

Meer rendement uit licht en CO₂ bij Lisianthus



Govert Trouwborst, Sander Hogewoning & Sander Pot
Juni 2013

Meer rendement uit licht en CO₂ bij Lisianthus

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 Lisianthus 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 van deze uitgave mogen vrij gebruikt worden, 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 Effect van stadium op de fotosynthese?	11
3.2 Grenswaarden belichting per seizoen.....	11
3.3 Anders belichten begin en einde dag?	13
3.4 Grenswaarden scherming bij hoge instraling	14
3.5 Grenswaarden CO ₂ -dosering	14
4. Conclusies en advies	16
Referenties.....	18
Bijlage 1. Protocol voor belichting en CO₂-dosering Lisianthus	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.

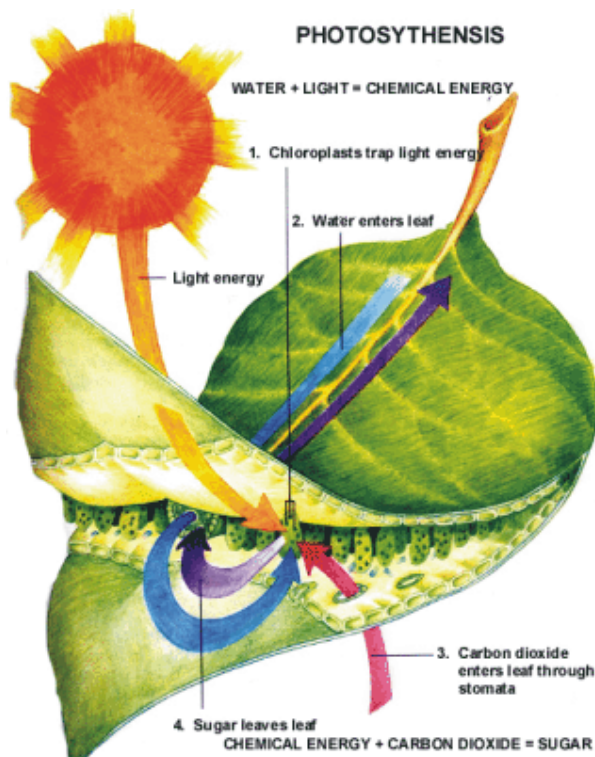


Fig. 1. Essentiële zaken rondom de fotosynthese: Lichtenergie wordt geabsorbeerd door het blad (1). Water komt binnen via de nerven (2). Tevens komt er CO₂ binnen via de huidmondjes (3). Met behulp van de lichtenergie worden er suikers gemaakt (4).

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.

