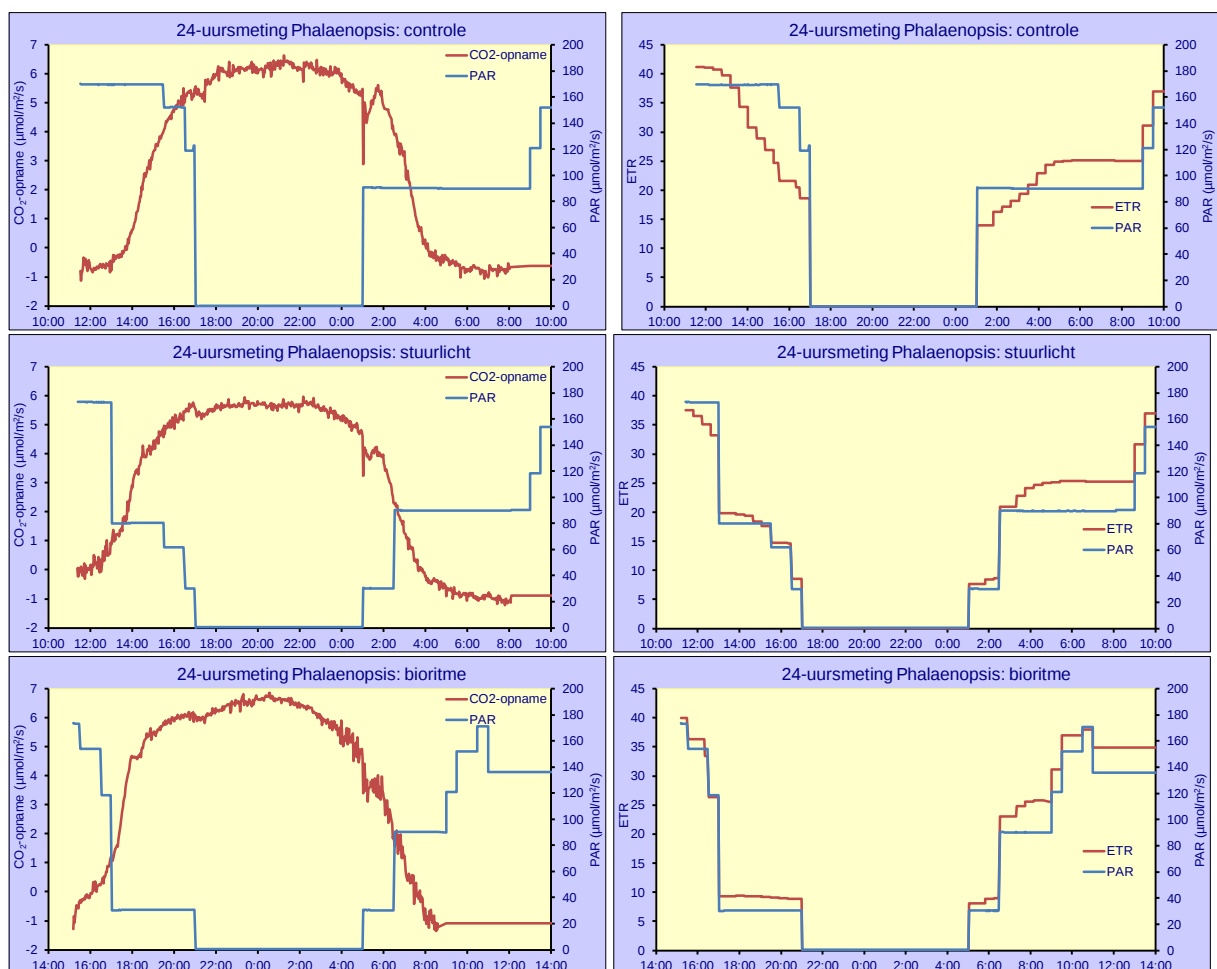
- De dagsom CO₂-opname verschilde, statistisch gezien, niet tussen de controle en beide dim-behandelingen. De dagsom CO₂-opname was onder behandeling Bioritme wel iets hoger dan onder behandeling stuurlicht. Ditzelfde patroon wordt waargenomen bij de dagsom ETR bij gesloten huidmondjes (CAM-fase III).
- De hogere dagsom ETR bij gesloten huidmondjes onder Bioritme ten opzichte van de stuurlichtbehandeling komt overeen met een hogere PARsom tijdens deze fase.
- De dagsom ETR (dus gedurende CAM-fase II, III en IV) was bij de controle beduidend hoger dan onder beide dimbehandelingen. Echter, de assimilatieaanmaak vindt voornamelijk plaats gedurende de periode met gesloten huidmondjes (CAM-fase III): de ETR-som in die periode was niet significant lager in de dim-behandelingen dan in de controle.
- De opnametijden verschilden niet tussen de controle en de stuurlichtbehandeling. Bij alle drie de behandelingen sloten de huidmondjes 2.5-3 uur na start van de dag en openden 11.5-12 uur na start van de dag. De sluiting van de huidmondjes na start van de dag valt relatief laat vergeleken met eerdere onderzoeken. In paragraaf 3.4 wordt hier verder op ingegaan.

Tabel 18. Effect van lichtbehandeling tijdens de koelfase op de CO₂-opname, opnametijd, ETR en lichtsom tijdens CAM-fase III in de opkweek en de afkweek. Verschillende letters (a, b, c) geven per teeltfase statistisch significante verschillen tussen de gemiddelden aan (n=10-12, Fisher's LSD, $\alpha < 0.05$; ns= niet significant).

	Controle (7.2 mol)	Stuur SON (5.6 mol)	Bioritme (5.5 mol)
Dagsom CO ₂ (mol CO ₂)	0.25 ^{ab}	0.24 ^b	0.27 ^a
Dagsom ETR (mol e ⁻)	1.54 ^a	1.36 ^b	1.38 ^b
Dagsom ETR gesloten huidmondjes (mol e ⁻)	0.96 ^{ab}	0.91 ^b	1.02 ^a
Start opname*	12:56 ^b	12:30 ^b	15:59 ^a
Eind opname	3:59 ^b	3:42 ^b	7:24 ^a
Opnametijd	15:02 ^{ns}	15:11 ^{ns}	15:25 ^{ns}
PARsom CAM-fase III	3.87 ^{ab}	3.65 ^b	4.04 ^a

* De belichtingstijden waren 1:00-17:00 voor de controle en de stuurlichtbehandeling en 5:00-21:00 voor de bioritme-behandeling.

Figuur 10 geeft de patronen van de CO₂-opname en de ETR weer van de dimbehandelingen. Hierbij valt op dat de ETR vooral bij de controle-behandeling in de middag en de ochtend langdurig sub-optimaal is (ETR loopt niet synchroon met PAR). Het sub-optimale verloop kan gekoppeld worden aan de huidmondjesopening: Op die momenten is er vermoedelijk CO₂-tekort op chloroplastniveau, omdat er geen CO₂ vrijkomt uit malaat. Hierdoor draait de Calvin-cyclus (donkerreactie) suboptimaal waardoor de lichtreactie van de fotosynthese ook sub-optimaal draait. Gedurende die uren is er gedimd in de stuurlicht en bioritme-behandeling. Opvallend is ook dat de tijd dat 's ochtends de ETR sub-optimaal verloopt (gedurende de periode dat de huidmondjes nog open zijn), veel langer is dan tijdens de metingen in de proefkassen van Ter Laak (Figuur 6). De reden waarom in deze proef de huidmondjes langer open zijn is niet duidelijk. In paragraaf 3.4 worden van verschillende proeven de gegevens op een rij gezet.



