

Meer rendement uit licht en CO₂ bij Phalaenopsis



Govert Trouwborst, Sander Hogewoning & Sander Pot
Juni 2013

Meer rendement uit licht en CO₂ bij Phalaenopsis

Juni 2013

Dr. ir. G. Trouwborst¹
Dr. ir. S.W. Hogewoning¹
Ing. C.S. Pot²

¹ Plant Lighting B.V.
Veilingweg 46
3981 PC Bunnik
+31 (0)30 7512069
+31 (0)6 14271525

www.plantlighting.nl
info@plantlighting.nl

² Plant Dynamics B.V.
Koningin Julianastraat 23
6668 AG Randwijk

Deze studie naar grenswaarden voor een energie-efficiënte belichtingsstrategie en CO₂-dosering bij het gewas Phalaenopsis is uitgevoerd in opdracht van het Productschap Tuinbouw en het ministerie van Economische zaken in het kader van het programma Kas als Energiebron. De studie is gebaseerd op fotosynthesemetingen in drie seizoenen uitgevoerd door Plant Dynamics BV en Plant Lighting BV. Voor een snelle indruk van de bevindingen volstaat Bijlage 1 Protocol. In hoofdstuk 1 wordt een korte uitleg over fotosynthese gegeven.

© 2013 Bunnik, Plant Lighting B.V. & Plant Dynamics B.V.

De resultaten uit deze uitgave mogen vrij worden gebruikt, mits de bronnen worden vermeld. Plant Dynamics BV en Plant Lighting BV zijn niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen als gevolg van gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Inhoudsopgave

1. Inleiding.....	4
1.1 Inleiding fotosynthese	4
1.2 Fotosynthese bij CAM-planten	6
1.3 Lichtrespons van de fotosynthese.....	7
1.4 CO ₂ -respons van de fotosynthese.....	8
2. Materiaal en methoden	10
2.1 Inleiding	10
2.2 Plantmateriaal per periode.....	10
2.3 Meten van de fotosynthese	10
2.4 CAM-toets	11
3. Resultaten fotosynthesemetingen.....	13
3.1 Grenswaarden belichting per stadium	13
3.2 Grenswaarden belichting per seizoen.....	14
3.3 Anders belichten aan het begin en einde van de dag?	15
3.4 Grenswaarden scherming bij hoge instraling	18
3.5 Grenswaarden CO ₂ -dosering (CAM)	18
4. Conclusies en advies	20
4.1 Belichting en fotosynthese	20
4.2 ‘Managen’ van de malaatpool	20
Referenties.....	22
Bijlage 1. Protocol voor belichting en CO₂-dosering Phalaenopsis	i
Bijlage 2. Omrekeningstabel Lux, Watt, μmol.....	v

1. Inleiding

De meeste tuinbouwgewassen hebben het zogeheten C3-metabolisme, waarbij overdag CO₂ wordt opgenomen door de bladeren en met behulp van energie uit licht vastgelegd in suikers. Een beperkte groep planten, waaronder Phalaenopsis, hebben het CAM-metabolisme (crassulacean acid metabolism). CAM wordt gekenmerkt door een nachtelijke CO₂-opname. De kleine bladeren van Phalaenopsis in het hart van de plant (hartbladeren) hebben vaak (maar niet altijd) C3-fotosynthese (hoofdstuk 1.1) terwijl volgroeide bladeren CAM-fotosynthese hebben (hoofdstuk 1.2).

1.1 Inleiding fotosynthese

Planten nemen water en voedingsstoffen op via hun wortels en CO₂ via de huidmondjes in hun bladeren. Fotosynthese is het proces waarbij de plant met behulp van lichtenergie het opgenomen water en CO₂ omzet in suikers (assimilaten). De fotosynthese is dus de motor van de plant en CO₂ fungeert als brandstof. Door middel van fotosynthesemetingen kan worden vastgesteld in welke mate verschillende lichtintensiteiten benut worden voor de fotosynthese en dus de groei. Op basis hiervan kan er bepaald worden tot welke lichtintensiteit bijbelichten rendabel is en bij welke lichtintensiteit de belichting beter uitgeschakeld kan worden. Tevens kan worden bepaald bij welke intensiteit daglicht de plantstress te hoog wordt en er dus beter geschermd kan worden.

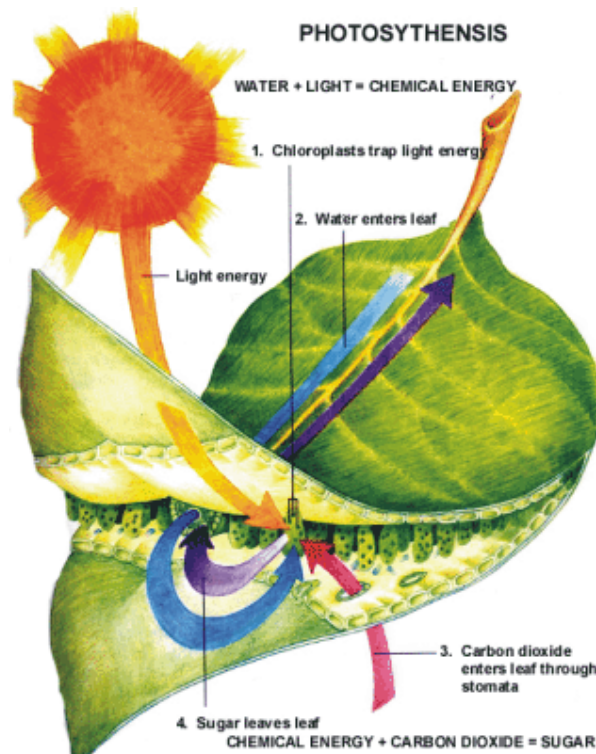


Fig. 1. Essentiële zaken rondom de fotosynthese: Lichtenergie wordt geabsorbeerd door het blad (1). Water komt binnen via de nerven (2). Tevens komt er CO₂ binnen via de huidmondjes (3). Met behulp van de lichtenergie worden er suikers gemaakt (4).

Fotosynthesemetingen bieden ook de mogelijkheid om de efficiëntie van de CO_2 -opname bij verschillende CO_2 -concentraties rondom het blad te meten. Uit deze metingen komt naar voren waar de grens ligt tot waar CO_2 doseren toegevoegde waarde heeft voor de fotosynthese. Uit de metingen kan tevens de geleidbaarheid van de huidmondjes berekend worden. Huidmondjes zijn poriën in het blad waardoor water kan verdampen en de CO_2 naar binnen kan gaan (zie nr. 3 in Fig. 1 en Fig. 2A). Bij een grotere geleidbaarheid van de huidmondjes komt het CO_2 gemakkelijker het blad binnen en verdampt de plant tegelijkertijd ook meer. De plant is in staat de openingsgrootte van deze poriën actief te reguleren. Als de verdamping te hard gaat, kan de plant de huidmondjesopening beperken (knijpende huidmondjes), zodat de plant minder water verliest. De keerzijde van deze beperking is dat de CO_2 minder goed naar binnen kan. Hierdoor kan het interne CO_2 -gehalte in het blad fors dalen ten opzichte van dat van de kaslucht. Als de huidmondjes open zijn ligt de interne CO_2 -concentratie op ongeveer 70% van de concentratie in de buitenlucht, maar dit kan bij knijpende huidmondjes dalen tot bijvoorbeeld 25% (Zie Fig. 2B). De consequentie is dat de fotosynthese bij knijpende huidmondjes fors lager ligt dan bij normaal geopende huidmondjes.