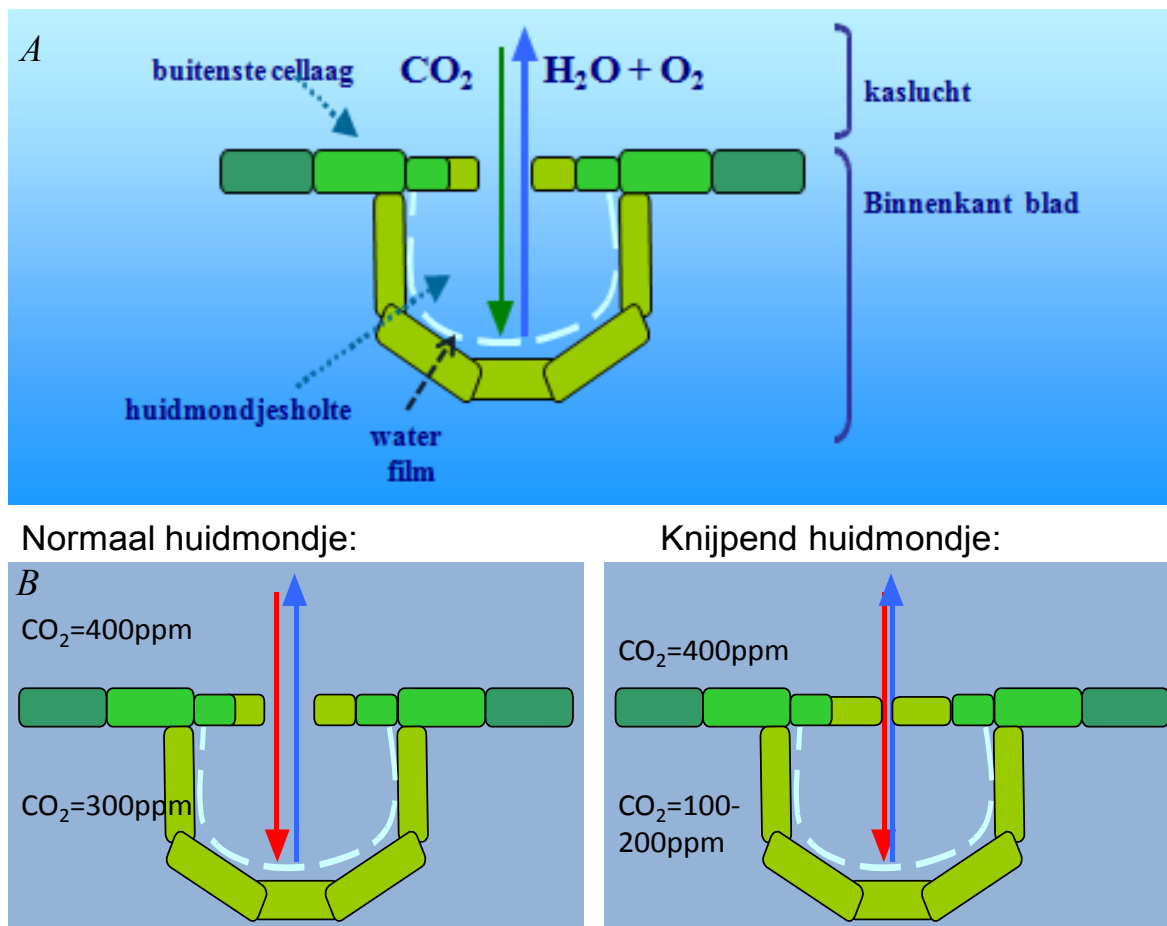


Fig. 2. Schematische tekening van een huidmondje (A) en het verschil tussen de CO_2 -concentratie in de kaslucht en in het blad door de mate van huidmondjesopening (B).

Lisianthus 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 screenen 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.

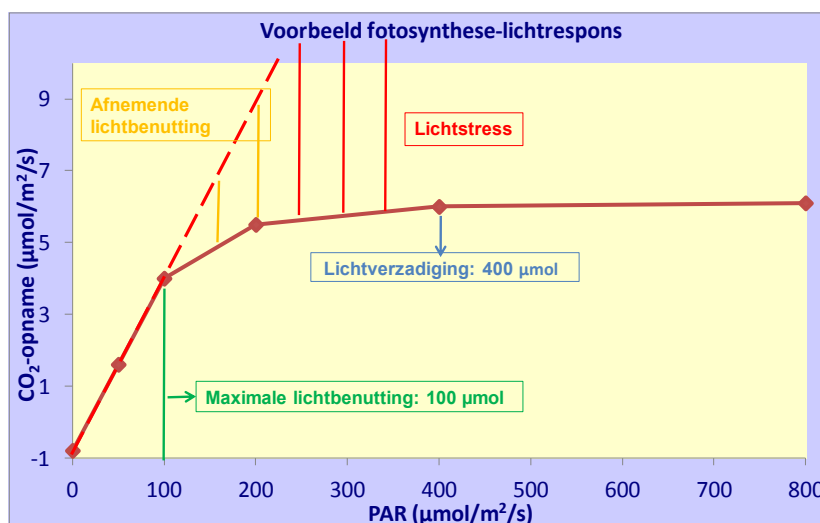


Fig. 3. Voorbeeld respons van de fotosynthese bij toenemende lichtintensiteit. Zolang als de fotosynthese meeloopt met de rood gestreepte lijn is de lichtrendement van de fotosynthese 100%. Het is vooral interessant om in dit gebied te belichten. Naarmate de 2 lijnen verder uit elkaar gaan lopen (weergegeven 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).