Figuur 10. Representatieve patronen van de CO₂-opname (rode lijnen links) en de ETR (rode lijnen rechts) over het etmaal van de dimbehandelingen met een PARsom van respectievelijk 7.2, 5.6 en 5.5 mol. De blauwe lijn geeft de lichtintensiteit (PAR) aan. De gekozen grafieken liggen het dichtst bij het gemiddelde van desbetreffende behandeling. NB de tijdsas van de bioritme-behandeling ligt vier uur verschoven ten opzichte van de controle en de stuurlichtbehandeling! De gemiddelden staan weergegeven in Tabel 18.

3.3 Effect van de dimstrategie op plantkwaliteit

De planttemperatuur van de stuurlicht en bioritme-behandelingen was $\sim 0.5^{\circ}\text{C}$ koeler dan de controle door de verminderde intensiteit SON-T belichting. Dit leverde onder de proefomstandigheden een significante teeltvertraging op van 7 tot 10 dagen (Tabel 19). In de praktijk kan hiervoor gecompenseerd worden door in de uren dat SON-T gedimd staat, iets meer bij te stoken (zie hoofdstuk 2).

Koude-schade aan de bladeren is overigens in geen van de behandelingen zichtbaar opgetreden in deze proef, ook niet in de dimbehandelingen met een $\sim 0.5^{\circ}\text{C}$ lagere planttemperatuur. Onze verwachting is dat koudeschade minder snel zal optreden als het licht tijdens de meest stressvolle uren van de dag gedimd staat.

Het aantal bloemtakken, zijtakken en bloemknoppen is op twee manieren geteld: Botanisch en commercieel volgens de veilingdefinitie (VBN, product specification, phalaenopsis in pots, 2013). Bij de botanische telling zijn alle bloemtakken, zijtakken en bloemknoppen ongeacht grootte meegeteld. De veilingdefinitie komt kortgezegd op het volgende neer:

- Alleen bloemknoppen groter dan 0.5 cm tellen mee
- Takken met drie of meer bloemknoppen (groter dan 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 plant is 'vertakt' als de plant tenminste 10 knoppen (groter dan 0.5 cm) heeft en er tenminste drie bloemknoppen (groter dan 0.5 cm) op de zijtakken zitten.

Tabel 19 geeft de resultaten weer:

- Er was tussen de behandelingen geen statistisch significant verschil in % tweetakkers.
- Volgens de commerciële telling verschilde het aantal bloemknoppen niet significant tussen de Controle en Bioritme. De Stuurlicht-behandeling had 0.9 knop minder.
- Botanisch gezien had de Controle ruim een knop meer dan Bioritme en bijna twee knoppen meer dan de Stuurlichtbehandeling. Dit verschil wordt veroorzaakt door meer knoppen op de zijtakken. Hierdoor is het % vertakt ook hoger onder de controle dan onder beide dim-behandelingen.

Een iets hogere plantkwaliteit (hoger % vertakt, en botanisch gezien meer bloemknoppen) bij een kortere teeltduur suggereert dat de Controle-planten meer assimilaten tot hun beschikking hadden dan de beide dim-behandelingen. Dit komt niet overeen met de gemeten CO_2 -opname over een etmaal, die tussen de Controle en Bioritme niet verschilde. Hierbij moet wel bedacht worden dat de CO_2 -opname gemeten wordt op bladniveau. Hoewel de gemeten bladeren wel de bladeren zijn die het meeste licht opvangen, is dit nog steeds geen assimilatenproductie op plantniveau. Mogelijk hebben dieperliggende bladeren een hogere assimilatenproductie bij de Controle ten opzichte van de dim-behandelingen. Vergelijkbaar onderzoek in 2016 (dimmen in opkweek en afkweek, maar niet in de koelfase) liet overigens geen verschil zien met de controle (Trouwborst et al 2016). Tevens moet niet vergeten worden dat in deze proef er 35 weken op rij de winter is gesimuleerd. Hierdoor worden kleine verschillen uitvergroot.

Tabel 19. Effect van de verschillende belichtingsbehandelingen op de bloei-kenmerken van *Phalaenopsis* 'Sacramento'. Meetwaarden worden gegeven voor alle planten en voor een selectie van alleen de tweetakkers. Verschillende letters (a, b) geven statistisch significante verschillen tussen de gemiddelden aan (ns=niet significant verschil; twee herhalingen, 90 planten per herhaling, Fisher's LSD, $\alpha < 0.05$)

	Controle (7.2 mol)	Stuur SON (5.6 mol)	Bioritme (5.5 mol)
Teeltduur vanaf koeling	117	124	127
% tweetakker	94% ^{ns}	94% ^{ns}	97% ^{ns}
Aantal bloemknoppen hoofdkam (commerciële telling)	17.0 ^{ns}	16.8 ^{ns}	17.3 ^{ns}
Totaal bloemknoppen (commerciële telling)	19.1 ^a	18.2 ^b	18.7 ^{ab}
Totaal bloemknoppen (botanische telling)	22.5 ^a	20.7 ^b	21.2 ^b
% 'vertakt'	34% ^a	24% ^b	21% ^b
Alleen tweetakkers			
Aantal bloemknoppen hoofdkam (commerciële telling)	17.4 ^{ns}	17.3 ^{ns}	17.5 ^{ns}
Totaal bloemknoppen (commerciële telling)	19.6 ^a	18.7 ^b	18.9 ^{ab}
Totaal bloemknoppen (botanische telling)	23.0 ^a	21.2 ^b	21.4 ^b
Aantal bloemknoppen hoofdkam (botanische telling)	18.6 ^{ns}	18.1 ^{ns}	18.3 ^{ns}
Aantal bloemknoppen zijtakken (botanische telling)	4.4 ^a	3.1 ^b	3.1 ^b
% 'vertakt'	35% ^a	24% ^b	20% ^b
Lengte tak 1	68.2 ^{ns}	68.4 ^{ns}	68.6 ^{ns}
Lengte tak 2	63.1 ^{ns}	63.1 ^{ns}	62.3 ^{ns}

3.4 Consistentie openingstijden van de huidmondjes: overzicht over meerdere onderzoeken

Om de openingstijden van de huidmondjes zo objectief mogelijk vast te stellen, zijn deze bepaald op de momenten dat de CO₂-opname door de 0-as heen gaat. Meestal stabiliseert de CO₂-opname bij gesloten huidmondjes overigens pas rond de waarde -1 (zie bijvoorbeeld figuur 6 en 10). Tabel 19 geeft een samenvatting van eerder uitgevoerde onderzoeken waarbij de patronen van openen en sluiten van de huidmondjes bepaald zijn. Hieruit komt geen duidelijk patroon naar voren. In ieder geval is duidelijk dat de openingstijden van de huidmondjes lang niet altijd hetzelfde zijn. Om scherp te kunnen sturen met belichting en CO₂-dosering zal dit dus gemeten moeten worden in de kas.

Tabel 20. Openingstijden huidmondjes in relatie tot start van de belichting van de controle-behandelingen. In de meeste gevallen was de lichtperiode 16 uur. Tenzij anders vermeld, zijn de tijden gemeten bij cultivar 'Sacramento'.