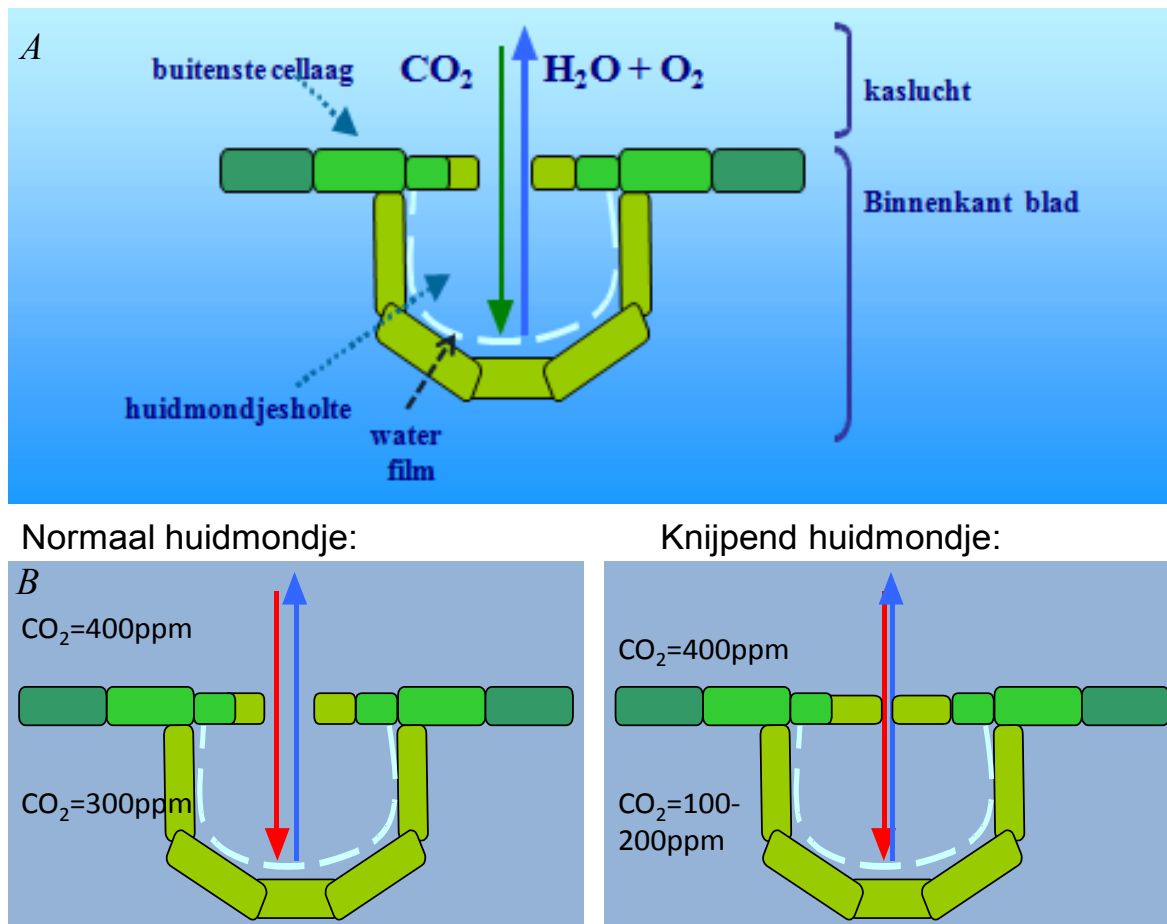


Fig. 2. Schematische tekening van een huidmondje (A) en het verschil tussen de CO_2 -concentratie in de kaslucht en in het blad door de mate van huidmondjesopening (B).

Voor een efficiënte fotosynthese bij C₃-planten is het dus essentieel dat de huidmondjes goed openen. Redenen dat een huidmondje dicht kan gaan zijn onder andere: een te hoog CO₂-niveau in de kaslucht, een beperking in de wateropname of een te hoog dampdruk-deficit tussen kaslucht en blad (VPD)¹. Als bij een hoge instraling een te hoge VPD ontstaat waardoor de huidmondjes sluiten, dan levert voorkomen van een te hoge VPD door op tijd te screenen soms meer netto resultaat op dan verloren wordt door het verlies aan licht. Bij CAM-planten (o.a. Phalaenopsis, sommige Bromelia-rassen en oudere plantstadia bij Kalanchoë) werkt de fotosynthese radicaal anders, dit wordt in hoofdstuk 1.2 toegelicht.

1.2 Fotosynthese bij CAM-planten

Bij CAM-planten zitten overdag de huidmondjes dicht en staan 's nachts open (Fig. 3). 's nachts wordt de CO₂ via het enzym PEPC (fosfo-enol-pyruvaat carboxylase) opgenomen en vervolgens vastgelegd als malaat (appelzuur) in de vacuole. Overdag wordt het malaat afgebroken en stijgt de CO₂ binnenin het blad tot zeer hoge waarden. De CO₂ wordt vervolgens met behulp van de lichtenergie via het enzym Rubisco vastgelegd als suiker.

Crassulacean Acid (Zuur) Metabolisme (CAM)

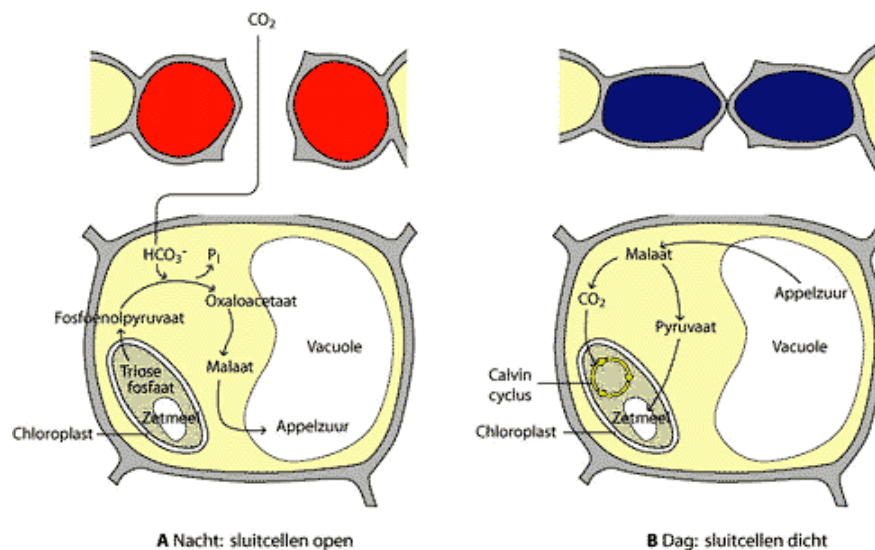


Fig. 3. Schematische tekening van de werking van CAM-fotosynthese. Overdag zijn de huidmondjes gesloten en 's nachts geopend.

¹ Het dampdruk-deficit tussen blad en kaslucht (VPD) is de drijvende kracht achter gewasverdamping. De mate van verdamping is een samenspel van de *drijvende kracht* (=VPD) en de *weerstand* (=huidmondjesgeleidbaarheid). Hetzelfde principe is aanwezig bij water uit de kraan. De waterstraal wordt bepaald door de *druk* in de waterleiding en de *openingsstand* van de kraan.

De VPD wordt als volgt bepaald:

1. Bepaling van de dampdruk in de kaslucht (berekend uit de temperatuur en de RV van de kaslucht)
2. Bepaling van de dampdruk in de plant (berekend uit de planttemperatuur en 100% RV in het blad)
3. Het verschil is de VPD (uitgedrukt in kPa, niet te verwarren met vochtdeficit ofwel VD, uitgedrukt in g/m³)

Over het algemeen is bij een hoge RV de VPD laag en bij een lage RV de VPD hoog. Echter, bij een gelijkblijvende temperatuur en RV van de kaslucht, kan de VPD toch toenemen door een stijgende planttemperatuur.

De CAM-fotosynthese kan opgedeeld worden in 4 fasen:

1. *Fase I, Nacht*: Tijdens de nacht openen de huidmondjes en wordt CO_2 opgenomen. Door middel van het enzym PEPC wordt CO_2 vastgelegd als malaat (appelzuur) en opgeslagen in de vacuole.
2. *Fase II, Nacht-dagovergang*: Deze fase is kort en niet altijd duidelijk aanwezig. Hierbij zijn de huidmondjes (nog) open terwijl de dag begint. Op dat moment is er reeds een kleine hoeveelheid licht aanwezig. De plant zal op het einde van deze fase zijn huidmondjes sluiten.
3. *Fase III, Overdag*: De huidmondjes zijn gesloten. CO_2 wordt vrijgemaakt uit malaat, waarbij het interne CO_2 -gehalte in het blad stijgt tot zeer hoge waarden. Met behulp van lichtenergie wordt deze CO_2 vastgelegd als suikers via het enzym Rubisco.
4. *Fase IV, Dag-nachtovergang*: De huidmondjes gaan open. In deze fase is het mogelijk dat er direct CO_2 wordt gebonden aan Rubisco (via C3-fotosynthese).

Voor meer achtergrondinformatie over CAM-fotosynthese bij Bromelia's, zie Marissen en Warmenhoven (2004).

1.3 Lichtrespons van de fotosynthese

Het is algemeen bekend dat een hogere lichtintensiteit leidt tot een hogere fotosynthesesnelheid (Fig. 4). Dit verband verloopt eerst lineair (1% meer licht = 1% meer fotosynthese), bij hogere lichtintensiteiten neemt de toegevoegde waarde van licht af (1% meer licht < 1% meer fotosynthese), en bij hele hoge lichtintensiteiten is de fotosynthese lichtverzadigd (1% meer licht = 0% meer fotosynthese) en ontstaat lichtstress.

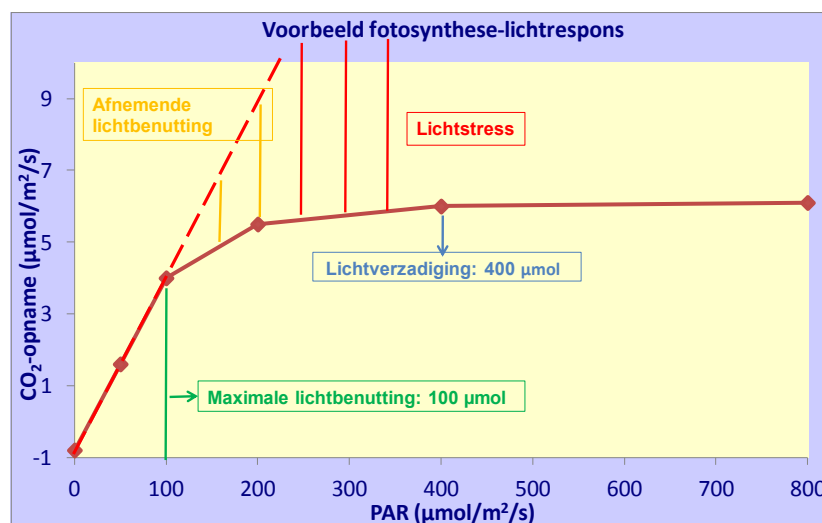


Fig. 4. Voorbeeld respons van de fotosynthese bij toenemende lichtintensiteit. Zolang als de fotosynthese meeloopt met de rood gestreepte lijn is de lichtrendement van de fotosynthese 100%. Het is vooral interessant om in dit gebied te belichten. Naarmate de 2 lijnen verder uit elkaar gaan lopen (weergegeven via de oranje en rode verticale lijnen) is er sprake van een steeds groter wordende lichtovermaat. Zo ontstaat er bij een hoge lichtintensiteit lichtstress.

