

Meer rendement uit licht en CO₂ bij Lelie



Govert Trouwborst, Sander Hogewoning & Sander Pot
Juni 2013

Meer rendement uit licht en CO₂ bij Lelie

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 Lelie 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 Lichtrespons van de fotosynthese.....	6
1.3 CO ₂ -respons van de fotosynthese.....	7
2. Materiaal en methoden	9
2.1 Inleiding	9
2.2 Plantmateriaal per periode.....	9
2.3 Meten van de fotosynthese.....	9
3. Resultaten fotosynthesemetingen.....	11
3.1 Grenswaarden belichting per seizoen.....	11
3.2 Effect van de huidmondjes op het lichtrendement voor de fotosynthese	12
3.3 Anders belichten aan het einde van de dag?.....	13
3.4 Grenswaarden scherming bij hoge instraling	14
3.5 Grenswaarden CO ₂ -dosering.....	15
4. Conclusies en advies	17
4.1 Belichting	17
4.2 CO ₂ -bemesting bij Lelie?	17
Referenties.....	20
Bijlage 1. Protocol voor belichting en CO₂-dosering Lelie.....	i
Bijlage 2. Omrekeningstabel Lux, Watt, μmol.....	iv

1. Inleiding

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.

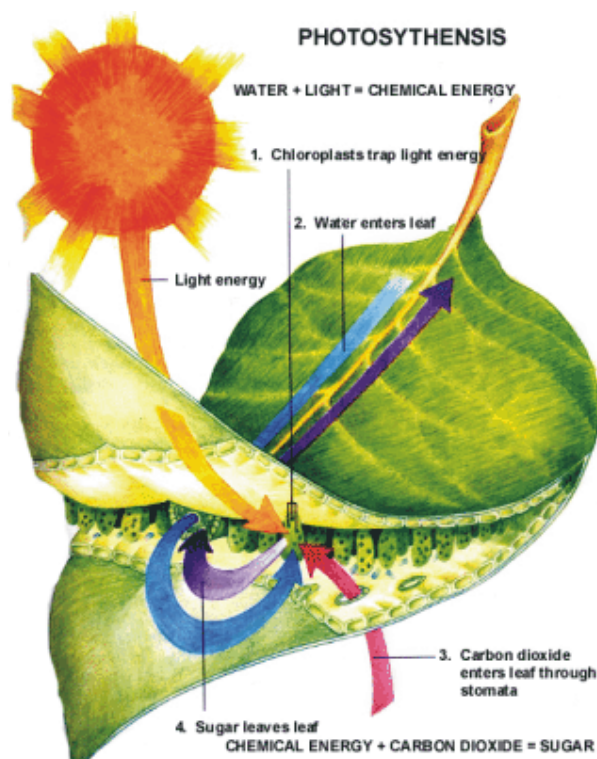


Fig. 1. Essentiële zaken rondom de fotosynthese: Lichtenergie wordt geabsorbeerd door het blad (1). Water komt binnen via de nerven (2). Tevens komt er CO₂ binnen via de huidmondjes (3). Met behulp van de lichtenergie worden er suikers gemaakt (4).

Fotosynthesemetingen bieden ook de mogelijkheid om de efficiëntie van de CO₂-opname bij verschillende CO₂-concentraties rondom het blad te meten. Uit deze metingen komt naar voren waar de grens ligt tot waar CO₂ 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 CO₂ naar binnen kan gaan (zie nr. 3 in Fig. 1 en Fig. 2A). Bij een grotere geleidbaarheid van de huidmondjes komt het CO₂

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.