Proef	Licht- periode	Tijd dat huidmondjes gesloten zijn	Huidmondjes dicht na start lichtperiode	Huidmondjes open na start lichtperiode	Tijd huidmondjes dicht
Minder belichten I opkweek	2:30-18:30	4:15-12:57	1:45	10:27	8:42
Minder belichten I afkweek 6.5 mol	2:30-18:30	4:43-13:46	2:13	11:16	9:03
Minder belichten II afkweek ronde 1	2:00-18:00	3:38-13:29	1:38	11:29	9:51
Minder belichten II afkweek ronde 2	2:00-18:00	4:08-14:11	2:08	12:11	10:03
Minder belichten II opkweek	2:00-18:00	3:20-12:15	1:20	10:15	8:55
Zuiniger met CO ₂ , opkweek, CO ₂ -cellen demokwekerij	3:00-18:00	4:02-13:26	1:02	10:26	9:24
Zuiniger met CO ₂ , afkweek CO ₂ -cellen demokwekerij	6:00-21:30	7:41-16:18	1:41	9:23	7:42
Minder belichten III opkweek onderzoeks- kas Ter Laak Orchids gemiddelde 4 rassen	1:00-17:00	1:28-11:27	0:28	10:27	9:59
Minder belichten III koeling Plant Lighting	1:00-17:00	3:59-12:56	2:59	11:56	8:57

3.5 Conclusies klimaatkamer-proef

De volgende conclusies kunnen worden getrokken:

- De CO₂-opname over een etmaal van de bovenste bladeren verschilt niet of nauwelijks tussen de controle en de twee dimbehandelingen (NB bladfotosynthese is nog geen plantfotosynthese).
- De 1-1.5 uur opstarttijd tot een efficiënte lichtbenutting na aangaan van het licht is zeker geen wetmatigheid. In dit onderzoek was dit namelijk 3 uur.
 - NB 1-1.5 uur opstarttijd in opkweek gemeten in twee onderzoeken in 2016 en ook bij Ter Laak. Dit pleit voor gebruik sensoren om belichting en CO₂ dosering scherper te kunnen sturen.
- Beide dimregimes hadden geen negatief effect op het % tweetakkers.
- De controle laat een iets beter resultaat zien: 0.4-0.9 meer bloem (commercieel), 10% meer zijtak en sneller.
 - De oorzaak waarom de controle iets beter presteert dan de dimbehandelingen is niet geheel duidelijk gezien de gelijke CO₂-opname gemeten op bladniveau. De plantfotosynthese zou mogelijk iets hoger kunnen hebben liggen bij de controle (iets hogere fotosynthese bij dieperliggende bladeren).
 - Vergelijkbaar onderzoek in 2016 (dimmen in opkweek en afkweek, maar toen niet in de koelfase) liet geen verschil zien met de controle.
 - NB in de praktijk is het nooit 35 weken achter elkaar december. Wel in deze proef. Daardoor worden kleine verschillen uitvergroot.

Vanuit dit resultaat gaat de volgende waarschuwing uit: Om bij inpassing van de dimstrategie in de praktijk het risico op een klein kwaliteitsverlies te beperken, wordt aangeraden om minder de grenzen opzoeken dan wij in deze proef gedaan hebben. Het beste zou zijn als gedimd kan worden op basis van informatie van sensoren die inzicht geven in het ETR-verloop en/of het huidmondjesgedrag (zie ook Hoofdstuk 5).

4 Teeltrecept op basis van huidige inzichten

In dit hoofdstuk worden de huidige inzichten waarmee een 'teeltrecept voor belichting' van Phalaenopsis gedurende de wintermaanden kan worden gemaakt, opgesomd:

Welke daglengte?

Voorlopig 16 uur. 16 uur bleek tot hogere CO₂ opname te leiden dan 9.5 uur, 11.5 uur en 13.5 uur. Andere daglengtes zijn niet getest. Mogelijk effect daglengte op bloeiïnductie hierin niet meegenomen.

Timing van de belichting: Wanneer moet er een specifieke lichtsom behaald worden?

In de periode dat de huidmondjes dicht zijn (CAM-fase III). Dit is de cruciale periode voor afbraak van malaat waarin het licht wordt gebruikt voor omzetting van het vrijkomend CO₂ in assimilaten.

Wanneer gaan de huidmondjes dicht?

~1 uur tot 3 uur na aangaan licht (daglicht of lamplicht) en dan gedurende een periode van 9 à 10 uur. Het is beter om dit te meten in de kas!

Hoeveel licht moet er in die periode gegeven worden?

Op basis van eerder onderzoek rond de 4 mol in het platte vlak. Door de schuine bladstand in de huidige vazenteelt is globaal factor 0.7 van toepassing (Figuur 3). Om 4 mol in het platte vlak te halen, zou er dus 5.7 mol gegeven moeten worden. Dit moet gegeven worden in de 9-10 uur dat de huidmondjes dicht zijn. Gemiddeld is er dan gedurende die 9-10 uur 175-160 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR nodig. Gedurende de wintermaanden kan deze intensiteit het beste behaald worden door de combinatie van daglicht en SON-T! Er moet dan wel gezorgd worden dat CAM-fase III gedurende de natuurlijke dag valt.

NB bovenstaande geldt het sterkst voor de koeling en afkweek. In de opkweek is mogelijk niet assimilatie (source), maar bladafsplitsingssnelheid (sink) de beperkende factor voor groeisnelheid.

Hoe zorg je dat CAM-fase III (huidmondjes gesloten) gedurende de natuurlijke dag valt?

1-3 uur na start van de belichting gaan de huidmondjes dicht. Door op winterdagen pas laat (bijvoorbeeld 5:00 uur) te starten met belichting, zal de periode dat de huidmondjes gesloten zijn gedurende de natuurlijke dag vallen: ruwweg van 6:30-15:30.

Bijkomend voordeel van CAM-fase III overdag is dat het niet erg is als CO₂ en RV zakken als de ramen open moeten bij veel instraling. In de namiddag als de huidmondjes weer open gaan (CAM-fase IV) is behoud van CO₂ en RV in de kas belangrijk en eenvoudiger te realiseren dan midden op de dag.

En verder nog belichten?

Ja, 16 uur daglengte halen door aan het begin van de dag ~1.5 uur dimlicht (~30 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ of stapsgewijs opschakelen) te geven in de periode dat de huidmondjes nog open zijn en gaan sluiten. In de namiddag nadat huidmondjes weer opengaan zo'n 2 uur 60-90 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (incl. daglicht) vanwege de mogelijkheid op directe C3-fotosynthese aan het begin van CAM-fase IV. Daarna de 16 uur volmaken met ~30 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (incl. daglicht).

Op basis van bovenstaande punten volgt hieronder een voorbeeld teeltrecept rond de kerst.

Voorbeeld uitgangspunten:

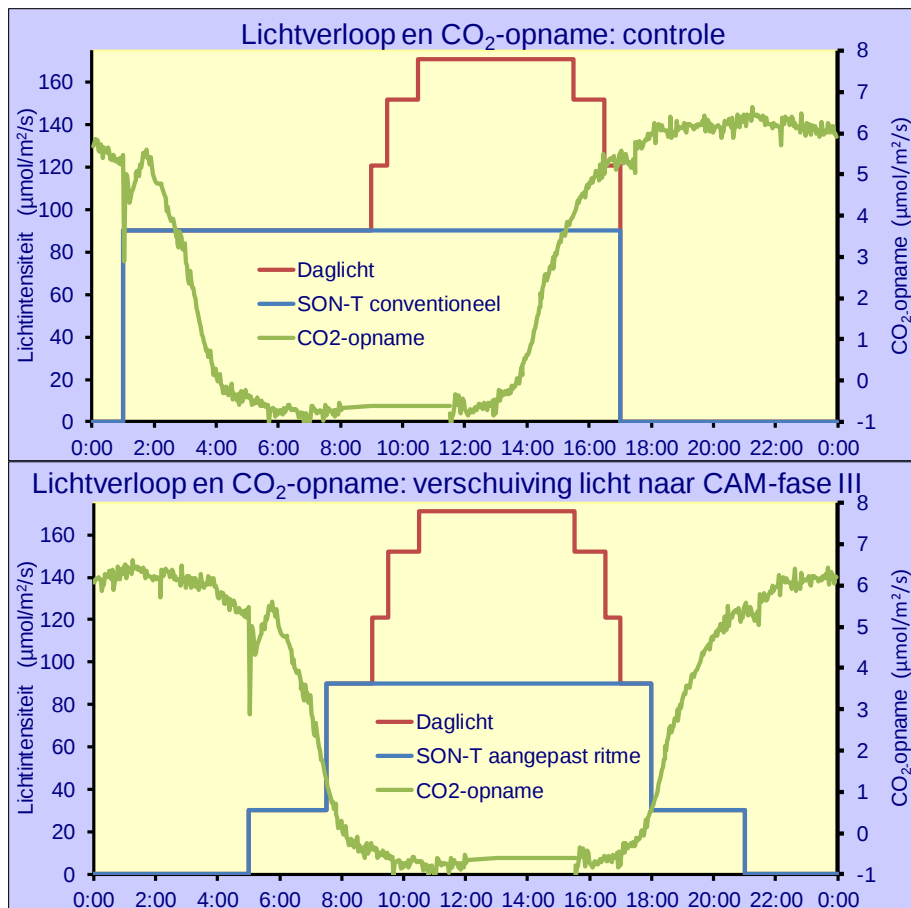
- Installatie van 90 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ SON-T belichting in tweeën schakelbaar
- Daglicht ~9:00-17:00; periode van ~4 uur soms redelijke intensiteit daglicht (tussen 11:00-15:00 uur, want het hoogste punt van de zon ligt in Nederland dan rond 12:50).
- CAM-fase III (periode van huidmondjes dicht en malaatafbraak) zoveel mogelijk tijdens de natuurlijke dag omdat dan de lichtsom belangrijk is (zie Figuur 11 onder).
- Geschat plantritme: 1 uur na start belichting gaan de huidmondjes dicht (einde CAM-fase II) en start CAM-fase III die 9 uur duurt. Dus 10 uur na start van de belichting gaan de huidmondjes weer open en start CAM-fase IV, waarbij er in het begin van CAM-fase IV kans is op enige directe C3-fotosynthese.

Voorbeeld teeltrecept:

- 5:00 uur lampen aan op 50% (45 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$), iets minder mag als dit technisch haalbaar is.
- 6:00 uur lampen vol aan op 90 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$; CO₂ dosering uit, want huidmondjes dicht. Als CO₂ nog niet meteen zakt mag de dosering eerder dan 6:00 uur uit.
- 6:00-15:00 à 16:00 uur: 9-10 uur 90 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ geeft lichtsom 2.9-3.2 mol/m² in CAM-fase III; minstens 4.0 mol/m² wenselijk en eerder 5.0-5.7 mol/m² bij teelt in vazen.
- dus ruim 1 of 2 mol daglicht in CAM-fase III gewenst. Door 5:00 te starten met belichten is dat op de niet extreem donkere dagen haalbaar. Bij 0:00 starten (CAM-fase III 1:00-10:00 uur) zeker niet.
- daglichtdrempel lampen uit bij 225 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ daglicht in kas.
- 15:00 uur CO₂ dosering aan. (CO₂-dosering staat dus 15 uur per etmaal aan)
- 16:00 streven naar minimaal 60 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ licht (daglicht+lamplicht) voor CAM-fase IV (kans op directe C3-fotosynthese).
- 17:00 lampen aan op 45 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, iets minder mag als dit technisch haalbaar is.
- 21:00 lampen uit. Of iets eerder als stroom erg duur is.

Voordelen van dit teeltrecept zijn onder andere:

- Een hogere lichtsom in de meest cruciale periode van de dag (CAM-fase III)
- Minder geïnstalleerd vermogen belichting nodig om een bepaalde lichtsom te halen in CAM-fase III.
- Minder abrupte afkoeling gewas in namiddag/begin avond



Figuur 11. Visualisatie van gewenste methode belichting. De bovenste figuur laat een voorbeeld-praktijksituatie rond de kortste dag zien: SON-T aan van 1:00-17:00 (data CO₂-opname van de controlebehandeling klimaatkamer-proef, vergelijk met Figuur 10). Er is daglicht tussen 9:00-17:00. In de onderste figuur is het SON-T regime dusdanig verschoven zodat het daglicht in de cruciale fase van malaatafbraak (CAM-fase III, gesloten huidmondjes) valt. NB plantritme ligt hier anders dan als uitgangspunt genomen in bovenvermeld voorbeeld teeltrecept.

Mogelijke risico's van dit teeltrecept zijn onder andere:

- Kosten gedimd doorbelichten tot 21:00 uur in winter: stroom soms duur begin avond, maar lichtintensiteit is wel laag.
- Minder licht in namiddag (CAM-fase IV).
- Minder afdroging gewas door dimmen licht.
- Lagere VPD en daardoor meer ziektedruk? potworm?
- Minder verdamping door dimmen lampen in namiddag (CAM-fase IV) en daardoor minder nutriënten-transport naar bladeren? Sturing op minimale gewasactiviteit is belangrijk.
- Teeltvertraging vanwege lagere planttemperatuur, hier zal via luchttemperatuur (stoken) voor gecompenseerd moeten worden.

5 Inventarisatie sensoren voor praktijktoepassing

Om in de praktijk elektra besparende dimregelingen voor de belichting te kunnen toepassen dient het ritme van de planten bekend te zijn: Wanneer neemt de lichtbenutting af doordat het malaat opraakt? Wanneer begint de plant met CO₂-opname in de middag (enige tijd daarna dimmen belichting)? Wanneer sluiten de huidmondjes in de ochtend, zodat de lampen van dim-stand naar volle belichting moeten? Bij planten met voldoende vocht valt de daling in lichtbenutting min of meer samen met de opening van de huidmondjes. Bij drogere potten kan de huidmondjesopening later liggen dan de daling in lichtbenutting. Idealiter krijgt dus de tuinder inzicht in de lichtbenutting (dynamiek van malaat) en inzicht in het gedrag van de huidmondjes (belangrijk voor CO₂ dosering en detecteren vochtstress). Een tuinder moet dit zelf eenvoudig kunnen meten. In dit hoofdstuk is geïnventariseerd welke plantsensoren hiertoe geschikt zijn of moeten worden (door)ontwikkeld.

Achtereenvolgens komen aan de orde:

- Stomata-sensor (Hoogendoorn, Jan Voogt)
- Thermoview-camera
- Bladdikte-sensor
- Sensoren op basis van chlorofyl-fluorescentie

5.1 Stomata sensor

5.1.1 Theorie

De stomata-sensor is ontwikkeld door Jan Voogt (Hoogendoorn Growth Management). Deze softsensor berekent op basis van de energiebalans van het gewas de huidmondjesopening (Voogt & van Weel, 2008). De theorie achter dit model wordt wat breder omschreven in het rapport 'Effecten van materialen die Nabij-Infrarode straling aan het kasdek tegenhouden' (van Weel 2009). Kort samengevat komt het op het volgende neer:

De basisvergelijking voor de energiebalans luidt:

$$R = I^*E + Q + G$$

- R is de door het gewas geabsorbeerde straling (radiation) in W/m².
- I^*E de latente warmteoverdracht door verdampend water in W/m².
- I is de verdampingswarmte voor water=2256 kJ/kg.
- E is de evapotranspiratie (pot- en plantverdamping) in kg/m²/s.
- Q is de voelbare warmteoverdracht (convectie op basis van temperatuurverschil) in W/m².
- G is de warmteoverdracht via langgolvlige warmtestraling naar de bodem en het kasdek in W/m². De langgolvlige straling G is afhankelijk van het temperatuurverschil tussen blad en het kasdek of de grond.