Bij CAM-planten wordt de fotosynthese niet gemeten via de CO₂-opname maar via het elektrontransport (ETR). De huidmondjes zijn immers overdag gesloten, dus gasuitwisseling meten leidt dan nergens toe. De ETR kan via chlorofyl-fluorescentie wel gemeten worden en is een betrouwbare maat voor de efficiëntie waarmee licht wordt benut om CO₂ vast te leggen. Voor meer achtergrondinformatie over ETR en chlorofyl-fluorescentie, zie Pot *et al.* (2011).

1.4 CO₂-respons van de fotosynthese

De respons van de fotosynthesesnelheid van C3-bladeren op CO₂ vergelijkbaar met de lichtrespons: van lage naar hoge CO₂-concentraties in de kas neemt de fotosynthese eerst snel toe om vervolgens bij hoge concentraties af te vlakken (Fig. 5).

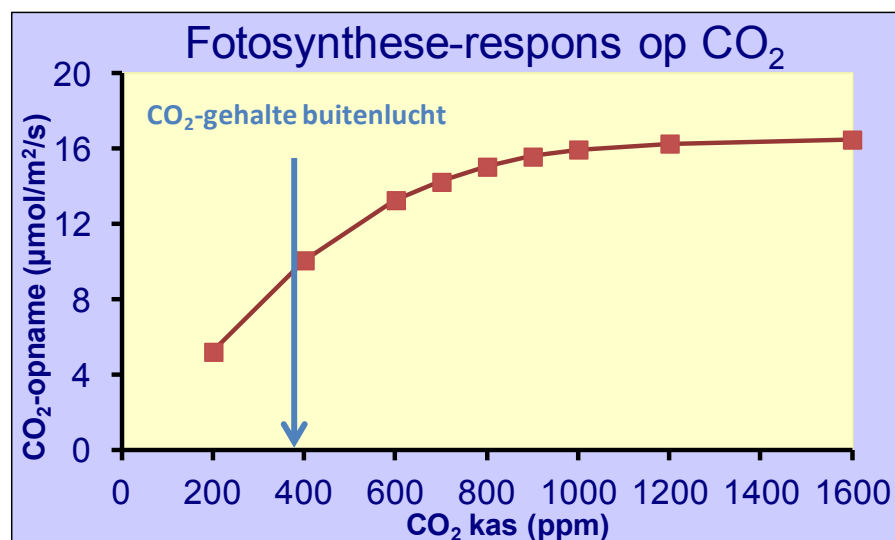


Fig. 5. Voorbeeld respons van de fotosynthese bij toenemend CO₂. Van lage naar hoge CO₂-concentraties in de kas neemt de fotosynthese eerst snel toe om vervolgens bij hoge concentraties sterk af te vlakken.

Waar CO₂-opname in C3-bladeren overdag plaatsvindt via het enzym Rubisco, verloopt de opname bij CAM-planten dus voornamelijk 's nachts via het enzym PEPC. PEPC bindt zich veel efficiënter aan CO₂ dan Rubisco, waardoor CO₂-verzadiging al bij lagere concentraties optreedt. Aan het einde van de nacht is de opnamesnelheid lager omdat de malaatpool 'vol' raakt.

Wat betreft de grenzen aan CO₂-dosering wordt nogal eens uitgegaan van de gedachte 'baat het niet, dan schaadt het niet'. Echter, het is om een aantal redenen van belang dat de optimale CO₂-concentratie wordt bepaald en dat beter niet méér CO₂ gedoseerd wordt. Hoge CO₂-concentraties in de kas kunnen namelijk de volgende nadelen hebben:

1. Rookgasverontreiniging: verhoogde concentraties NO_x en/of ethyleen in de kas → schade aan gewas / knopval

2. Kosten: bij gebruik van zuivere CO₂ speelt het probleem van rookgasverontreiniging niet, maar leidt meer CO₂ doseren dan nodig is wel tot onnodige kosten
3. Sluiting van de huidmondjes; hoog CO₂ kan als 'trigger' dienen voor huidmondjessluiting, waardoor de opname van CO₂ wordt bemoeilijkt. Sommige gewassen zijn hiervoor gevoeliger dan andere.
4. Verwende bladeren:
 - Luie huidmondjes: Door langdurige blootstelling aan verhoogd CO₂ kunnen huidmondjes 'lui' worden (kleiner aantal per oppervlakte blad, kleinere afmeting per huidmondje, minder verre opening). Dit hoeft geen probleem te zijn zolang de CO₂ concentratie maar hoog genoeg is. Echter, als de CO₂-concentratie door het openen van de luchtramen wegzakt, dan wordt het wel aanwezige CO₂ slechter opgenomen, met als gevolg daling van de productie.
 - Lui Rubisco: Hetzelfde geldt voor Rubisco (het enzym dat CO₂ bindt om suikers te maken): bij langdurige blootstelling aan verhoogd CO₂ kan de werking van Rubisco omlaag gaan, waardoor de productiviteit relatief sterk afneemt als de CO₂-concentratie in de kas daalt.

2. Materiaal en methoden

2.1 Inleiding

Door middel van fotosynthesemetingen is bepaald waar de grenswaarden liggen voor het efficiënt inzetten van belichting en CO₂-dosering. Tevens zijn de grenswaarden van de lichtintensiteit bepaald waarboven beter beschermd kan worden omdat er anders lichtstress optreedt.

Deze grenswaarden kunnen afhankelijk zijn van het:

- Seizoen
- Tijdstip van de dag (voornamelijk nacht-dag en dag-nachtovergangen).
- Ras en/of stadium

2.2 Plantmateriaal per periode

Er is gemeten in de zomer (augustus), het late najaar (november) en het einde van de winter (februari) bij de rassen Phalaenopsis ‘Ikaria’ en ‘Pink Twilight’ in de stadia opkweek 1 & 2, koeling en afkweek. Voor details, zie Tabel 1. ‘Ikaria’ (donkergroene bladeren) staat bekend als een snel groeiend ras, terwijl ‘Pink Twilight’ (donkerrode bladeren) een traag groeiend ras is.

Tabel 1. Rassen en plantstadia die gemeten zijn.

	‘Ikaria’	‘Pink Twilight’
Augustus	Opkweek 1&2 (7 en 17 week) Koeling (2 week) Afkweek (3 week)	Koeling (3 week)
November	Opkweek 2 (28 week) Koeling (2 en 6 week)	Opkweek 2 (28 week)
Februari	Opkweek 2 (30 week)	Opkweek 2 (28 week)

2.3 Meten van de fotosynthese

Met een draagbare fotosynthesemeter (LI-COR 6400, Foto 1) zijn er twee typen metingen verricht:

- Lichtrespons metingen
- CO₂-respons metingen

Voor de metingen van de lichtrespons wordt een blad ingeklemd (zie Foto 1). Vervolgens wordt de fotosynthese-snelheid gemeten bij verschillende lichtintensiteiten. De diverse lichtintensiteiten worden gerealiseerd door een interne LED-lamp in de meetkop. Er is voor gekozen om te meten bij een oplopende reeks van lichtintensiteiten. Uit de metingen is berekend hoe efficiënt de bladeren de verschillende lichtintensiteiten benutten voor de fotosynthese. Hieruit kunnen twee dingen worden bepaald:

1. Bij welke lichtintensiteit het rendeert om het lamplicht aan te houden dan wel af te schakelen.
2. Bij welke lichtintensiteit er lichtstress aan het fotosynthesesysteem ontstaat zodat er beter beschermd kan worden.

De metingen zijn altijd verricht aan net volgroeide onbeschaduwde bladeren. Dat zijn de bladeren die het meeste licht opvangen en dus het meeste bijdragen aan de gewasproductiviteit. Voor alle type metingen zijn herhalingsmetingen uitgevoerd aan minimaal 5 verschillende bladeren.



Foto 1. LI-COR-6400 draagbare fotosynthesemeter voor het meten van de CO₂ opname (fotosynthese) in de praktijk. In het apparaat kunnen PAR, CO₂, temperatuur en vocht gevarieerd worden. Op deze manier is de fotosynthese-snelheid gemeten bij oplopend PAR of CO₂ aan een ingeklemd blad (rode pijl).

Voor de CO₂-respons metingen wordt eveneens een blad ingeklemd, maar dan wordt de lichtintensiteit constant gehouden en wordt de fotosynthese-afhankelijkheid van de CO₂-concentratie in kaart gebracht. Er is gemeten bij de volgende CO₂ concentraties: 200, 400, 600, 700, 800, 900, 1000, 1200 en 1600 ppm. Op basis van deze metingen kan er een gericht advies worden gegeven aangaande het gewenste CO₂-niveau in de kas.

2.4 CAM-toets

Door Plant Dynamics is een test ontwikkeld waarmee aangetoond kan worden of bladeren CAM zijn of niet. De test is gebaseerd op de pH van een bladponsje die in een oplossing direct een kleuromslag laat zien. Het testresultaat is dus direct zichtbaar.