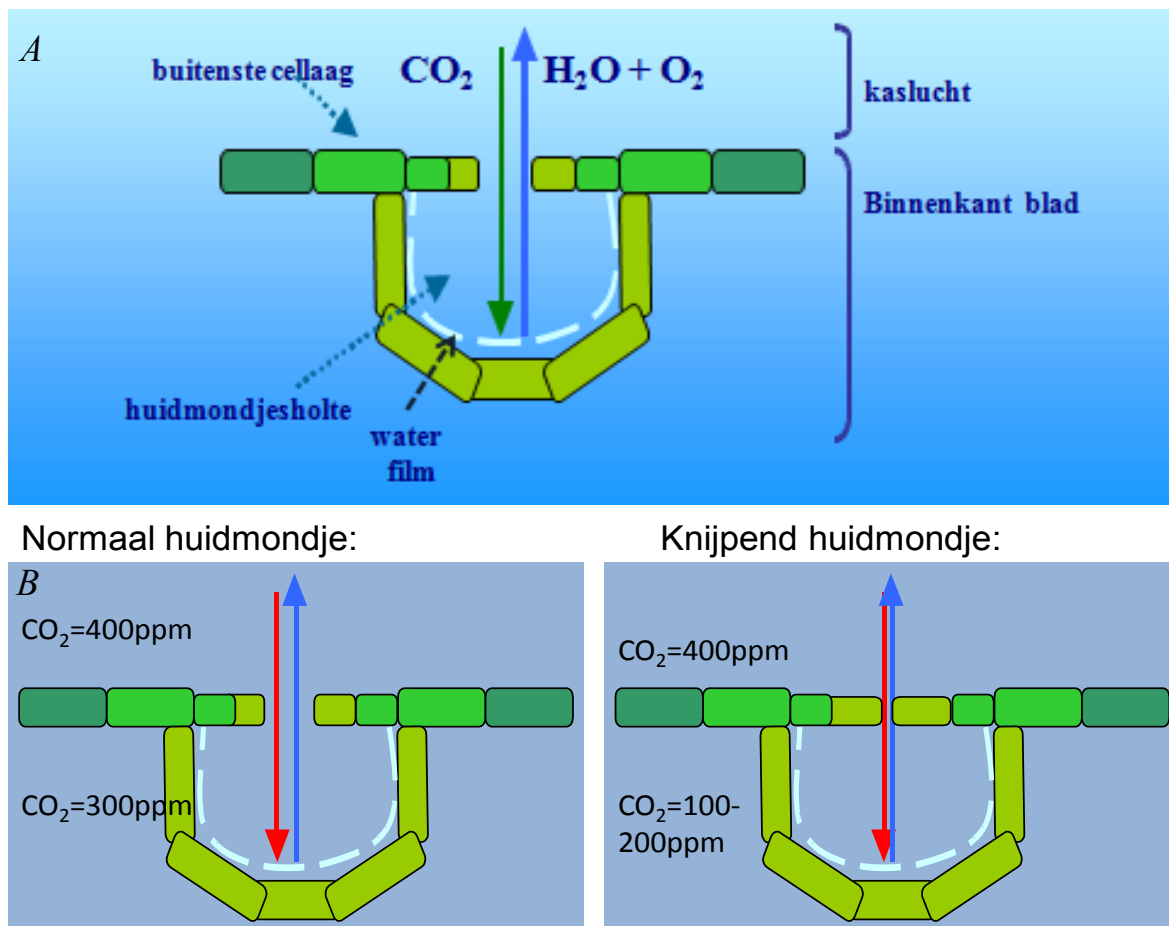


Fig. 2. Schematische tekening van een huidmondje (A) en het verschil tussen de CO_2 -concentratie in de kaslucht en in het blad door de mate van huidmondjesopening (B).

Lelie is, net als de meeste tuinbouwgewassen, van het type C_3 -plant, waarbij de opname van CO_2 overdag plaats vindt en hinder ondervindt van zuurstof. Voor een efficiënte fotosynthese bij C_3 -planten is het dus essentieel dat de huidmondjes goed openen. Bij slechte huidmondjesopening wordt namelijk teveel O_2 in plaats van CO_2 gebonden. Dat kost veel energie. Redenen dat een huidmondje dicht kan gaan zijn onder andere: een te hoog CO_2 -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 schermen soms meer netto resultaat op dan verloren wordt door het verlies aan licht.

1.2 Lichtrespons van de fotosynthese

Het is algemeen bekend dat een hogere lichtintensiteit leidt tot een hogere fotosynthesesnelheid (Fig. 3). 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.

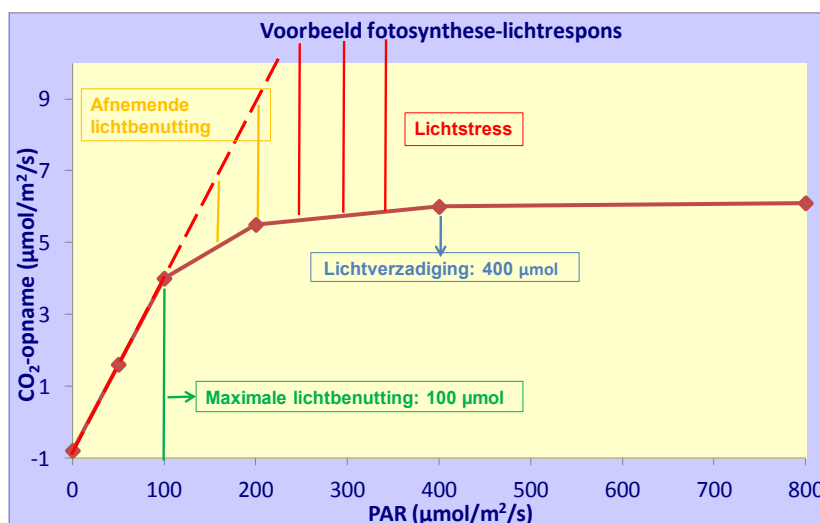


Fig. 3. Voorbeeld respons van de fotosynthese bij toenemende lichtintensiteit. Zolang als de fotosynthese meeloopt met de rood gestreepte lijn is de lichtrendement van de fotosynthese 100%. Het is vooral interessant om in dit gebied te belichten. Naarmate de 2 lijnen verder uit elkaar gaan lopen (weergegeven via de oranje en rode verticale lijnen) is er sprake van een steeds groter wordende lichtovermaat. Zo ontstaat er bij een hoge lichtintensiteit lichtstress.

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.

1.3 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. 4).

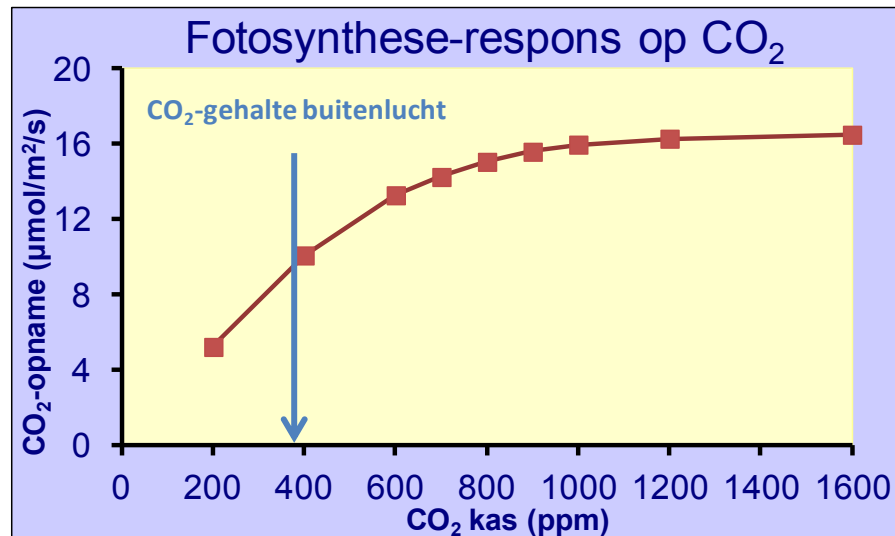


Fig. 4. Voorbeeld respons van de fotosynthese bij toenemend CO₂. Van lage naar hoge CO₂-concentraties in de kas neemt de fotosynthese eerst snel toe om vervolgens bij hoge concentraties sterk af te vlakken.