De convectieve warmteoverdracht wordt berekend met de formule:

$$Q = h (T_{\text{kas}} - T_{\text{gewas}})$$

- h de effectieve warmteoverdrachtcoëfficiënt tussen gewas en omgeving in $\text{W/m}^2/\text{K}$. deze is afhankelijk van de lichtsnelheid rondom de bladeren, welke varieert over de dag. Bij Phalaenopsis is h te schatten door tijdens CAM-fase III (gesloten huidmondjes) op een stabiel moment de energiebalans door te rekenen.
- T_{kas} de temperatuur van de kaslucht (in $^{\circ}\text{C}$ of K)
- T_{gewas} de temperatuur van het gewas (in $^{\circ}\text{C}$ of K).

De overdracht van langgolvlige straling wordt berekend volgens:

$$G = \sigma (\epsilon T_{\text{gewas}}^4 - \epsilon T_{\text{kasdek}}^4)$$

- σ is de constante van Stephan Boltzmann ($5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2/\text{K}^4$)
- ϵ , emissiviteit, dimensieloos tussen 0-1. Is naar schatting voor glas en gewas hoger dan 0.9.
- T_{gewas} of T_{kasdek} moeten hier in Kelvin worden uitgedrukt.

Als R , Q en G bekend zijn, dan kan E (verdamping) berekend worden door:

$$E = (R - Q - G) / l$$

Vervolgens kan de huidmondjesopening (g_s) worden berekend met de gemodificeerde wet van ohm:

$$E = g_s (VP_{\text{plant}} - VP_{\text{kaslucht}})$$

- E =verdamping in $\text{g/m}^2/\text{s}$
- VP =dampdruk van plant (berekend uit de planttemperatuur bij 100% RV) en kaslucht (berekend uit de luchttemperatuur en de RV van de kaslucht). Dampdruk wordt gemeten in kPa .
- g_s = stomataire geleidingsvermogen in $\text{g/m}^2/\text{s}/\text{kPa}$. NB vaak wordt het geleidingsvermogen ook weergegeven met de eenheid $\text{mol/m}^2/\text{s}$ (Tabel 9). De eenheid van het geleidingsvermogen hangt af van hoe de drijvende kracht achter verdamping wordt weergegeven: bijvoorbeeld verschil in dampdruk of $\text{mol H}_2\text{O}/\text{mol}$ lucht.

Een correcte werking van de softsensor is dus van meerdere zaken afhankelijk:

- De kortgolvlige straling R in W/m^2 die het blad absorbeert, te berekenen uit de hoeveelheid daglicht en lamplicht in de kas (gemeten door een PAR-meter).
- Temperatuursverschil tussen plant en kaslucht (twee verschillende sensoren).
- Een goede schatting van de warmteoverdrachtscoëfficiënt h .

- RV-meting in de kaslucht: hieruit kan de dampdruk in de kaslucht berekend worden.
- Idealiter de temperatuur van het scherm of het kasdek, en van de emissiviteit ϵ , om de langgolvlige uitstraling te berekenen. Een netto stralingsmeter in de kas zou het verlies via langgolvlige straling direct kunnen meten.

5.1.2 *Toetsing stomatasensor in de proefkas*

De softsensor heeft tijdens de opkweek en koeling meegelopen met de controle-behandeling bij Ter Laak. Hier kwamen een aantal bottlenecks naar voren die (deels) gerelateerd waren aan het feit dat er gewerkt werd in een proefkas.

De proefkassen waren van zichzelf vrij droog. Hierdoor werd de verneveling vaak ingezet. Binnen een vrij kleine ruimte geeft het aanslaan van de verneveling relatief schoksgewijze klimaatveranderingen: de fijne druppeltjes koelen de lucht; planten konden zelfs natslaan als de verneveling lang aanstond; tevens kan de gemeten RV tijdelijk overschat worden door een 'wolk' nevel. Tijdens de proef is de vernevelaar een halve meter verhoogd om de afstand naar de planten zo groot mogelijk te maken.

Om de inzet van de vernevelaar te verminderen, zijn er bevoeiingsmatten uitgerold. Uit het verloop van de plant- en luchttemperatuur bleek dat er nachten waren waarbij de bladtemperatuur zwaar onder de luchttemp dook. Dit was zeker het geval als de RV wat aan de lagere kant was. Op de dag van watergift en de dag dat doek werd natgemaakt was de nachtelijke RV juist wat hoger. In de nachten dat de bladtemperatuur fors lager was dan de luchttemperatuur, bleek dat de vernevelaar fors meer had aangestaan. De oorzaak van de lagere planttemperatuur was dus het natslaan van het gewas. De stomatasensor berekent op zo'n moment een hogere huidmondjesopening dan de werkelijke waarde.

Verder kan de planttemperatuurmeter in het jonge gewasstadium nog veel plastic kragen meten in plaats van bladoppervlak. Foto 7 laat zien dat de richting van de camera (haaks op, of in het verlengde van, de plantrichting) een enorm effect heeft op de hoeveelheid kragen die in beeld zijn.

De huidige planttemperatuurmeters zijn van het type CT11. Deze lens heeft een openingshoek van zo'n 12-13°. De voorgeschreven richthoek van 79° (vanaf de loodlijn) was in eerste instantie niet aangehouden. De planttemperatuurmeter hing ongeveer 70 cm boven gewas met hoek van 50° vanaf de loodlijn. Dit geeft een oppervlak van ~425cm². Dit was 2 planten bij een dichtheid van 50 planten/m². Zolang dit representatief is, is hier natuurlijk niets mis mee. Voor de zekerheid is deze weer op 79° vanaf de loodlijn gezet op een hoogte van 35cm boven het gewas. Volgens de standaardtabel bij een richthoek van 79°, levert dit ~1.3m² planten op (Tabel 21). De gemeten planttemperatuur liet door de wijziging geen ander patroon zien.

Tabel 21. Eigenschappen van het meetvlak van een planttemperatuurmeter CT11 onder een richthoek van 79°.

Hoogte PT-meter ofwel afstand tot gewas (m)	Afstand lens tot eerste raakpunt (m)	Afstand lens tot verste raakpunt (m)	Lengte diameter van de ovale meetspot (m)	Breedte diameter van de ovale meetspot (m)	Oppervlakte meetspot (m ²)
0.35	1.12	4.44	3.32	0.51	1.33