Zoals genoemd in hoofdstuk 1.2 nemen CAM-planten in de nacht CO_2 op dat vastgelegd wordt in malaat (appelzuur). Door de malaatopbouw in de nacht zakt de pH van de bladeren van ongeveer 6.5 aan het eind van de dag tot ongeveer 4 tot 4.5 aan het einde van de nacht. Door 's avonds (begin van de nacht) en 's ochtends (aan het einde van de nacht) de pH van bladponsjes te bepalen kan worden nagegaan of bladeren CO_2 vastleggen via het C3- of het CAM-metabolisme.

Werkwijze:

Vul met een pipet enkele gaten van de microwell-plaat met neutrale indicatorvloeistof (rood). Neem bladponsjes met de kurkboor en doe deze in de vloeistof. Plet de bladponsjes zodat het sap zich mengt met de vloeistof. Noteer direct het resultaat en/of neem een foto (als voorbeeld, zie Foto 2).

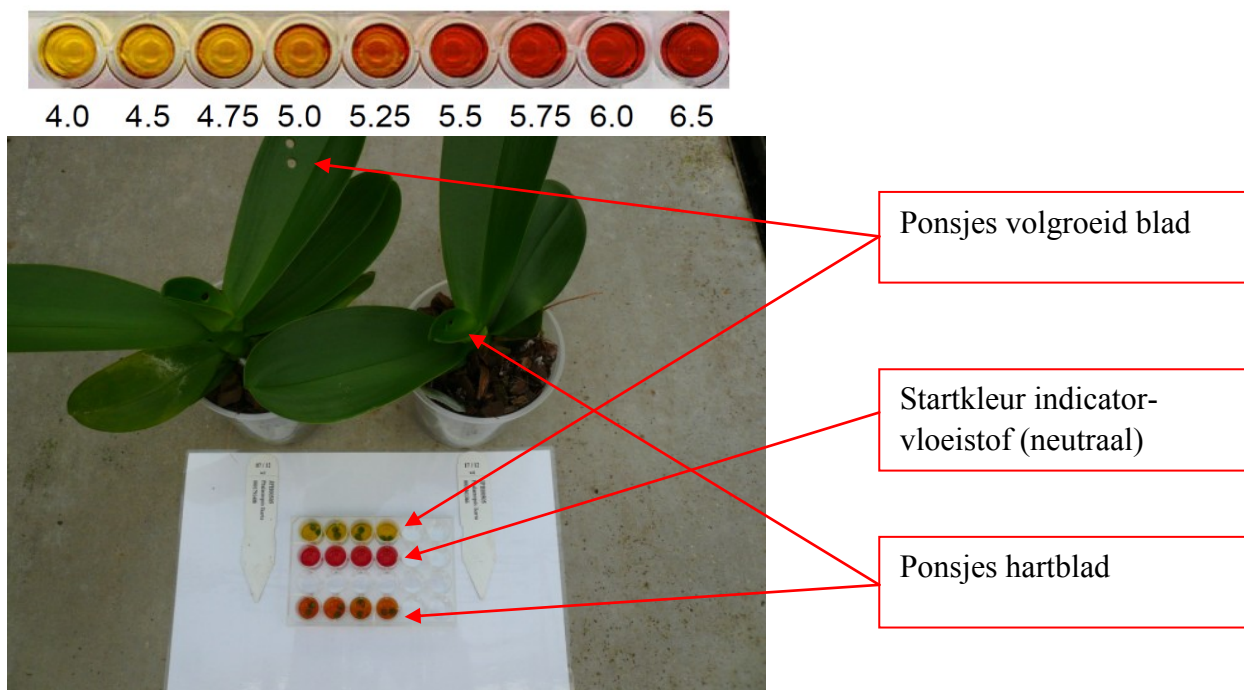


Foto 2. Kleurindicator met bijbehorende pH en toepassing van de CAM-toets bij Phalaenopsis 'Ikaria' vroeg in de ochtend. De volgroeide bladeren kleurden de rode neutrale vloeistof direct geel (zuur), conclusie: bladeren hebben CAM-fotosynthese. De hartbladeren kleurden de vloeistof oranje, conclusie: waarschijnlijk ook al CAM-fotosynthese met nog maar een kleine malaatopbouw in de nacht.

3. Resultaten fotosynthesemetingen

3.1 Grenswaarden belichting per stadium

Het lichtrendement van de fotosynthese gemeten gedurende de loop van de dag verschilde nauwelijks tussen 'Ikaria' en 'Pink Twilight'. Wel verschilde deze tussen de stadia (Fig. 6). De lichtrespons verschilde niet tussen 'opkweek 1' en 'opkweek 2'. Stadium 3, 'koeling' heeft een lagere lichtrespons, dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de suboptimale temperatuur voor de fotosynthese. In stadium 4, 'afkweek' stijgt de lichtrespons weer (Fig. 6). Deze verschillen hebben gevolgen voor het maximale lichtrendement voor de fotosynthese. Tabel 2 laat zien dat in november het fotosynthese-rendement tijdens de opkweek tot $150 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ maximaal blijft terwijl het lichtrendement in de koeling al boven de $90 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR (daglicht+lamplicht) begint af te nemen.

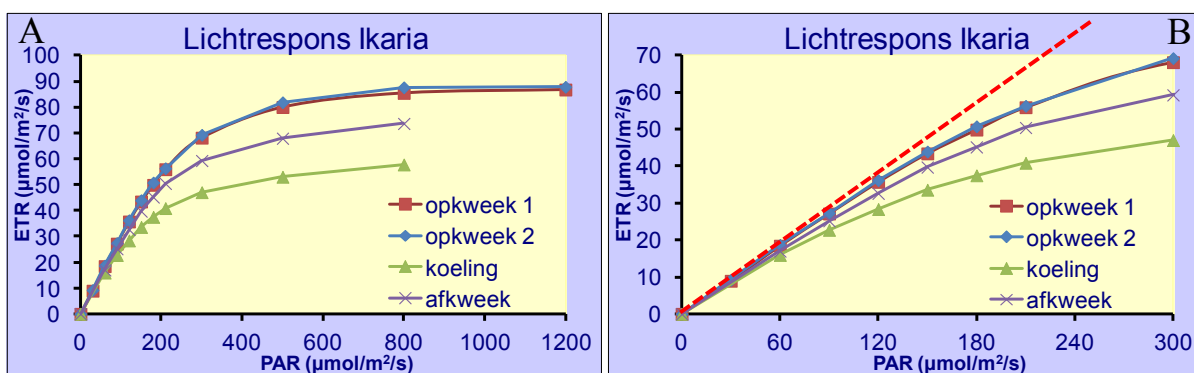
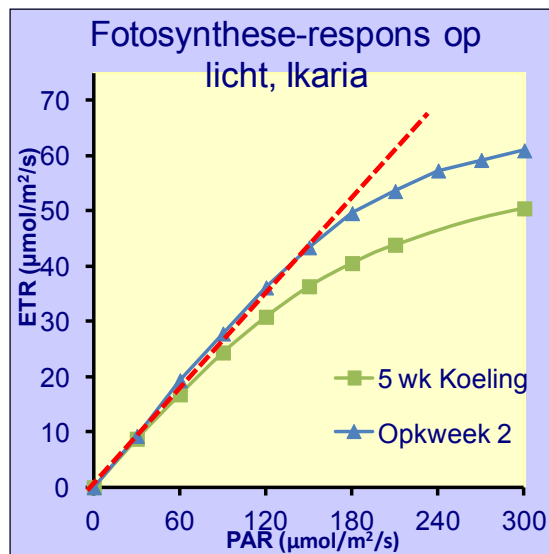


Fig. 6. Effect van het stadium op de lichtrespons van de fotosynthese van 'Ikaria'. Het rechter figuur laat dezelfde data zien, maar dan ingezoomd op de lagere lichtintensiteiten (data augustus). Zolang als de gemeten lijnen evenwijdig aan de rode stippellijn lopen is het fotosyntheserendement 100%.

Tabel 2. Verloop van het fotosyntheserendement bij toenemend lichtniveau in de koeling vergeleken met het opkweekstadium. Zolang als de gemeten lijnen evenwijdig aan de rode stippellijn lopen is het fotosyntheserendement 100% (data november).

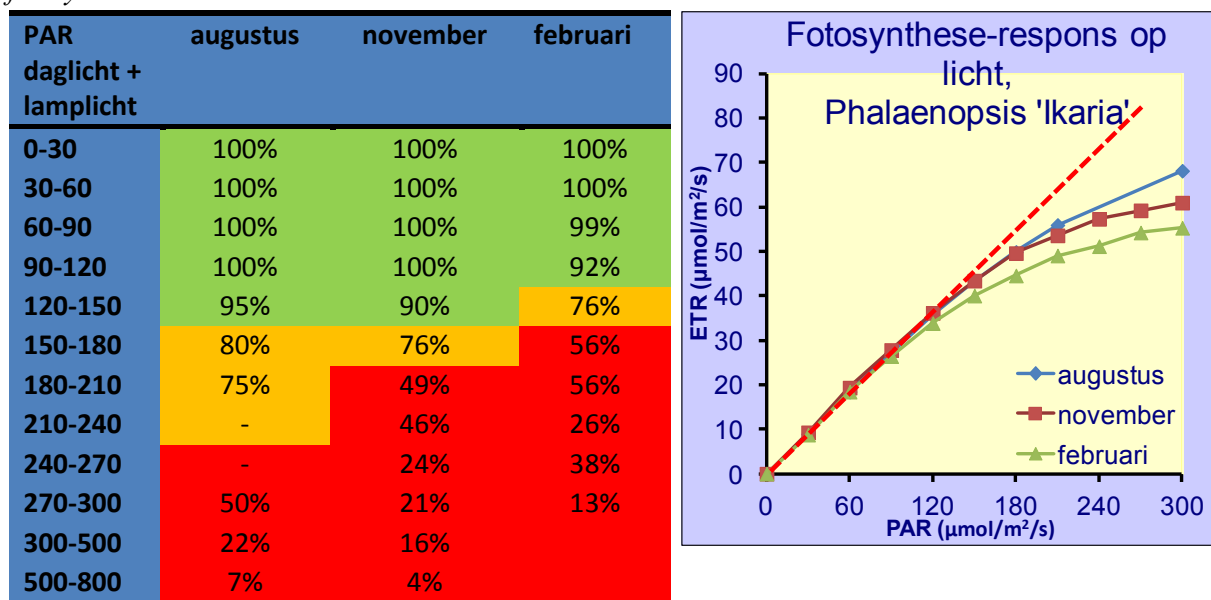
PAR daglicht + lamplicht	Opkweek 2	Koeling
0-30	100%	100%
30-60	100%	99%
60-90	100%	94%
90-120	100%	80%
120-150	90%	68%
150-180	76%	52%
180-210	49%	41%
210-240	46%	-
240-270	24%	-
270-300	21%	27%
300-500	16%	14%