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:

- Rookgasverontreiniging: verhoogde concentraties NO_x en/of ethyleen in de kas → schade aan gewas / knopval
- Kosten: bij gebruik van zuivere CO₂ speelt het probleem van rookgasverontreiniging niet, maar leidt meer CO₂ doseren dan nodig is wel tot onnodige kosten
- 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.
- 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 CO_2 bindt om suikers te maken): bij langdurige blootstelling aan verhoogd CO_2 kan de werking van Rubisco omlaag gaan, waardoor de productiviteit relatief sterk afneemt als de CO_2 -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 Lelie 'Robina', 'Willeke Alberti' en 'Sorbonne' in de stadia halfwas (start generatieve fase: bloemknoppen net zichtbaar) en jong (4-6 week oud). 'Willeke Alberti' en 'Sorbonne' zijn Orientals, 'Robina' is een Oriental Trumpet. Voor details, zie Tabel 1.

Tabel 1. Rassen en plantstadia die gemeten zijn.

	'Robina'	'Willeke Alberti'	'Sorbonne'
Augustus	Halfwas (± 9 week)	Halfwas (± 9 week)	Halfwas (± 9 week)
November	Halfwas (± 9 week)	Halfwas (± 9 week)	
	Jong (± 4 week)		
Februari	Halfwas (± 9 week)		
	Jong (± 6 week)	Jong (± 4 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).

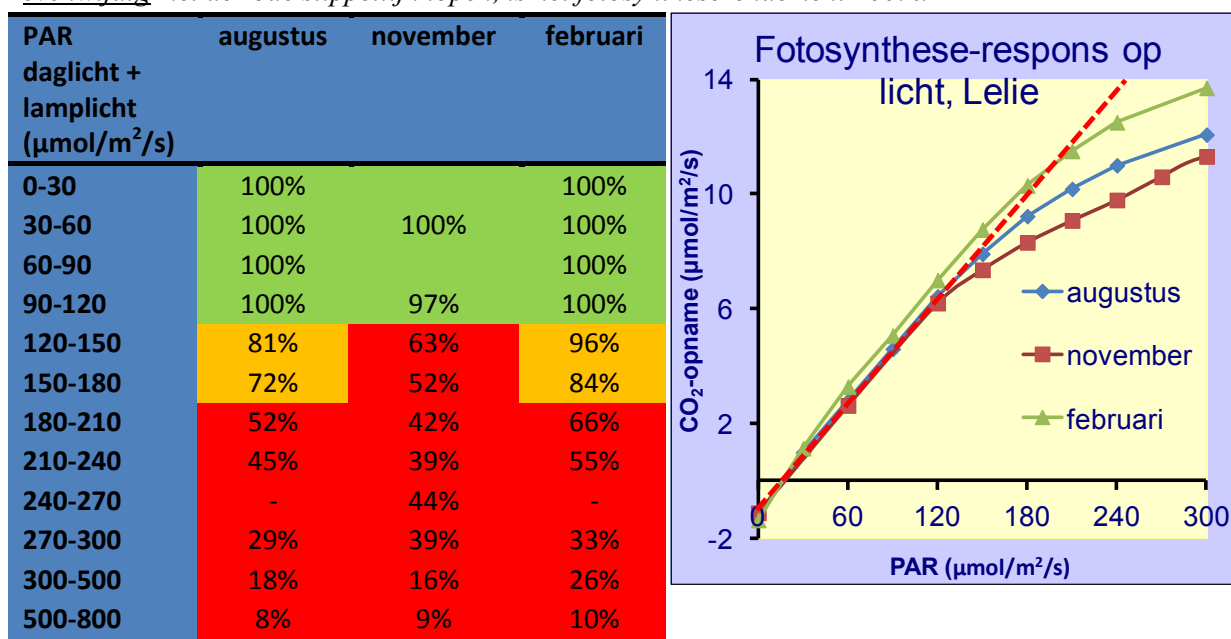
Voor de CO₂-respons metingen wordt eveneens een blad ingeklemd, maar dan wordt de lichtintensiteit constant gehouden en wordt de fotosynthese-afhankelijkheid van de CO₂-concentratie in kaart gebracht. Er is gemeten bij de volgende CO₂ concentraties: 200, 400, 600, 700, 800, 900, 1000, 1200 en 1600 ppm.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

3. Resultaten fotosynthesemetingen

3.1 Grenswaarden belichting per seizoen

Het lichtrendement van de fotosynthese verschilde nauwelijks tussen de gemeten rassen en stadia. Soms werden er verschillen gemeten die veroorzaakt werden door de huidmondjesopening (zie hoofdstuk 3.2). Bij geopende huidmondjes blijft het lichtrendement maximaal tot een intensiteit daglicht plus lamplicht van 120 μmol (Tabel 2). Bij meer daglicht plus lamplicht dan 120 μmol daalt het rendement snel en wordt het al snel onrendabel om door te gaan met belichten. Onder de 120 μmol waren de verschillen tussen de seizoenen gering. Vanaf 120 μmol gaan de lijnen uit elkaar lopen (Tabel 2) en—tegen de verwachting in—is de fotosynthese bij hogere lichtniveaus het hoogst in februari. Dit wordt volledig veroorzaakt door de mate van huidmondjesopening (zie hoofdstuk 3.2).

Tabel 2. Verloop van het fotosyntheserendement bij toenemend lichtniveau. 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 60 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ staan 's nachts aan → Het lamprendement op de fotosynthese is 100%.
- *Situatie 2.* De lampen met een lichtintensiteit van 60 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ staan om 15.00 's middags 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 110 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ licht in de kas → Het lamprendement op de fotosynthese is nog 100%.
- *Situatie 3.* De lampen met een lichtintensiteit van 60 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ staan om 15.00 's middags aan. Op een heldere dag in februari is de zonlichtintensiteit in de kas nog 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ →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 84% en de tweede 30 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ is dan 66%. Hier kan de overweging gemaakt worden om, indien mogelijk, de helft van de belichting nog uit te laten.