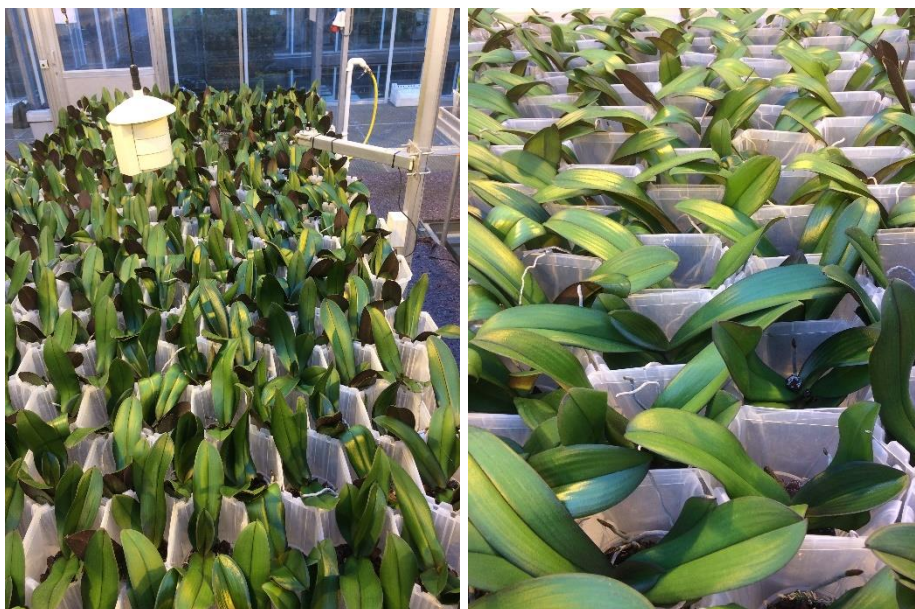
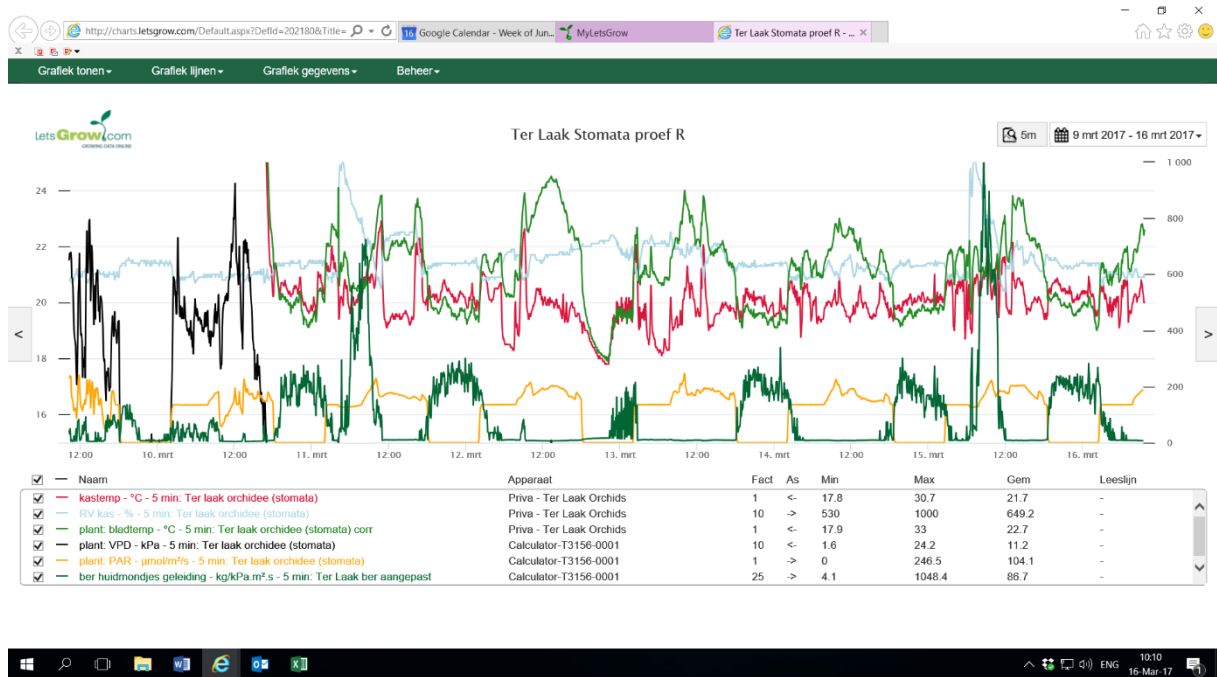


Foto 7. Zichthoek van de planttemperatuurmeter (de foto is genomen met dezelfde hoek als de planttemperatuurcamera). Het beeld haaks op de rij (rechts) levert een veel slechtere planttemperatuurmeting op door de verstorende werking van de plastic kragen dan het beeld in het verlengde van de plantrichting (links). Foto 2 februari 2017.

Tijdens de opkweek leverde de stomatasensor door het vele gebruik van de verneveling geen duidelijk beeld op. In de koelfase was er wel een duidelijker beeld (Figuur 12):

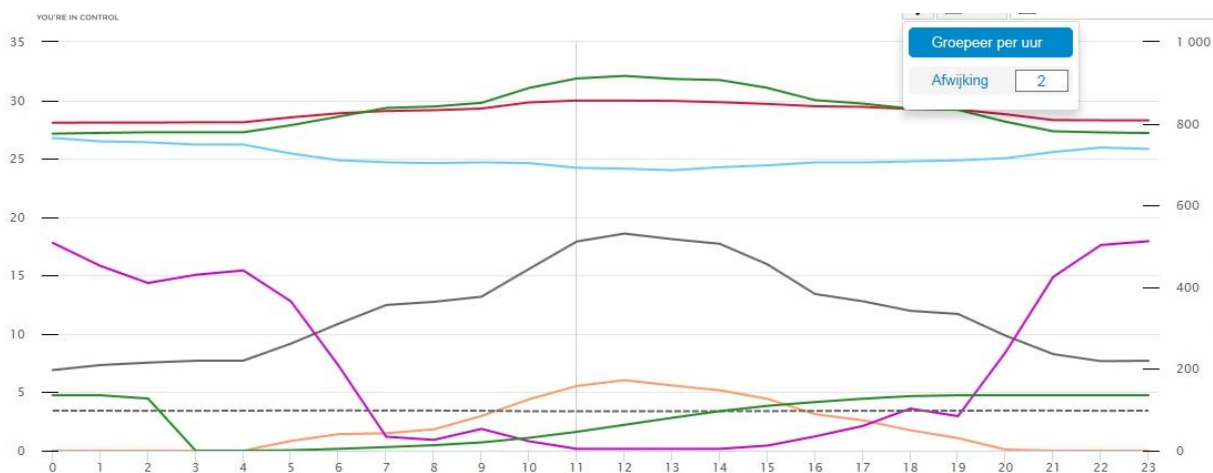
- 's Nachts ligt de bladtemperatuur meestal onder de ruimtetemperatuur
- De berekende opening van de huidmondjes valt globaal samen met het uitgaan van de lampen, waarschijnlijk is dit niet correct. Het uitgaan van de lampen heeft wel een fors negatief effect van 1-2°C op de gewastemperatuur: Dit effect is groter dan het kleiner wordende verschil tussen plant en luchttemperatuur eerder in de middag. Een kleiner wordend verschil tussen plant- en luchttemperatuur zonder dat de inkomende PAR drastisch verandert, duidt op opengaande huidmondjes.
- De berekende sluiting van de huidmondjes ligt duidelijk later dan het aangaan van de lampen. Dit komt overeen met de metingen van de CO₂-opname.
- Op 11 en 15 maart watergift, hierdoor natte planten waardoor er overdag onterecht een geopend huidmondje wordt berekend.



Figuur 12. Screenshot van de stomatasensor tijdens de koelfase. De hardgroene lijn is de berekende huidmondjesopening. (geel=PAR; zwart=VPD; lichtblauw=RV, lichtgroen=bladtemperatuur, rood=luchttemperatuur.

5.1.3 Evaluerende opmerkingen stomata-sensor

De stomata-sensor is een interessante ontwikkeling. Denken vanuit de energiebalans van de plant is nuttig en geeft inzicht in hoe de plant werkt. De stomata-opening van Phalaenopsis is echter zeer beperkt: factor 10 tot 20 keer lager dan bij tomaat. Ook is tijdens de opkweek de potverdamping 50-80% van de totale verdamping (Baas, 2008). Dit vraagt dus een veel zuiverdere afstemming van de gebruikte sensoren (vooral planttemperatuur / luchttemperatuur / RV). De proefkas bleek geen juiste setting om de stomata-sensor goed te toetsen vanwege de grote impact van het gebruik van de vernevelaar. Toepassing van de softsensor in een grote kas laat een beter beeld zien, zeker als hier een cyclisch gemiddelde van wordt gemaakt. Het cyclisch gemiddelde is een nieuwe functionaliteit in LetsGrow. Hiermee kunnen 5 minutenwaarden per uur worden gemiddeld. Dit is een methode om ruis weg te filteren. Figuur 13 geeft hier een voorbeeld van: Te zien is dat de stomata (donkerroze lijn) zo'n 2 uur (7:00) na start dag gesloten zijn en rond 16:00 weer open lijken te gaan. In dit voorbeeld zijn de huidmondjes zo'n 9 uur gesloten wat vrij reëel is voor Phalaenopsis.