3.2 Grenswaarden belichting per seizoen

Tabel 3 laat het effect van de verschillende seizoenen zien op het lichtrendement voor de fotosynthese. In augustus kan 'Ikaria' het meeste licht aan, dit daalt naarmate de plant aan minder daglicht gewend is. In augustus en november blijft tot een intensiteit lamplicht plus daglicht van 120 μmol het lichtrendement maximaal, in februari is dit tot 90 μmol . Om het lichtrendement maximaal te houden, moet dus in februari de belichting iets eerder afgeschakeld worden dan in november.

Tabel 3. Verloop van het fotosyntheserendement bij toenemend lichtniveau bij het opkweekstadium (overdag!). Zolang als de gemeten lijnen evenwijdig met de rode stippellijn lopen is het fotosyntheserendement 100%.



Concreet betekent dit het volgende voor een aantal voorbeeldsituaties:

- *Situatie 1.* De lampen met een lichtintensiteit van 90 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ staan 's nachts aan → Het lamprendement op de fotosynthese is 100%.
- *Situatie 2.* De lampen met een lichtintensiteit van 90 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ staan om 9.00 's ochtends aan. Op een bewolkte dag in februari is de zonlichtintensiteit in de kas zo'n 50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. → bij elkaar is er dan 140 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ licht in de kas → Het lamprendement op de fotosynthese van de laatste 20 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ is nog 76%.
- *Situatie 3.* De lampen met een lichtintensiteit van 90 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ staan om 9.00 's ochtends aan. Op een heldere dag in februari is de zonlichtintensiteit in de kas al 120 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ → bij elkaar is er dan 210 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ licht in de kas → rendement van de eerste 30 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ licht van de lampen is dan 76% en van de 2^e en 3^e 30 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ is dan nog maar 56%. Hier kan dan de overweging gemaakt worden om een gedeelte van de belichting eerder af te schakelen.

Een rendement van 100% lichtbenutting is geen vereiste; soms zijn de kwaliteitseisen en een strak teeltschema overwegingen om bij een lager rendement het licht toch aan te laten. De balans tussen de extra kosten van belichting tegenover de meeropbrengst door de hogere fotosynthese en/of andere kwaliteitsaspecten bepalen waar het economische optimum uiteindelijk ligt.

3.3 Anders belichten aan het begin en einde van de dag?

In de praktijk begint men bij Phalaenopsis meestal 's ochtends zeer vroeg (bijvoorbeeld 2.00 uur 's nachts) te belichten en wordt er gestopt rond 16.00 om natuurlijk de nacht in te gaan. Soms wordt er toch aan het einde van de dag doorbelicht omdat de streefwaarde voor de lichtsom nog niet behaald is. In de praktijk variëren de daglengtes van 14 tot 18 uur.

De volgende twee principes zijn van belang om in gedachten te houden m.b.t. de resultaten:

1. Gedurende de overgangsfase van donker naar licht gaan de huidmondjes dicht en wordt gestart met de afbraak van malaat zodat de CO₂-concentratie in het blad stijgt.
2. Ruim voor de overgang van licht naar donker kan de malaatpool al uitgeput zijn, hierdoor daalt het lichtrendement.

Tijdens de november-metingen is aandacht geschonken aan het lichtrendement aan het einde van de dag. De belichting stond aan van 2.00-16.00 uur en de zonsondergang lag rond 16:30. Fig. 7 laat data uit de opkweek zien, in de koeling werden dezelfde patronen gemeten. Fig. 7A laat zien dat rond 12:30 het lichtrendement al begint te dalen (rode lijn). Dit komt omdat de malaat opraakt. Omdat de huidmondjes dan nog dicht zitten is er op dat moment nog geen CO₂-opname (Fig. 7B). Om 13:30 is het lichtrendement nog verder gezakt (lichtblauwe lijn; Fig. 7A) en is er een beperkte CO₂-opname die nagenoeg lichtonafhankelijk is (Fig. 7B). Ook de CAM-toets laat zien dat het malaat opraakt (kleur wordt roder). Rond 16:00 is het lichtrendement zeer laag (beige lijn; Fig. 7A) en is er een lichtonafhankelijke CO₂-opname (Fig. 7B), tevens laat de CAM-toets een lichtere kleur zien. Hieruit kan de conclusie getrokken worden dat de malaatpool weer gevuld wordt terwijl de belichting nog aan stond. De directe fotosynthese via C3 bij huidmondjesopening (Fase 4; zie uitleg hoofdstuk 1.2) is niet meetbaar aanwezig.

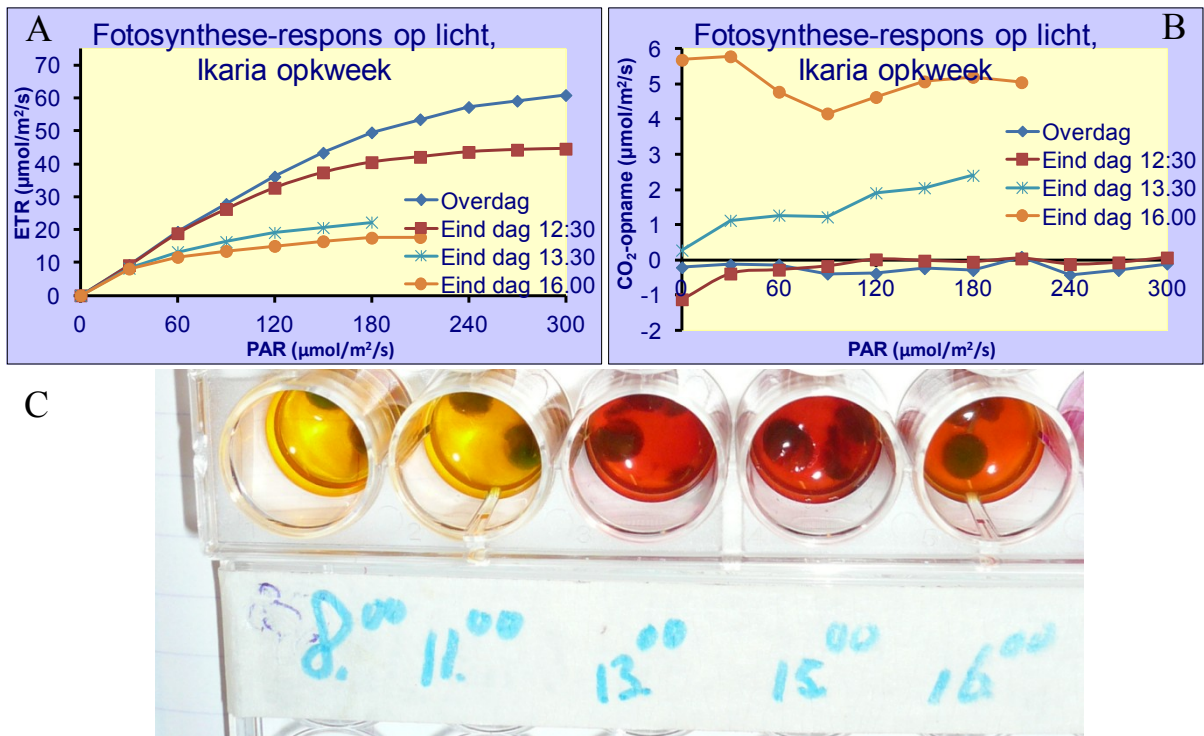


Fig. 7. Effect op het lichttrendement aan het einde van de dag. A: ETR-respons. B: Opgenomen CO_2 . C: CAM-toets. De belichting stond aan van 2.00-16.00 uur, zononder rond 16:30. Opvallend is dat om 16:00 de CAM-toets een lichtere kleur laat zien dan om 13:00 en 15:00. Dit laat zien dat de malaatpool al weer gevuld wordt terwijl de lampen nog branden (data november).