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.

3.2 Effect van de huidmondjes op het lichtrendement voor de fotosynthese

Zoals uitgelegd in hoofdstuk 1.1 is het heel belangrijk voor een efficiënte fotosynthese dat de huidmondjes open staan. Bij Lelie was dit met grote regelmaat niet het geval. Tabel 3 laat zien dat het lichtrendement fors daalt als de huidmondjes halfopen zijn. Ook wordt in de figuur de potentiële fotosynthese weergegeven (rode lijn). Deze lijn is bepaald door middel van chlorofyl-fluorescentie, (voor uitleg zie Pot *et al.*, 2011). Of de gerealiseerde fotosynthese in de buurt komt van de rode lijn is onder andere afhankelijk van de beschikbaarheid van CO_2 en de mate van huidmondjesopening.

Bij geopende huidmondjes (blauwe lijn) is de fotosynthese en het lichtrendement veel hoger dan bij halfopen huidmondjes (donkerrode lijn). Opvallend was dat gedurende de augustus- en novembermetingen de huidmondjes meestal halfopen waren en maar zelden helemaal open, terwijl de huidmondjes tijdens de februarimetingen meestal—maar niet altijd—open stonden. De potentiële fotosynthese (rode lijn) verschilde niet tussen alle drie de seizoenen. Dat de gerealiseerde fotosynthese in februari het hoogst was (Fig. 5), is dus geheel toe te schrijven aan de openingsstand van de huidmondjes. De reden dat deze in februari het verst open stonden, is niet geheel duidelijk, wel was de RV in februari 80% in tegenstelling tot een RV van 70% in november. In februari leek ook plantstadium een rol te spelen: Bij het jonge stadium stonden de huidmondjes verder open dan bij het halfwas stadium (bloemknoppen waren al zichtbaar). Een ‘uitontwikkelde’ plant kan tekort aan sinks hebben. Mogelijk is er ook een effect van de lichtsom over de dag. Februari had namelijk veruit de laagste lichtsommen over de dag. Mogelijk heeft Lelie met regelmaat een overvloed aan ‘source’ (‘source’: suikeraanbod door fotosynthese) en zou Lelie dus met regelmaat ‘sink’ gelimiteerd (‘sink’: suikervraag door plantendelen zoals bladeren of bloemen) kunnen zijn.

Het verdient aanbeveling om te achterhalen wat de oorzaak van de huidmondjessluiting bij Lelie is. Het voorkomen hiervan en dus op gang houden van het fotosynthese-rendement biedt potentie voor toename van de assimilatenproductie (gunstig voor takkwaliteit).

Tabel. 3. Effect van de huidmondjes op de lichtrespons van de fotosynthese. De rode lijn geeft aan wat potentieel haalbaar is. Of de gerealiseerde fotosynthese in de buurt komt van de rode lijn is o.a. afhankelijk van de beschikbaarheid van CO_2 en de huidmondjesopening. Gedurende de augustus- en novembermetingen waren de huidmondjes meestal halfopen, tijdens de februarimetingen was dit andersom.