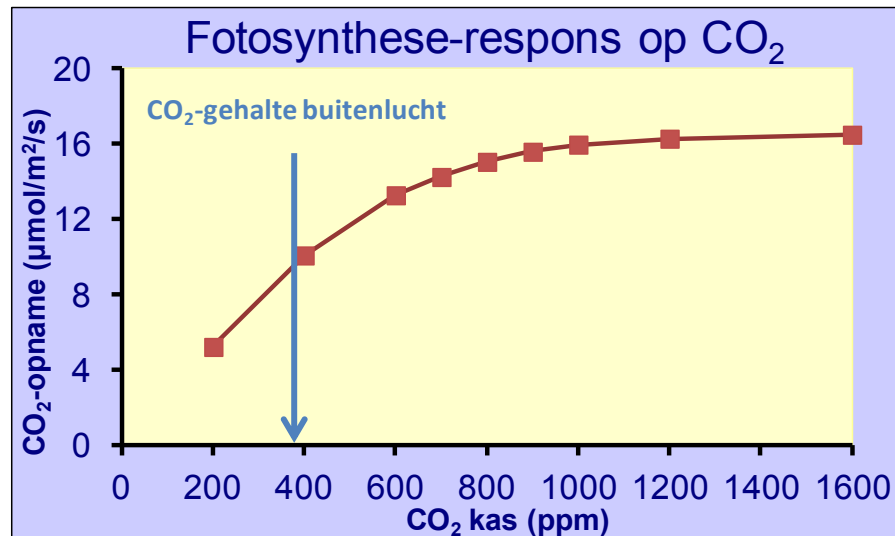


Fig. 4. Voorbeeld respons van de fotosynthese bij toenemend CO₂. Van lage naar hoge CO₂-concentraties in de kas neemt de fotosynthese eerst snel toe om vervolgens bij hoge concentraties sterk af te vlakken.

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 het ras *Lisianthus* 'Carice Lavender' in de stadia jong/halfwas (3-5 weken na planten) en net bloei (bloemkleur net zichtbaar; 7 week na planten). Voor details, zie Tabel 1.

Tabel 1. Plantstadia die gemeten zijn.

Lisianthus 'Carice Lavender'	
Augustus	Halfwas (5 week na planten)
	Net bloei (7 week na planten)
November	Jong (3 week na planten)
	Net bloei (7 week na planten)
Februari	Jong (3 week na planten)
	Net bloei (7 week na planten)

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 Effect van stadium op de fotosynthese?

Er was in augustus tussen de stadia halfwas en bloei nagenoeg geen verschil in de fotosynthese-lichtrespons (Fig. 5A). In november verschilde de lichtrespons onder lage lichtintensiteiten niet tussen de stadia jong en net bloei (Fig. 5B). De fotosynthese-capaciteit lag wel lager bij het bloeistadium, dit kwam door een lagere huidmondjesopening in het bloeistadium. In Fig. 5 wordt ook 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 CO₂ en de mate van huidmondjesopening.