Figuur 13. Screenshot stomatasensor gebaseerd op een cyclisch gemiddelde van LetsGrow. Lijnkleur van boven naar beneden: Rood=kasttemperatuur / groen=planttemperatuur / lichtblauw=RV / donkerroze=" berekende stomata-opening / grijs=VPD / groen =PARsom / grijs stippellijn = LS10-doek / geel= PAR. Te zien is dat de stomata zo'n 2 uur na start dag gesloten zijn en rond 16:00 weer open lijken te gaan (Bron: Jan Voogt, Hoogendoorn Growth management).

5.2 Thermoviewcamera

LetsGrow biedt sinds dit jaar (2017) de Thermoview 48 warmtebeeldcamera aan (Figuur 13). Deze camera kan de warmste, koudste en gemiddelde temperatuur in beeld loggen en een foto in zowel warmtebeeld als gewoon visueel beeld tonen en vastleggen. De ruimtelijke (verticale en horizontale) verdeling van de gewastemperatuur wordt hiermee zichtbaar.

Voor Phalaenopsis is de uitdaging om een referentieobject in beeld te krijgen. Bijvoorbeeld een kunstblad. Hiermee kunnen veranderingen van de planttemperatuur ten opzichte van het referentie-object gerelateerd worden aan het openen en sluiten van de huidmondjes.

Zoals hierboven besproken is de stomatasensor onder andere afhankelijk van de gemeten lucht- en de planttemperatuur. Afwijkingen van één van beide sensoren geeft directe storing op de berekende stomata-opening. Als er een object gevonden kan worden dat altijd de luchttemperatuur aanneemt, dan is er sprake van een veel nauwkeurigere methode om verschillen in blad- en luchttemperatuur in beeld te brengen.



Foto 8. Thermoviewcamera (foto: www.warmtebeeldcamera.nl/nl/thermoview-48.html)

5.3 Bladdiktesensor

De bladdiktesensor meet het patroon van de bladdikte over 24 uur. Overdag zijn de huidmondjes dicht en bereikt de bladdikte z'n maximum. 's Nachts staan de huidmondjes open en zijn de bladeren het dunst. Figuur 14 laat het verloop zien van de bladdikte over enkele dagen (rode en blauwe lijn). In groen staat de PAR-lijn weergegeven. Ruim voor het einde van de dag begint de bladdikte al af te nemen. Dit valt zeer waarschijnlijk samen met de opening van de huidmondjes. In de vroege ochtend duurt het nog vrij lang voordat de bladeren hun maximale dikte bereiken. Waarschijnlijk bereikt het blad z'n maximale vochtspanning pas later dan de sluiting van de huidmondjes. Malaat heeft ook een osmotische waarde, hierdoor zal 's nachts bij een gelijke verdampingsdruk en huidmondjesopening de bladdikte licht toenemen en overdag bij gesloten huidmondjes licht afnemen.

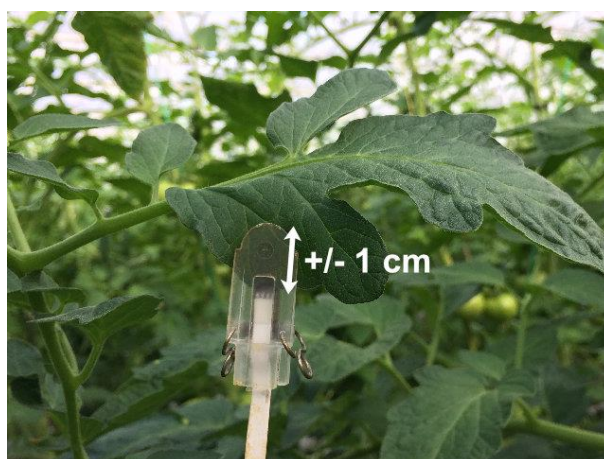
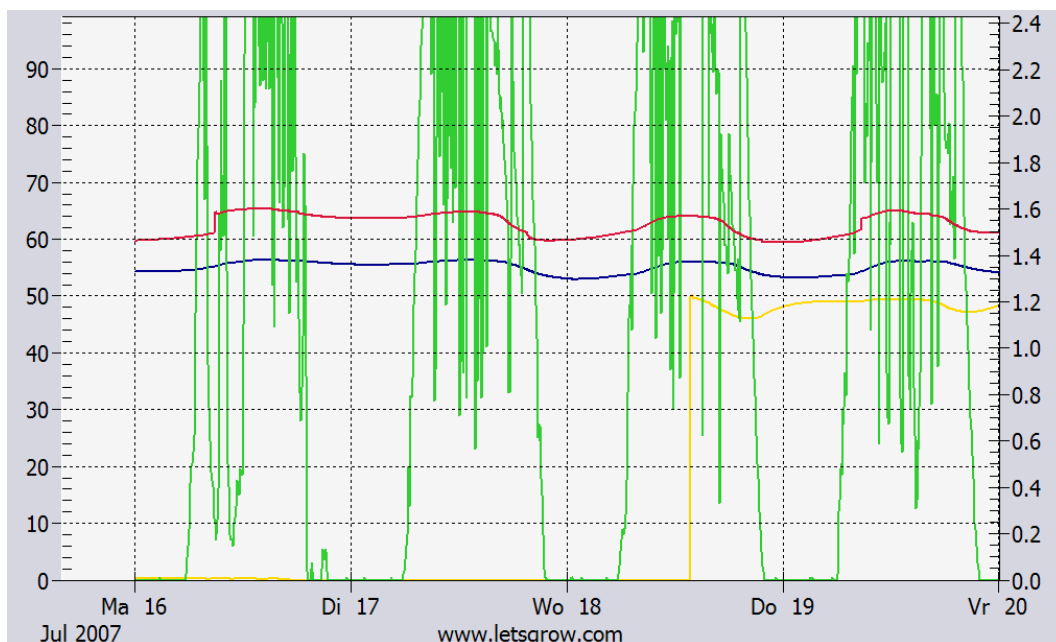


Foto 9. Bladdiktesensor op een tomatenblad (foto: www.plantsensoren.be).



Figuur 14. Screenshot output bladdiktesensoren. De blauwe en de rode lijn geven het verloop van de bladdikte aan over de dag. De groene lijn geeft het verloop van PAR aan. Te zien is dat 's nachts de bladeren het dunst zijn (huidmondjes open) en overdag het dikst (huidmondjes gesloten). Ruim voor het einde van de dag begint de bladdikte al af te nemen (bron: Fytofocus).

5.4 Sensoren op basis van chlorofyl-fluorescentie

Met chlorofyl-fluorescentie metingen kan het lichtrendement van Phalaenopsis in beeld worden gebracht zoals getoond in de Figuren 6 en 10 van dit rapport. Hiermee kan worden vastgesteld wanneer de huidmondjes 's ochtends dicht gaan. Dan is namelijk het lichtrendement bij een gegeven lichtintensiteit maximaal. 's Middags is te meten wanneer het malaat op is. Bij planten zonder vochtstress zullen dan ook de huidmondjes opengaan. Bij vochtstress kan opening van de huidmondjes vertraagd zijn ten opzichte van het moment van opraken van malaat.