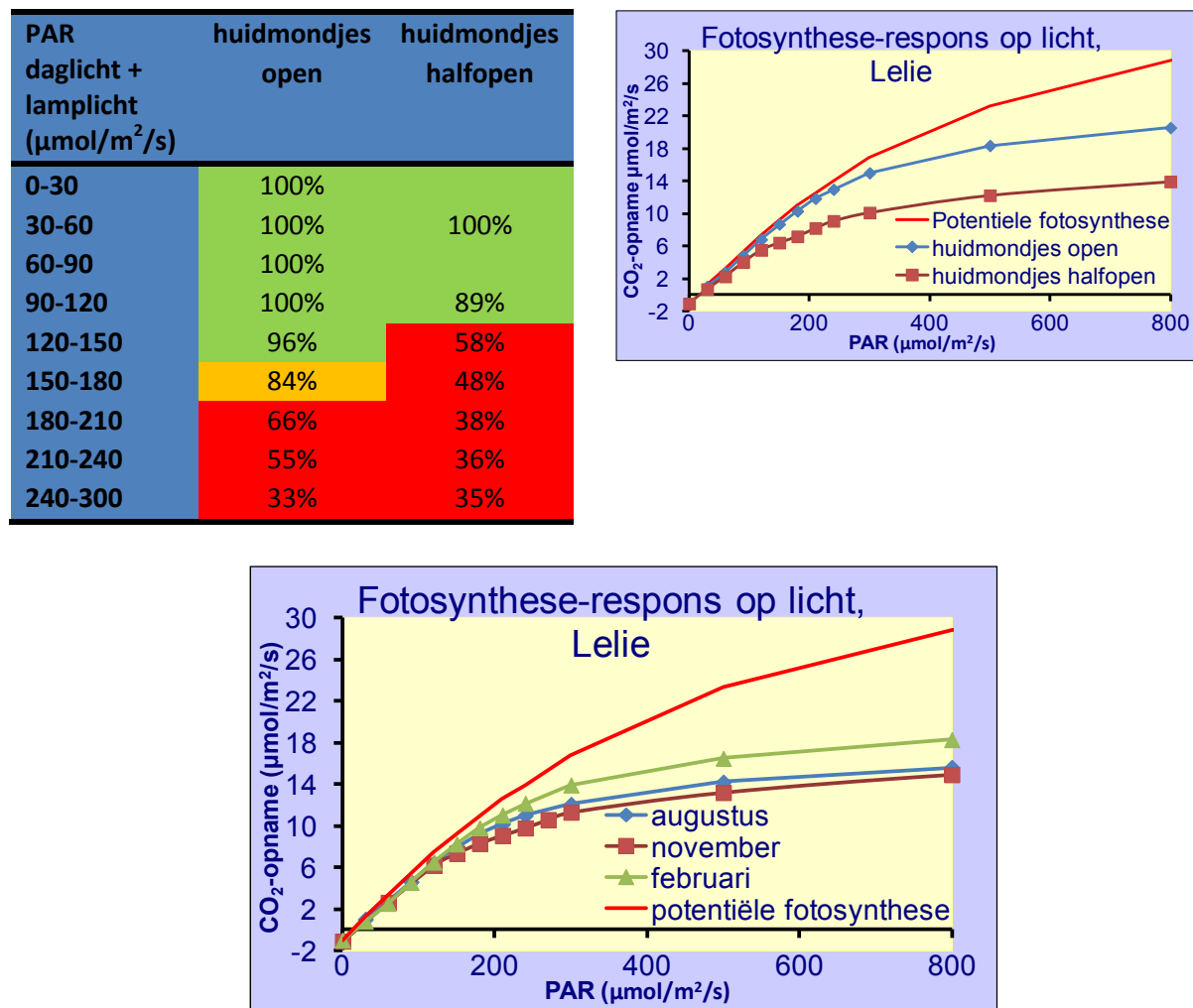


Fig. 5. Lichtrespons van de fotosynthese voor de verschillende seizoenen. De gemiddelde huidmondjesopening was voor augustus, november en februari respectievelijk 100, 70 en 130.

3.3 Anders belichten aan het einde van de dag?

In de praktijk wordt Lelie in de ochtend niet belicht. De belichting wordt vaak pas 's middags aangeschakeld en kan tot diep in de nacht doorlopen. Fig. 6 laat zien dat er tot 120 μmol nauwelijks afname is van de fotosynthese in de periode van onder uitsluitend daglicht tot 2.00 uur 's nachts met lamplicht. De huidmondjesgeleidbaarheid is laag gedurende de belichtingstijd met uitsluitend lamplicht (Fig. 7; rond de 0.04 $\text{mmol}/\text{m}^2/\text{s}$) maar nog net niet limiterend voor de fotosynthese als het lichtniveau onder de 120 μmol blijft, terwijl bij 150 μmol de fotosynthese al zo'n 15% lager ligt dan overdag (Fig. 6, groene lijn). Met de huidige belichtingsniveaus bij Lelie (tot ~90 μmol belichting) wordt al het lamplicht dus ook in de laatste uren goed benut.

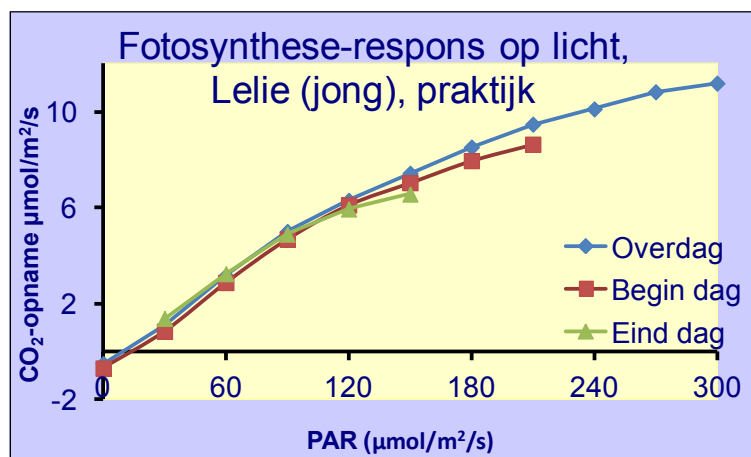


Fig. 6. Effect van tijdstip van de dag op het lichtrendement van de fotosynthese. Begin van de dag is 's ochtends vroeg bepaald onder natuurlijk daglicht. Einde van de dag is bepaald onder uitsluitend SON-T licht tot ongeveer 's nachts 2:00 uur (data november).

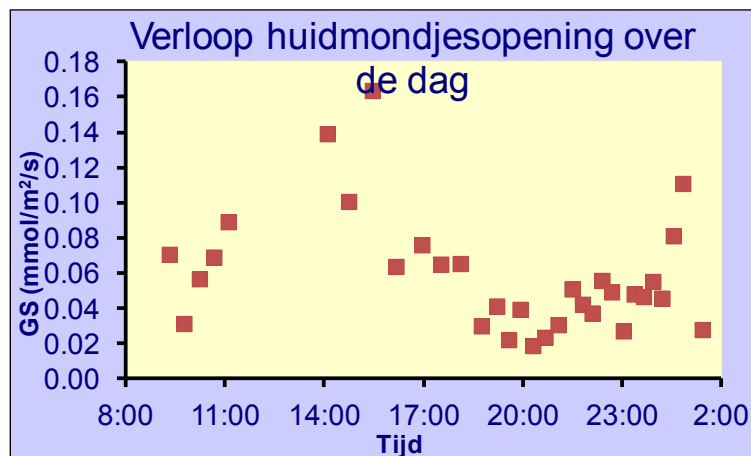


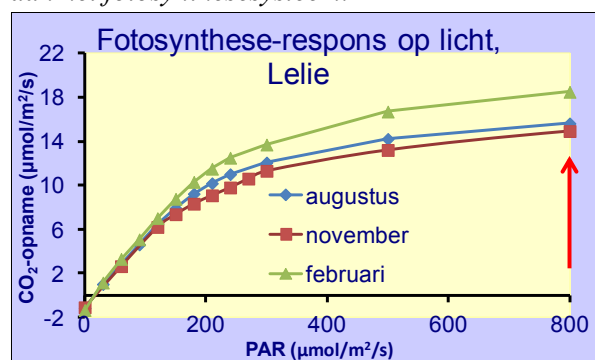
Fig. 7. Verloop van de huidmondjesopening (GS) over de dag. De fotoperiode liep van zonsopgang tot 2.00 uur 's nachts (data november).