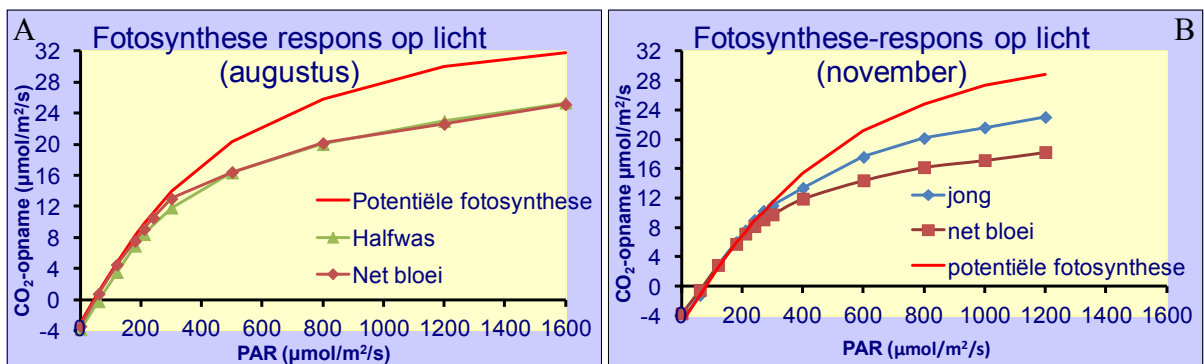
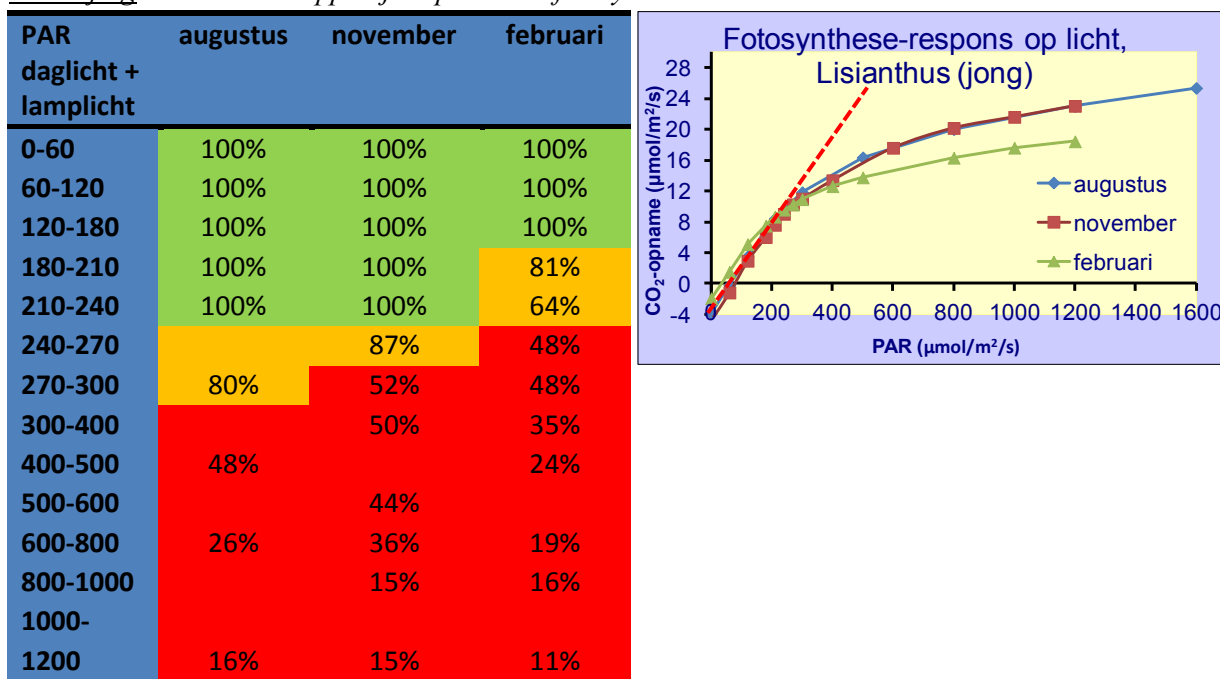


Fig. 5. Lichtrespons op de fotosynthese van *Lisianthus* in de stadia halfwas en net bloei (A; data augustus) en jong en net bloei (B; data november). De rode lijn geeft aan wat potentieel haalbaar is. Of de gerealiseerde fotosynthese in de buurt komt van de rode lijn is o.a. afhankelijk van de beschikbaarheid van CO₂ en de huidmondjesopening.