Er zijn diverse handsensoren op de markt. Echter om de verandering van de lichtbenutting goed in beeld te brengen, is een continue meting gewenst. Hiertoe bestaan de volgende mogelijkheden:

- De monitoring-PAM (Foto 10, Walz, Duitsland; ook wel Plantivity genoemd, ontsloten via de Growwatch, momenteel geleverd door Fytagoras, Nederland). Het nadeel is dat er maar op één blad gemeten wordt, en dat inzet van meerdere sensoren kostbaar is.
- De HEX-Pam (Walz Duitsland) is de opvolger van de monitoring-PAM. Hiermee worden 6 bladeren tegelijk gemeten. Voorlopig is het nadeel hiervan dat de sensoren nog niet draadloos zijn. Op een Phalaenopsisbedrijf met vele rassen en een opkweek-, koel- en afweekafdeling is het meten van meer dan 6 bladeren wenselijk en zou dus gedacht moeten worden aan minimaal een HEX-PAM per afdeling.
- Er wordt ook gewerkt aan de Horti-sensor (=voorlopige werknaam, geleverd door Sendot, Nederland). Deze sensoren worden ontwikkeld om in grotere aantallen in te kunnen zetten en worden bij voorkeur draadloos.
- Als laatste bestaat sinds 2014 de CropObserver (Phenovation, Nederland). Deze meet op een afstand van drie meter een oppervlak van zo'n 9 m². Via een laserstraal wordt per meetplek in 2 seconden het lichtrendement gemeten. Als er bijvoorbeeld voor wordt gekozen om per 10 minuten een nieuwe meetwaarde te hebben, dan zijn er $600s/2=300$ meetspots binnen de 9 m² mogelijk. Groot voordeel is dat dit apparaat een grotere oppervlakte meet. Nadeel zijn de kosten bij inzet in meerdere afdelingen. Een uitdaging is meting van representatieve bladeren, omdat het apparaat de te meten bladeren zelf selecteert, en een betrouwbare meting van het PAR-niveau op het gemeten punt.

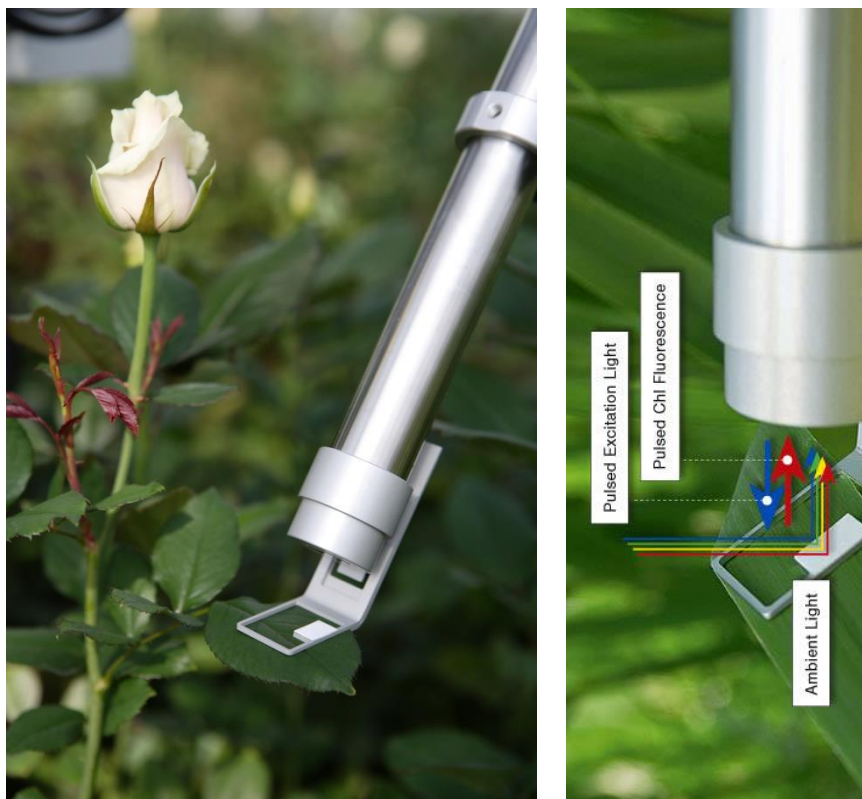


Foto 10. Monitoring-PAM (bron foto rechts: http://www.walz.com/products/chl_p700/monitoring-pam/features.html).

5.5 Evaluatie sensoren

Voor regeling van de belichting is vooral de ETR van belang en is chlorofyl-fluorescentie dus de meest betrouwbare praktisch toepasbare methode. Voor regeling van de CO₂ dosering en detectie van vochtstress is inzicht in het moment van opening van de huidmondjes ook heel nuttig. Gezien de metingen die Plant Lighting in een serie onderzoeken aan Phalaenopsis heeft gedaan, komt het beeld naar voren dat bij planten zonder droogtestress de verlaging in ETR samenvalt met het opraken van het malaat en opening van de huidmondjes. Hetzelfde geldt in de ochtend: ETR op stoom=huidmondjes dicht. Chlorofyl-fluorescentie is dan een prima middel om ook de huidmondjesopening te bepalen bij planten zonder vochtstress.

In geval van droogtestress kunnen huidmondjes pas (uren) later opengaan dan het moment dat malaat opraakt en de ETR gaat dalen. Vandaar dat de combinatie chlorofyl-fluorescentie en een goede huidmondjesbepaling (bijvoorbeeld door de stomata-sensor al dan niet gevoed door de thermoview-camera, of door bladdiktesensoren) het meest complete beeld geeft van de status van de plant, waarop met licht en CO₂-geanticipeerd kan worden.

Referenties

- Baas R. 2008.** Invloed stikstofvoorziening tijdens de opkweek op phalaenopsis: Invloed van de factoren N-concentratie, N-samenstelling, substraatfractie, watergift en droogteperiode op groei, bloeiresultaat en verdamping. *Fytofocus*, 40p.
- Dueck T. Meinen E, Hogewoning SH, Trouwborst G, Pot CS. 2015.** Bloei & Stuurlicht bij Phalaenopsis: Bloei-inductie door stuurlicht spaart energie. Wageningen UR Glastuinbouw, Bleiswijk. 36p.
- Pot CS, Trouwborst G, Schapendonk AHCM. 2011.** Handleiding gebruik van plantsensoren voor de fotosynthese in de praktijk. Wageningen: Plant Dynamics B.V., 28p.
- Ryer AD. 1998.** Light measurement handbook. Vol. 1998. Newburyport: International light, 64p.
- Trouwborst G, Hogewoning SW, Pot CS. 2013.** Meer rendement uit belichting en CO₂ bij Phalaenopsis. Bunnik: Plant Dynamics B.V. & Plant Lighting B.V., 28.
- Trouwborst G, Hogewoning SW, Pot CS. 2014.** Minder belichten Phalaenopsis zonder productieverlies? Plant Lighting B.V., Bunnik. 60p.
- Trouwborst G, Hogewoning SW, van der Spek R. 2016.** Minder belichten Phalaenopsis zonder productieverlies? Plant Lighting B.V., Bunnik. 45p.
- Van der Velden, NJA, & Smit, PX. 2013.** *Groei elektriciteitsconsumptie glastuinbouw: Hoe verder?* LEI, Wageningen UR. 62p.
- van Weel P. 2009.** Effecten van materialen die Nabij-Infrarode straling aan het kasdek tegenhouden. Wageningen UR Glastuinbouw, Bleiswijk. 40p.
- VBN. 2013.** Product specification, phalaenopsis in pots,
- Voogt J. & van Weel P. 2008.** Climate control based on stomatal behaviour in a semi-closed system 'aircokas'. *Acta Hort.* (ISHS) 797:151-156.