3.4 Grenswaarden scherming bij hoge instraling

Bij de getekende rode pijl in de figuur bij Tabel 4 is het lichtrendement dermate laag dat langdurige blootstelling schade aan het fotosynthese-systeem in het blad kan geven. Bij dit lichtniveau kan er beter geschermd worden. Overigens zijn er ook andere redenen om eerder te screenen, zoals het op orde houden van de waterhuishouding in het vroege voorjaar en om takstrekking in de zomer juist te bevorderen.

Tabel 4. Lichtgrens waarboven er lichtstress ontstaat aan het fotosynthesesysteem.

	PAR binnen ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	Straling buiten (Watt/m^2)
Augustus	800	~530
November	800	~530
Februari	800	~530



3.5 Grenswaarden CO₂-dosering

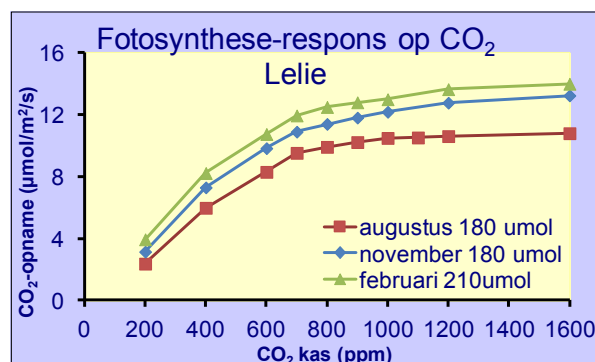
Net als de fotosynthese-respons op toenemend licht laat de fotosynthese-respons op toenemend CO₂ een verzadiging zien: Naarmate er meer CO₂ gedoseerd wordt, wordt de toename in CO₂-opname (fotosynthese) steeds kleiner. Uit Tabel 5 blijkt dat rond de 800-900 ppm het verzadigingsniveau wordt bereikt. Hierin speelt de openingsstand van de huidmondjes een grote rol: Hoe meer de huidmondjes open staan, hoe eerder verzadigd met CO₂. Boven de 1000ppm gaan de huidmondjes langzaam knijpen!

In absolute zin heeft CO₂ steeds meer effect naarmate er meer licht is. Een getallenvoorbeeld maakt dit duidelijk:

- Lichtintensiteit in de kas is $100 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$: bij 400 ppm is de fotosynthese 5.0 en bij 800 ppm 7.5 → toename van 2.5 door verhoogd CO₂.
- Lichtintensiteit in de kas is $500 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$: bij 400 ppm is de fotosynthese 15.0 en bij 800 ppm 22.5 → toename van 7.5 door verhoogd CO₂.

Tabel 5. Rendement CO₂-dosering bij 180 en 210 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR. Boven de 1000 ppm gaan de huidmondjes langzaam knijpen.

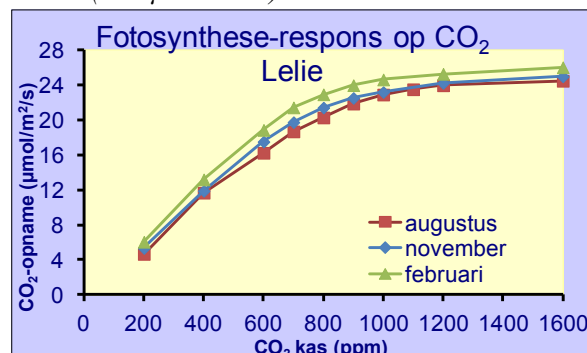
CO ₂ kas	Augustus % t.o.v. 400ppm	November	Februari
200	40%	43%	48%
400	100%	100%	100%
600	139%	135%	131%
700	159%	149%	145%
800	166%	156%	152%
900	171%	162%	156%
1000	176%	167%	158%
1200	178%	175%	166%
1600	181%	182%	170%



Bij hoge lichtintensiteit stijgt de procentuele toename van de fotosynthese, en wordt het verzadigingsniveau ook bij een hoger niveau CO₂ (900-1000 ppm) bereikt (Tabel 6).

Tabel 6. Rendement CO₂-dosering bij verzadigend lichtniveau (800 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$).

CO ₂ kas	Augustus % t.o.v. 400ppm	November	Februari
200	40%	45%	46%
400	100%	100%	100%
600	139%	147%	143%
700	160%	166%	163%
800	174%	180%	174%
900	187%	189%	182%
1000	196%	195%	187%
1200	205%	204%	192%
1600	210%	210%	197%



4. Conclusies en advies

4.1 Belichting

In Tabel 7 staan de grenzen voor maximale lichtbenutting voor de fotosynthese, het CO₂-verzadigingsniveau en het lichtniveau waarboven lichtstress kan optreden.

Tabel 7. Grenswaarde lichtintensiteit die nog voor 100% benut wordt en adviezen CO₂-dosering en lichtscherming.

	100% lichtbenutting (daglicht+lamplicht) tot aan:	CO ₂ -maximum	Lichtverzadiging (lichtstress), schermen bij:
Augustus	120 µmol	900 ppm	800 µmol
November	120 µmol	900 ppm	800 µmol
Februari	120 µmol	800 ppm	800 µmol

Een belangrijk aandachtspunt voor efficiënte fotosynthese bij Lelie is de openingsstand van de huidmondjes. Het is niet geheel duidelijk waardoor deze vaak maar halfopen waren en zo dus beperkend waren voor de fotosynthese bij hogere lichtniveaus. Doordat tijdens de februari metingen de huidmondjes meestal wel open stonden, terwijl dit niet het geval was in augustus en november, lijkt de RV een rol te spelen. Deze was in februari ~80% t.o.v. ~70% in augustus en november. In februari leek ook plantstadium een rol te spelen: Bij het jonge stadium stonden de huidmondjes verder open dan bij het halfwas stadium (bloemknoppen waren al zichtbaar). Een 'uitontwikkelde' plant kan tekort aan sinks hebben. Mogelijk is er ook een effect van de lichtsom over de dag. Februari had namelijk veruit de laagste lichtsommen over de dag. Mogelijk heeft Lelie met regelmaat een overvloed aan 'source' ('source': suikeraanbod door fotosynthese) en zou Lelie dus met regelmaat 'sink' gelimiteerd ('sink': suikervraag door plantendelen zoals bladeren of bloemen) kunnen zijn. Van de koffieplant is gemeten dat sink-limitatie een verlaging geeft van de huidmondjesgeleidbaarheid (DaMatta *et al.* 2008). Dit zou bij Lelie ook het geval kunnen zijn.