3.2 Grenswaarden belichting per seizoen

In Tabel 2 staat het lichtrendement voor de verschillende seizoenen weergegeven. De fotosynthese-capaciteit ligt in februari een stuk lager dan in augustus/november. In augustus en november blijft het lichtrendement tot een intensiteit lamplicht plus daglicht van 240 μmol maximaal, terwijl in februari het lichtrendement al boven de 180 μmol afneemt (Tabel 2). Boven de 300, 270 en 240 μmol daglicht plus lamplicht in respectievelijk augustus, november en februari daalt het lichtrendement snel en lijkt het al snel onrendabel om door te gaan met belichten.

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 210 µmol/m²/s staan 's nachts aan → Het lamprendement op de fotosynthese is 100%.
- *Situatie 2.* De lampen met een lichtintensiteit van 210 µmol/m²/s staan om 10.00 's ochtends aan. Op een bewolkte dag in november is de zonlichtintensiteit in de kas zo'n 30 µmol/m²/s. → bij elkaar is er dan 240 µmol/m²/s licht in de kas → Het lamprendement op de fotosynthese is nog steeds 100%.
- *Situatie 3.* De lampen met een lichtintensiteit van 210 µmol/m²/s staan om 10.00 's ochtends aan. Op een heldere dag in februari is de zonlichtintensiteit in de kas al 150 µmol/m²/s → bij elkaar is er dan 360 µmol/m²/s licht in de kas → rendement van het lamplicht op de fotosynthese is van de eerste 70 µmol ~81-100%, van de tweede 70 µmol 48%, en van de laatste 70 µmol 35%. Het is dan zeker te overwegen om het lamplicht gedeeltelijk 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 begin en einde dag?

Lisianthus liet in augustus aan het einde van de dag rendementsverlies zien doordat de huidmondjes aan het einde van de dag steeds verder dichtgingen (Fig. 6AB). In Fig. 6A is te zien dat rond 17:00 uur bij 180 μmol het rendement al daalt ten opzichte van eerdere metingen op de dag. Of deze huidmondjessluiting veroorzaakt werd door intern dagritme of doordat het blad ‘vol raakt’ met assimilaten doordat het een heel zonnige dag was, was niet geheel duidelijk.

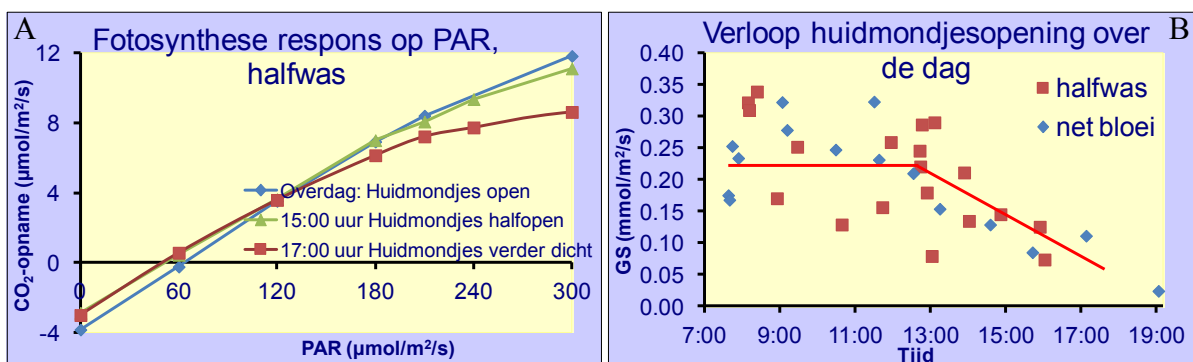


Fig. 6. A: effect van einde van de dag op de fotosynthese-lichtrespons in augustus. B: Verloop van de huidmondjesopening (GS) over de dag. De rode lijn geeft een ruwe trend weer.

In november werd een soortgelijke huidmondjessluiting waargenomen (Fig. 7B) maar doordat het CO_2 -gehalte in de kas boven de 800 ppm bleef, resulteerde dit niet in een lager fotosynthese-rendement (Fig. 7A). Verlaging van het fotosynthese-rendement door huidmondjeslimitatie is dus te compenseren door een verhoogd CO_2 -gehalte. Wat ook opviel was dat het bloeistadium een lagere huidmondjesopening had dan het jonge stadium (Fig. 7B).