Tijdens de februari-metingen is naast het eind van de dag ook de opstart van Phalaenopsis in beeld gebracht. De belichting startte om 4:45 uur 's ochtends en ging rond 16:00 uit, de zonsondergang lag rond 18:00. Tijdens het eerste half uur van de belichting was het lichttrendement erg laag (rode lijn, Fig. 8A) en werd er CO_2 -opname gemeten die onafhankelijk was van de lichtintensiteit (Fig. 8B). Dat geeft aan dat het blad nog bezig was met het opslaan van malaat. Na dit eerste halfuur zaten de huidmondjes echt dicht (negatieve fotosynthese, Fig. 8B). In Fig. 8A is ook te zien dat de ETR langzaam stijgt gedurende de ochtend. Pas drie uur nadat de belichting startte was het lichttrendement maximaal (paarse lijn). Overigens was het lichttrendement van 'Pink Twilight' al na 1.5 uur maximaal. Het is dus van belang om bij Phalaenopsis de lichtintensiteit langzaam op te schakelen, bijvoorbeeld in stappen van $60 \mu\text{mol}$ met ruime tussentijden.

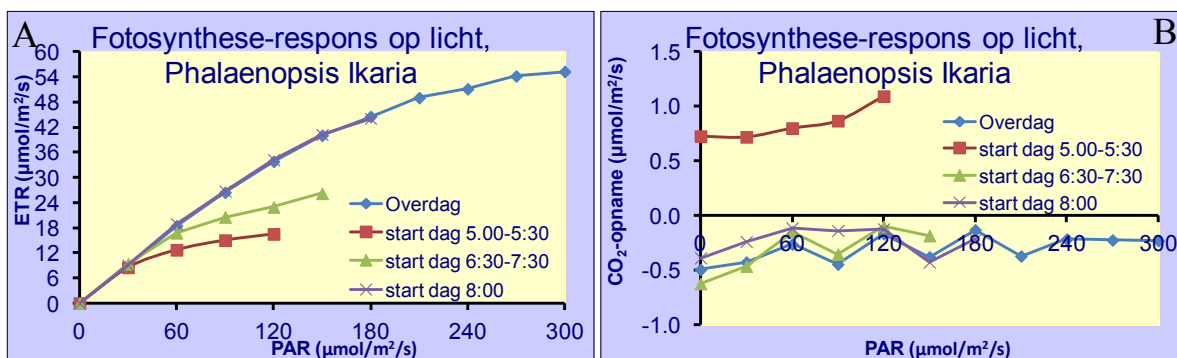


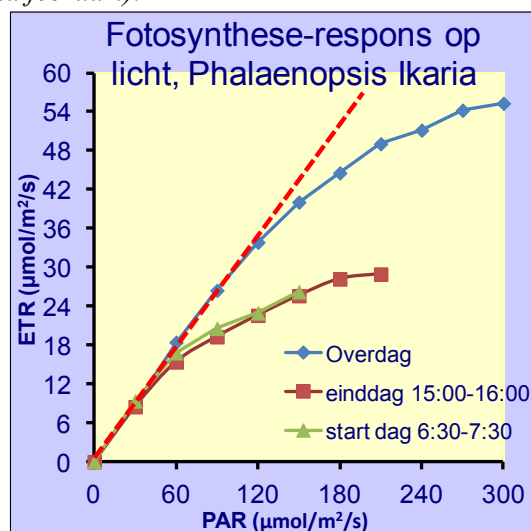
Fig. 8. Effect op het lichtrendement van 'Ikaria' aan het begin van de dag. A: ETR-respons. B: Opgenomen CO_2 . De belichting stond aan van 5.00 tot uiterlijk 16.00 uur (data februari).

Aan het einde van de dag werd in februari hetzelfde patroon gemeten als in november (weergegeven in Fig. 7): Rond 14:00 begon het lichtrendement in te zakken en rond 17:00 werd er een lichtonafhankelijke CO_2 -opname gemeten. Tabel 4 laat bijbehorende rendementen in getallen zien.

Het is dus van belang om bij Phalaenopsis bij het begin van de dag de lichtintensiteit langzaam op te schakelen, bijvoorbeeld in stappen van 30 μmol met ruime tussentijden. Teveel licht levert dan alleen maar meer stress op. Aan het einde van de dag lijkt doorbelichten terwijl de malaatpool op is, geen zin te hebben. Tenzij dat korter belichten resulteert in een negatieve terugkoppeling met de opslagcapaciteit voor malaat in de bladeren. Het is aan te bevelen om te onderzoeken of en in hoeverre er bij de huidige lichtsommen van 7-10 mol sprake is van zo'n terugkoppeling. Ook laten deze data zien dat tijdens de fasen 2 en 4 (zie hoofdstuk 1.2) bij 'Ikaria' en 'Pink Twilight' er geen meetbare C3-fotosynthese plaats vindt.

Tabel 4. Effect van tijdstip van de dag op het lichtrendement. De belichting stond aan van 5.00 tot uiterlijk 16.00 uur, natuurlijk daglicht tot rond 18.00 (data februari).

PAR daglicht + lamplicht	Begin dag 6:30 uur, 1.5 uur licht	Overdag	Eind dag 15:00
0-30	100%	100%	100%
30-60	92%	100%	85%
60-90	47%	99%	48%
90-120	40%	92%	41%
120-150	29%	76%	37%
150-180		56%	32%
180-210		56%	9%
210-240		26%	
240-270		38%	
270-300		13%	

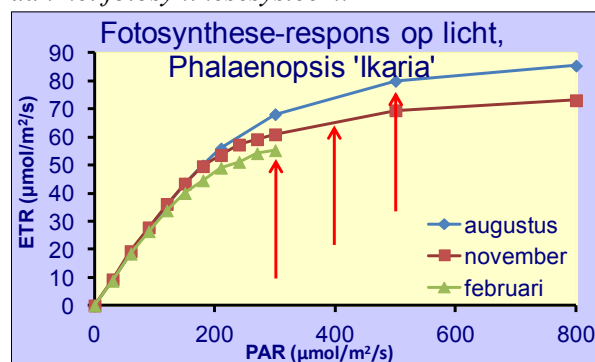


3.4 Grenswaarden scherming bij hoge instraling

Bij de getekende rode pijlen in de figuur bij Tabel 5 is het lichtrendement dermate laag dat langdurige blootstelling schade aan het fotosynthese-systeem in de bladeren kan geven. Bij deze lichtniveaus kan er beter geschermd worden.

Tabel 5. Lichtgrens waarboven er lichtstress ontstaat aan het fotosynthesesysteem.

	PAR binnen ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	Straling buiten (Watt/m^2)
Augustus		
(opkweek)	500	~333
(koeling)	300	~200
November		
(opkweek)	400	~267
(koeling)	300	~200
Februari		
(opkweek)	300	~200

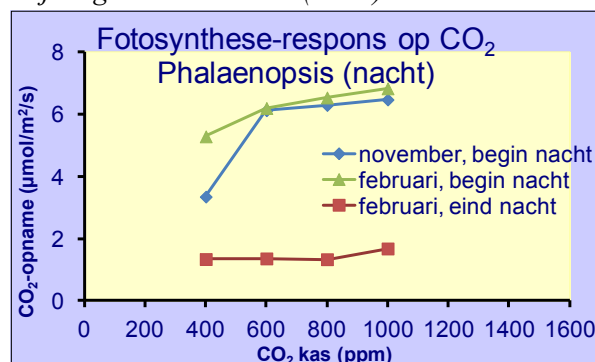


3.5 Grenswaarden CO₂-dosering (CAM)

Bij C3-bladeren laat de fotosynthese-respons op toenemend CO₂ evenals op toenemend licht, een verzadiging zien: Naarmate er meer CO₂ gedoseerd wordt, wordt de toename in CO₂-opname (fotosynthese) steeds kleiner. Ook voor CAM-bladeren wordt aan het begin van de nacht deze respons waargenomen. Uit Tabel 6 blijkt dat rond de 600 ppm het verzadigingsniveau wordt bereikt. Hierin speelt de openingsstand van de huidmondjes een grote rol: Hoe meer de huidmondjes open staan, hoe eerder verzadigd met CO₂. Ook gaan de huidmondjes bij hoge concentraties langzaam knijpen (Fig. 9). Aan het einde van de nacht, wanneer de malaatpool bijna 'vol' is, is de CO₂-opname laag en heeft extra CO₂ doseren helemaal geen effect meer.

Tabel 6. Rendement CO₂-dosering bij 0 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR bij volgroeide bladeren (CAM).

CO ₂ kas	November (begin nacht) % t.o.v. 400ppm	Februari (begin nacht)	Februari (eind nacht)
200			
400	100%	100%	100%
600	183%	117%	100%
800	188%	124%	100%
1000	193%	129%	100%



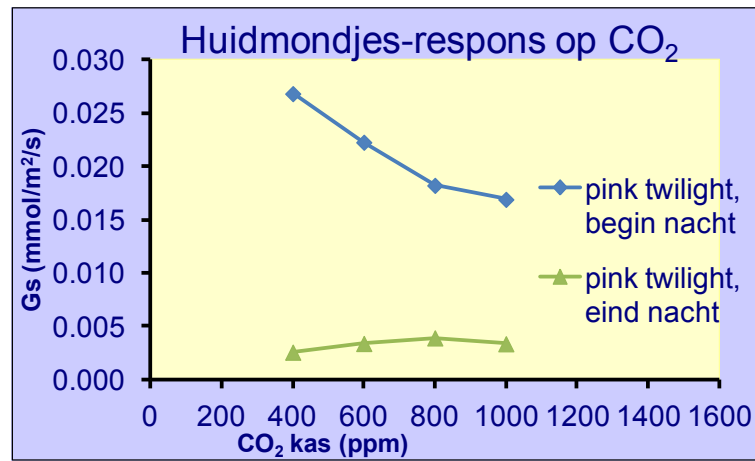


Fig. 9. Afname van de huidmondjesgeleidbaarheid (Gs) bij hogere concentraties CO₂.