4.2 CO₂-bemesting bij Lelie?

Slechts enkele praktijkbedrijven doseren CO₂ bij Lelie. In 2008 heeft Plant Dynamics laten zien dat de fotosynthese van Lelie positief reageert op het verhogen van de CO₂-concentratie, zodat de fotosynthese zelfs kan verdubbelen (Schapendonk en Pot, 2008). In 2010 is het effect van CO₂-dosering getest door PPO-Lisse bij 12 Lelie-rassen (Slootweg *et al.* 2010). In die proef werd gevonden dat de meeste Aziaten en LA-hybriden zo'n 10% hoger takgewicht hadden terwijl er bij de Orientals geen verschillen werden gevonden. Uiteindelijk werd geconcludeerd dat de hoge investeringskosten van een CO₂-bemestingssysteem niet opwegen tegen de kleine kans op kwaliteitsverbetering.

In dit project zijn juist Oriental-rassen gemeten waarbij opnieuw wordt aangetoond dat op bladniveau de fotosynthese fors toeneemt bij stijgende CO₂-gehaltes (zie hoofdstuk 3.5). Hierdoor zou de –merkwaardige– conclusie getrokken kunnen worden dat de fotosynthese dus weinig effect heeft op het takgewicht van lelie. Dat zou dus betekenen dat de voor de tak benodigde energie vrijwel alleen uit de bol komt. Bij tulp is bekend dat vrijwel alle energie uit de bol komt, maar voor lelie is dit gezien de zwaarte van de tak onwaarschijnlijk. Logischer lijkt te zijn dat de gebruikte SON-T functioneert als *assimilatielicht* voor de aanmaak van voldoende suikers voor de tak- en knopontwikkeling. Omdat het aantal knoppen al vast ligt worden extra aangemaakte suikers mogelijk in de bol (=afval in de leliebroei) geïnvesteerd. Daarnaast heeft SON-T z'n functie als *stuurlicht* (remming lengtegroei). Beide aspecten zijn efficiënter vorm te geven:

1. *Assimilatielicht*. Voor fotosynthese is zowel licht als CO₂ nodig. De fotosynthese kan dus verhoogd worden door meer licht en/of meer CO₂ te doseren (zie Fig. 8). Het is energetisch veel zuiniger om aan de suikerbehoefte voor voldoende takgewicht en een goede knopontwikkeling te voldoen met weinig belichting plus CO₂ dan alleen met veel belichting. Maar geeft minder belichting dan niet teveel strekking? Zie hiervoor punt 2 stuurlicht.

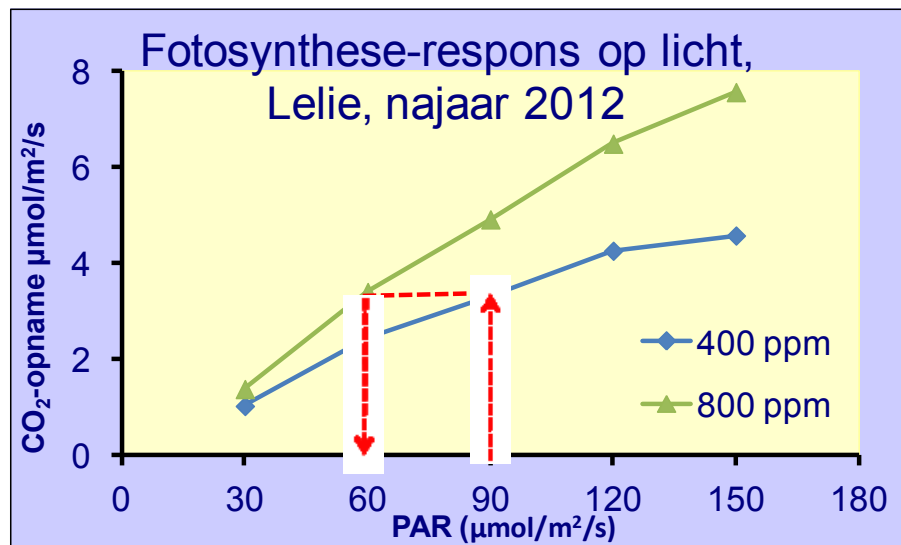


Fig. 8. Grafiek lichtrespons Lelie bij normaal (400ppm, blauwe lijn) en verhoogd CO₂-niveau (800 ppm, groene lijn). Met CO₂-dosering geeft 60 μmol/m²/s assimilatielicht (groene lijn) een iets hogere fotosynthese dan 90 μmol/m²/s assimilatielicht zonder CO₂-dosering (blauwe lijn).

2. *Stuurlicht*. Stengelstrekking kan worden tegengegaan door middel van sturing op cryptochromen (fotoreceptoren in de plant) met een hoger percentage blauw licht van de juiste golflengte, en/of door middel van sturing op fytochromen (een ander type fotoreceptoren in de plant) via een hoge rood/verrood verhouding. SON-t straalt slechts 5% blauw licht uit en ook niet de meest effectieve golflengten rood licht om het fytochroom met een minimum aan energie maximaal aan te sturen. Door middel van LED's met de

juiste golflengten is dus de stuurlichtfunctie van SON-T eenvoudig te verbeteren. Vervanging van een hoge intensiteit SON-T door veel lagere intensiteit van het juiste LED-licht zou wellicht even sterk strekkingsremmend kunnen werken.

Om deze gedachtegang te toetsen in een praktische proef is subsidie verleend vanuit het programma Kas als Energiebron. De proef staat gepland voor de periode september 2013-april 2014.