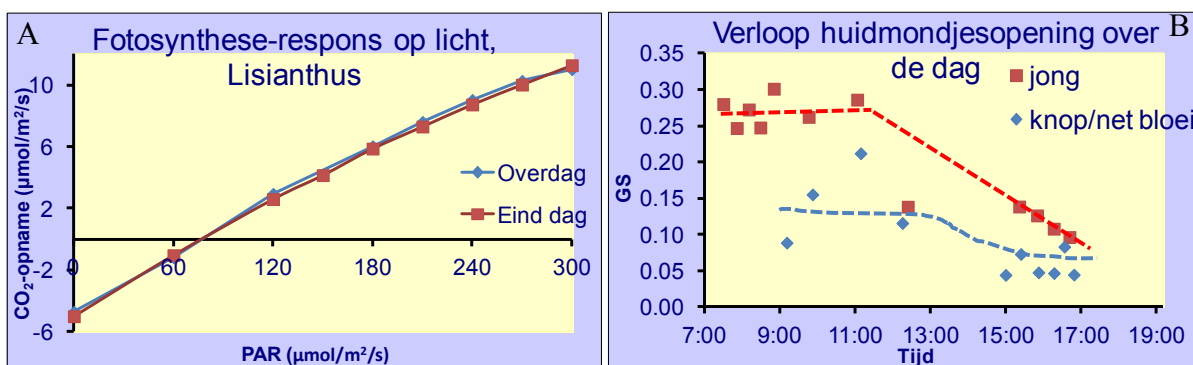


Fig. 7. A: effect van einde van de dag op de fotosynthese-lichtrespons in november. B: Verloop van de huidmondjesopening (GS) over de dag. De rode en blauwe lijn geven een ruwe trend weer.

In februari werd geen huidmondjessluiting waargenomen (Fig. 8B). Wel was er een daling in het fotosynthese-rendement aan het einde van de dag (Fig. 8A; lichtblauwe lijn t.o.v. donkerblauwe lijn). Dit verminderde fotosynthese-rendement werd ook aan het begin van de nieuwe dag (die om 22:00 uur begon) waargenomen (Fig. 8A; rode lijn). Dit was terug te voeren op een 5-6°C lagere planttemperatuur aan het einde en begin van de dag (24-25°C ipv 30°C).

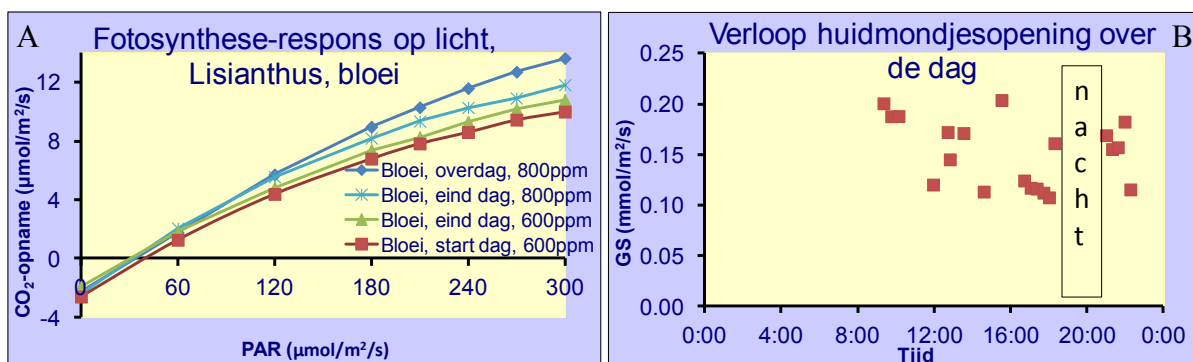


Fig. 8. A: effect van einde van de dag op de fotosynthese-lichtrespons in februari. B: Verloop van de huidmondjesopening (GS) over de dag.