4. Conclusies en advies

4.1 Belichting en fotosynthese

In Tabel 7 staan voor de ‘opkweek’ de grenzen voor maximale lichtbenutting voor de fotosynthese, het CO₂-verzadigingsniveau en het lichtniveau waarboven lichtstress kan optreden. In deze tabel is de daling van het rendement aan het begin en het einde van de dag niet meegenomen (zie Tabel 4).

Tabel 7. Grenswaarde lichtintensiteit die nog voor 100% benut wordt en adviezen CO₂-dosering en lichtscherming bij de opkweek (NB daling van het rendement gedurende het begin en het einde van de dag in Tabel 4).

	100% lichtbenutting (daglicht+lamplicht) tot aan:	CO ₂ -maximum (nacht)	Lichtverzadiging (lichtstress), schermen bij:
Augustus	120 µmol	600 ppm	500 µmol
November	120 µmol	600 ppm	400 µmol
Februari	90 µmol	600 ppm	300 µmol

In de koeling is het lichtrendement voor de fotosynthese duidelijk lager. In de praktijk wordt er juist in dit stadium meer licht toegepast. Dit lijkt tegenstrijdig. De gedachte leeft dat licht als stressbron tijdens de koeling een positieve invloed heeft op de bloei-inductie. Het is echter op dit moment nog niet duidelijk hoeveel stress dit moet zijn.

Wat ook opviel, is dat hoewel ‘Pink Twilight’ bekend staat als een traag groeiend ras, de fotosynthese niet langzamer verloopt dan bij ‘Ikaria’ dat als een snelgroeiend ras bekend staat. Ook Dueck en Meinen (2008) hebben dit geconstateerd bij ‘Pink Twilight’ ten opzichte van ‘White moon’(ook snelgroeiend). Er lijken dus andere processen verantwoordelijk voor het verschil in groeisnelheid, bijvoorbeeld snelheid van bladafsplitsing en uitgroei wat gunstig is voor het lichtonderscheppend vermogen van de plant.

4.2 ‘Managen’ van de malaatpool

Van het enzym PEPC is bekend dat bij geopende huidmondjes de normale buitenlucht-concentratie van CO₂ al verzadigend is. Dit suggereert dat er ’s nachts in principe geen CO₂ gedoseerd hoeft te worden. Doordat de huidmondjes een beperkende factor zijn, lijkt verhoging van de CO₂-concentratie van 400 naar 600 ppm wel degelijk zin te hebben. Echter als aan het einde van de nacht de malaatpool toch ‘vol’ is, kan men zich afvragen of CO₂-dosering in de nacht zin heeft. Dit wekt de suggestie dat door een hogere CO₂-concentratie de nacht korter kan worden gemaakt terwijl toch de malaatpool ‘vol’ komt. Tevens begon in november en februari vrij vroeg in de middag de malaatpool op te raken. De meest waarschijnlijke conclusie is dan ook dat de malaatpool te klein is vergeleken met het lichtregime dat gegeven wordt.

Dat de malaatpool al vroeg in de middag opraakt, heeft als consequentie dat een grote hoeveelheid gratis daglicht nauwelijks benut wordt voor de fotosynthese. Er lijkt dus veel (licht)energie bespaart te kunnen worden door juist het natuurlijk daglicht ten volle te gaan benutten en dus later te starten met belichten. Echter, het is bekend dat de grootte van de malaatpool wordt beïnvloedt door de lichtsommen in de periode ervoor. De meetdagen in november en februari waren dusdanig gekozen dat er een periode met redelijk stabiele lichtsommen aan vooraf was gegaan. Met andere woorden, de lichtsommen op de meetdagen waren geen uitschieters waardoor de malaat vroeg in de middag op was. De conclusie blijft dus staan dat er veel meer belicht wordt dan de malaatpool maximaal aan kan. Indien minder belichten echter direct leidt tot een kleinere malaat-voorraad, dan gaat minder belichten zonder productieverlies niet op. Naar verwachting zal de lichtsom boven een zekere ondergrens geen negatieve terugkoppeling geven op de grootte van de malaatpool. De sleutel tot een efficiënte lichtbenutting en productie bij *Phalaenopsis* is dus dat:

- in de opkweek de malaatpool van *ontwikkende* bladeren zo groot mogelijk wordt.
- in de afkweek de malaatpool van *volgroeide* bladeren dusdanig worden ‘gemanaged’ dat deze maximaal is en blijft en dat hier de belichting op wordt afgestemd.

De minimale lichtsommen die nodig zijn om het bovenstaande te realiseren met minimaal energieverbruik zijn nog onbekend. Onderzoek hiernaar verdient aanbeveling.

Overige opmerkingen:

- Maximale lichtbenutting hoeft niet gelijk op te lopen met het economisch optimum.
 - Zoek balans tussen extra kosten belichting en meeropbrengst door hogere fotosynthese en/of kwaliteit.
- Lange termijn effecten van CO₂ doseren op de huidmondjes zijn onbekend.
 - Zorg voor de zekerheid dat de concentratie niet hoger is dan het punt waar het optimale rendement bereikt wordt!
 - Herkomst CO₂:
 - Doseren zuiver CO₂ is duur.
 - Hoge concentratie rookgassen geeft risico op verontreiniging (NO_x, ethyleen, etc.)
 - ‘Verwende’ bladeren (lagere CO₂-benutting bij continue blootstelling aan hoog CO₂).
 - Optimaal voor de plant is niet altijd economisch rendabel!
 - afhankelijk van de CO₂-kosten (raamstand / ventilatievoud)

Referenties

Dueck Th., Meinen E. 2008. CO₂-opname bij Phalaenopsis, Wageningen: WUR-glastuinbouw. 26 blz.

Kromwijk, A., N. van Mourik, H. Schüttler, P. van Os, R. Werwijn & A. Schapendonk, 2005. Daglengte en lichtintensiteit bij Phalaenopsis. PPO rapport 41717008 en 41717016. 50 blz.

Pot CS, Trouwborst G, Schapendonk AHCM. 2011. Handleiding gebruik van plantsensoren voor de fotosynthese in de praktijk. Wageningen: Plant Dynamics B.V., 28 blz.

Schapendonk, A.C.H.M., 2005. Belichting Phalaenopsis. Plant Dynamics. 21 blz.

Warmenhoven, M., N. Marissen & J.A.M. Kromwijk, 2003. Invloed van licht en CO₂ bij Phalaenopsis. PPO rapport GT133017. 17 blz.

Warmenhoven, M., N. Marissen & F. van Noort, 2005. Crassulaceën-metabolisme in Kalanchoë. PPO rapport 41313009. 27 blz.

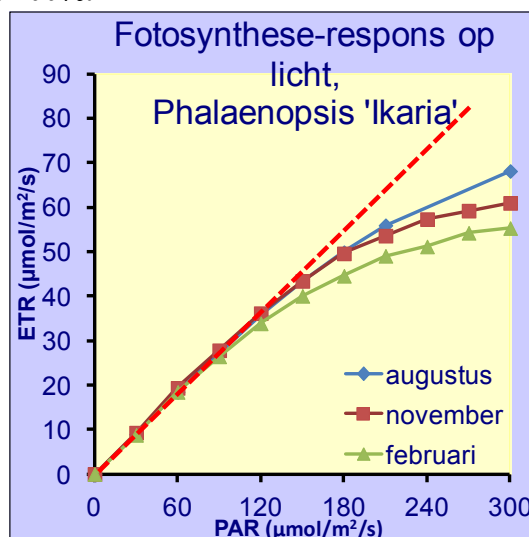
Bijlage 1. Protocol voor belichting en CO₂-dosering Phalaenopsis

Grenswaarden belichting per seizoen

- Geen rasverschil in lichtbenutting tussen 'Icaria' en 'Pink Twilight'.
- Geen verschil tussen de stadia opweek 1 en opweek 2.
- Door de lagere temperatuur tijdens de koeling daalt het lichtrendement eerder .
- Grenswaarde voor 100% lichtrendement (Tabel 1AB) opweek: 120 μmol / koeling: 90 μmol .
- Om lichtrendement maximaal te houden, moet in februari het licht eerder afgeschakeld worden dan in november (Tabel 1A).

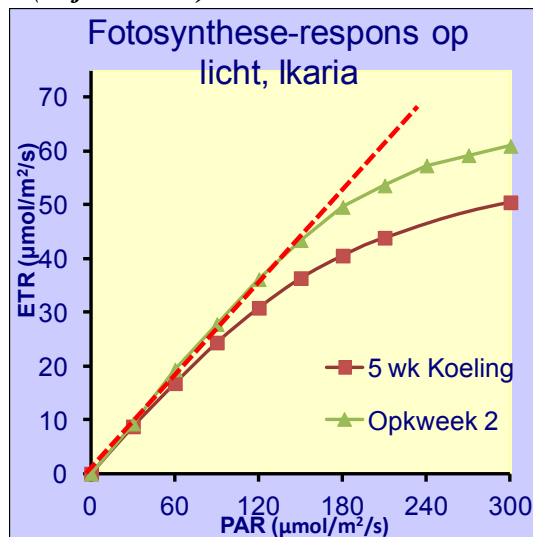
Tabel 1A. Verloop van het fotosyntheserendement bij toenemend lichtniveau (daglicht+lamplicht) bij het opweekstadium. Zolang als de gemeten lijn evenwijdig met de rode stippellijn loopt, is het fotosyntheserendement 100%.