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

DaMatta FM, Cunha RL, Antunes WC, Martins SCV, Araujo WL, Moraes AR, Fernie GABK. 2008. In field-grown coffee trees source – sink manipulation alters photosynthetic rates, independently of carbon metabolism, via alterations in stomatal function. *Plant, cell & environment*: 348-357.

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 AHCM, Pot CS. 2008. Fotosynthese onderzoek bij Lelie in relatie tot CO₂ en licht. Wageningen: Plant Dynamics B.V., 27 blz.

Slootweg C, Kok H, Van Aanholt H. 2010. CO₂ bemesting bij Lelie. Lisse: PPO-bloembollen, boomkwekerij & fruit, 21 blz.

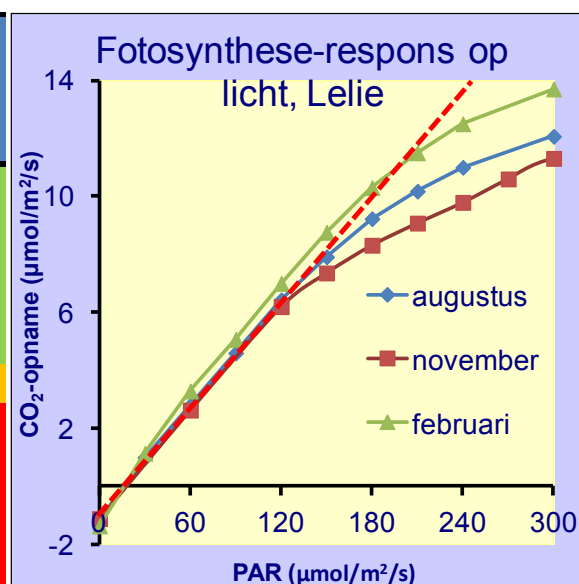
Bijlage 1. Protocol voor belichting en CO₂-dosering Lelie

Grenswaarden belichting per seizoen

- Geen verschil in lichtbenutting tussen de stadia jong en halfwas, als er verschillen werden gemeten dan werd dit verschil veroorzaakt door huidmondjesopening.
- Grenswaarde voor 100% lichtrendement (Tabel 1) bij open huidmondjes: 120 μmol .
- Seizoenseffect op het rendement van belichting voor de fotosynthese doordat huidmondjes in november en augustus minder ver open staan dan in februari

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

PAR daglicht + lamplicht ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	augustus	november	februari
0-30	100%		100%
30-60	100%	100%	100%
60-90	100%		100%
90-120	100%	97%	100%
120-150	81%	63%	96%
150-180	72%	52%	84%
180-210	52%	42%	66%
210-240	45%	39%	55%
240-270	-	44%	-
270-300	29%	39%	33%
300-500	18%	16%	26%
500-800	8%	9%	10%

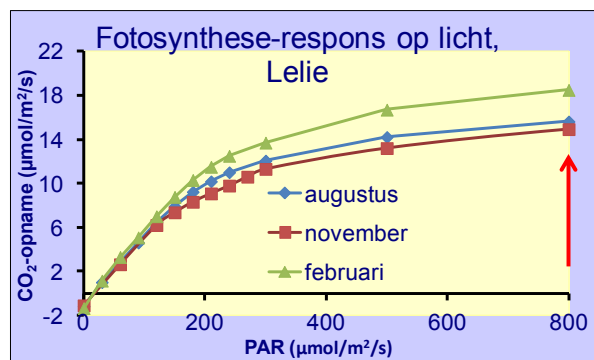


Grenswaarden scherming bij hoge instraling

- Langdurig hoge instraling geeft schade aan het fotosynthese-systeem het blad.
- 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	800	~530
November	800	~530
Februari	800	~530

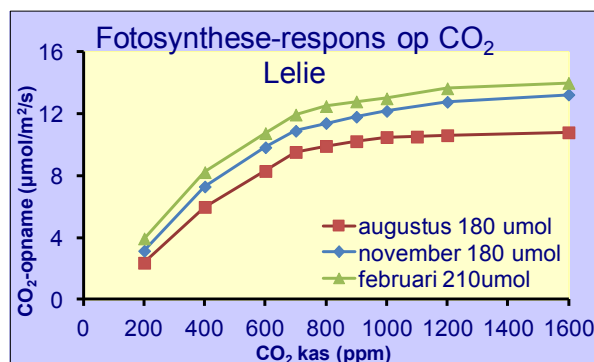


Grenswaarden CO₂-dosering

- Bij 800-900 ppm wordt het verzadigingsniveau bereikt (Tabel 4), dus maximaal tot 900 ppm doseren.
- Boven de 1000ppm beginnen de huidmondjes langzaam te knijpen
- Huidmondjes spelen weer een grote rol: hoe meer de huidmondjes open staan, hoe eerder verzadigd met CO₂.

Tabel 4. Rendement CO₂-dosering.

CO ₂ kas	Augustus % t.o.v. 400ppm	November	Februari
200	40%	43%	48%
400	100%	100%	100%
600	139%	135%	131%
700	159%	149%	145%
800	166%	156%	152%
900	171%	162%	156%
1000	176%	167%	158%
1200	178%	175%	166%
1600	181%	182%	170%



In absolute zin heeft CO₂ steeds meer effect naarmate er meer licht is. Een getallenvoorbeeld maakt dit duidelijk:

- Lichtintensiteit in de kas is 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$: bij 400 ppm is de fotosynthese 5.0 en bij 800 ppm 7.5 → toename van 2.5 door verhoogd CO₂.
- Lichtintensiteit in de kas is 500 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$: bij 400 ppm is de fotosynthese 15.0 en bij 800 ppm 22.5 → toename van 7.5 door verhoogd CO₂.

Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat bij een hoge instraling de ramen vaak (ver) open staan. Behoud van een hoge CO₂-concentratie in de kas vergt dan een hoge dosering en is daardoor wellicht niet rendabel.

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)

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.