PAR daglicht + lamplicht	augustus	november	februari
0-30	100%	100%	100%
30-60	100%	100%	100%
60-90	100%	100%	99%
90-120	100%	100%	92%
120-150	95%	90%	76%
150-180	80%	76%	56%
180-210	75%	49%	56%
210-240	-	46%	26%
240-270	-	24%	38%
270-300	50%	21%	13%
300-500	22%	16%	
500-800	7%	4%	



Tabel 1B. Verloop van het fotosyntheserendement bij toenemend lichtniveau (daglicht + lamplicht) bij de koeling vergeleken met de opkweek (najaarsdata).

PAR daglicht + lamplicht	Opkweek 2	Koeling
0-30	100%	100%
30-60	100%	99%
60-90	100%	94%
90-120	100%	80%
120-150	90%	68%
150-180	76%	52%
180-210	49%	41%
210-240	46%	-
240-270	24%	-
270-300	21%	27%
300-500	16%	14%

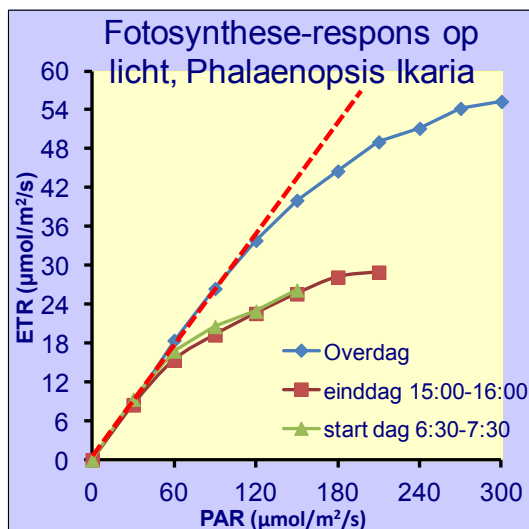


Anders belichten begin en einde dag?

- Phalaenopsis laat een sterk rendementsverlies zien bij start en einde van de dag.
- De tijd om tot maximaal rendement te komen duurde 's ochtends ruim 2.5 uur voor 'Ikaria' en ruim 1.5 uur voor 'Pink twilight'. Indien mogelijk, getrapt schakelen met de belichting en ruime tussentijden aanhouden.
- Na 14.00 uur 's middags begon het rendement weer te dalen. Vanuit het oogpunt van lichtbenutting voor de fotosynthese en energiebesparing: start later met belichting en schakel tijdig af om het gratis daglicht zoveel mogelijk te benutten. NB dit gaat alleen op als een lagere lichtsom geen negatieve terugkoppeling geeft op de malaatpool.

Tabel 2. Effect van tijdstip van de dag op het lichtrendement

PAR daglicht + lamplicht	Begin dag 6:30 uur, 1.5 uur licht	Overdag	Eind dag 15:00
0-30	100%	100%	100%
30-60	92%	100%	85%
60-90	47%	99%	48%
90-120	29%	92%	41%
120-150	40%	76%	37%
150-180		56%	32%
180-210		56%	9%
210-240		26%	
240-270		38%	
270-300		13%	



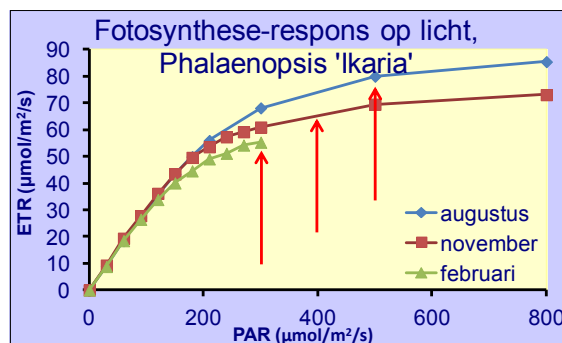
*De dag begon 5.00 's ochtends en eindigde met natuurlijk daglicht rond 17.00 (assimilatielicht tot 16.00 uur).

Grenswaarden scherming bij hoge instraling

- Langdurig hoge instraling geeft schade aan het fotosynthese-systeem in de bladeren.
- Bij lichtniveaus hoger dan de rode pijlen in de figuur bij Tabel 3 kan er beter geschermd worden.

Tabel 3. Lichtgrens waarboven er lichtstress ontstaat.

	PAR binnen ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	Straling buiten (Watt/m^2)
Augustus (opkweek)	500	~333
November (opkweek)	400	~267
Februari (opkweek)	300	~200
Augustus (koeling)	300	~200
November (koeling)	300	~200

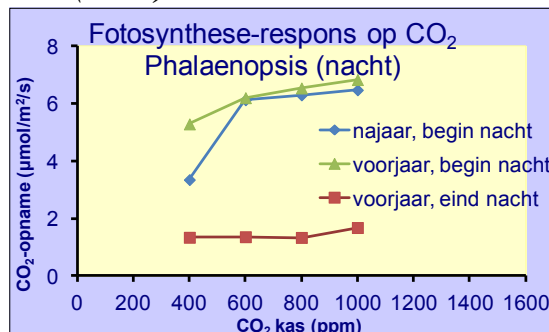


Grenswaarden CO₂-dosering middag en nacht, volgroeide bladeren (CAM)

- Namiddag: als huidmondjes openen dan ook kans op C3-fotosynthese (Rubisco carboxylase heeft 700-900ppm CO₂ nodig voor verzadiging) → bij 'Icaria' en 'Pink Twilight' is deze fase niet aangetroffen.
- Nacht: Rond de 600 ppm wordt het verzadigingsniveau bereikt (Tabel 4).
- Bij hoge CO₂-niveaus beginnen de huidmondjes te knijpen.
- Eind nacht: Malaatpool raakt verzadigd; verhoogd CO₂ heeft geen zin.

Tabel 4. Rendement CO₂-dosering volgroeide bladeren (CAM).

CO ₂ kas	November (begin nacht) % t.o.v. 400ppm	Februari (begin nacht)	Februari (eind nacht)
200			
400	100%	100%	100%
600	183%	117%	100%
800	188%	124%	100%
1000	193%	129%	100%



Overige opmerkingen

- Dit protocol is gericht op de volgroeide bladeren die het meeste licht onderscheppen. De hartbladen die vaak C3-fotosynthese hebben, zijn dus buiten beschouwing gelaten.
- Maximale lichtbenutting hoeft niet gelijk op te lopen met het economisch optimum.
 - Zoek balans tussen extra kosten belichting en meeropbrengst door hogere fotosynthese en/of kwaliteit.
- Lange termijn effecten van CO₂ doseren op de huidmondjes zijn onbekend.
 - Zorg voor de zekerheid dat de concentratie niet hoger is dan het punt waar het optimale rendement bereikt wordt!
 - Herkomst CO₂:
 - Doseren zuiver CO₂ is duur.
 - Hoge concentratie rookgassen geeft risico op verontreiniging (NO_x, ethyleen, etc.)
 - 'Verwende' bladeren (lagere CO₂-benutting bij continue blootstelling aan hoog CO₂).
 - Optimaal voor de plant is niet altijd economisch rendabel!
 - afhankelijk van de CO₂-kosten (raamstand / ventilatievoud)

Bijlage 2. Omrekeningstabel Lux, Watt, μmol

PAR-licht is licht dat beschikbaar is voor de fotosynthese en heeft een bereik van 400-700 nm. PAR-licht wordt uitgedrukt in aantal deeltjes ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) en niet in energie (W/m^2). PAR staat voor photosynthetically active radiation (=fotosynthetisch actieve straling). Soms wordt ook PPFD (photosynthetic photon flux density) gebruikt. In de tabel wordt een omrekening gegeven.

Als er geen PAR-sensor in de kas beschikbaar is, dan kan op basis van de buitenstraling een schatting worden gemaakt van de lichtintensiteit in de kas:

- Buitenstraling (Kip solarimeter) meet globale straling (energie) in W/m^2 ($=\text{J}/\text{m}^2/\text{s}$)
- $1 \text{ W}/\text{m}^2$ globale straling $\approx 2.15 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR
- Kassen hebben een transmissie variërend tussen de 70-80%
- Omrekeningsfactor voor Watt buiten naar $\mu\text{mol}/\text{s}$ binnen: 1 W buiten $= 2.15 * 0.7 = 1.5 \mu\text{mol}$ PAR binnen. Het getal 0.7 staat voor de kasdektransmissie.

Omrekeningstabel van Lux en Watt naar μmol PAR

PAR ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) (in de kas)	Lux SON-T*	Solarimeter (Watt/m^2) (buiten de kas)**
30	2300	20
60	4600	40
90	6900	60
120	9200	80
150	11500	100
180	13800	120
210	16200	140
240	18500	160
270	20800	180
300	23100	200
400		270
500		330
800		530
1200		800
1600		1060

*Omrekeningsfactor voor lux naar $\mu\text{mol}/\text{s}$: $1000 \text{ lux SON-T} = 13 \mu\text{mol}/\text{s}$

**Omrekeningsfactor voor Watt buiten naar $\mu\text{mol}/\text{s}$ binnen: 1 W buiten $= 2.15 * 0.7 = 1.5 \mu\text{mol}$ PAR binnen. De factor 0.7 is een gemiddelde kastransmissie.