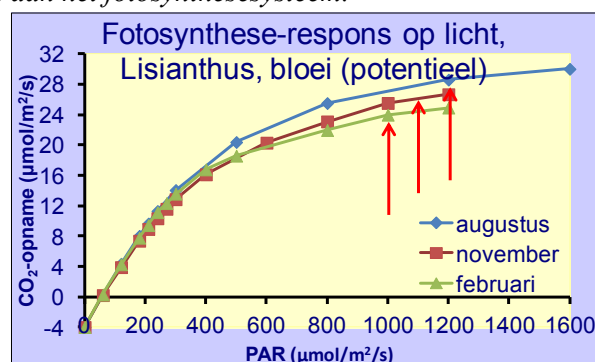
Dat in februari de huidmondjesopening aan het einde van de dag niet beperkend was, laat zien dat een intern dagritme van de huidmondjes waarschijnlijk minder van belang is. Doordat juist de huidmondjes in het bloeistadium gevoeliger waren, doet vermoeden dat de huidmondjessluiting in augustus en november veroorzaakt werd door een verminderde assimilatenvraag. Wellicht hoeft er in het bloeistadium aan het einde van de dag (bij voldoende instraling overdag) minder belicht te worden.

3.4 Grenswaarden scherming bij hoge instraling

Bij de getekende rode pijlen in de figuur bij Tabel 3 is het lichtrendement dermate laag dat langdurige blootstelling schade aan het fotosynthese-systeem in het blad kan geven (lichtstress). Bij Lisianthus-rassen die gevoelig zijn voor bladschade wordt schermen aangeraden.

Tabel 3. Lichtgrens waarboven er lichtstress ontstaat aan het fotosynthesesysteem.

	PAR binnen (μmol/m ² /s)	Straling buiten (Watt/m ²)
Augustus	1200	~800
November	1100	~730
Februari	1000	~670



3.5 Grenswaarden CO₂-dosering

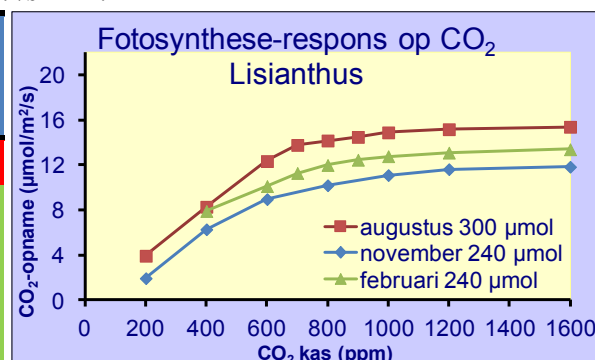
Net als de fotosynthese-respons op toenemend licht laat de fotosynthese-respons op toenemend CO₂ een verzadiging zien: Naarmate er meer CO₂ gedoseerd wordt, wordt de toename in CO₂-opname (fotosynthese) steeds kleiner. Uit Tabel 4 blijkt dat rond de 800 ppm het verzadigingsniveau wordt bereikt.

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 4. Rendement CO₂-dosering bij 240-300 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR.

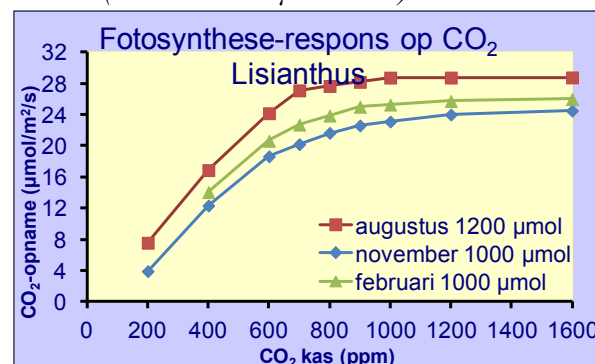
CO ₂ kas	Augustus % t.o.v. 400ppm	November	Februari
200	47%	31%	
400	100%	100%	100%
600	149%	143%	128%
700	166%		143%
800	171%	162%	152%
900	175%		158%
1000	180%	177%	162%
1200	183%	185%	168%
1600	186%	189%	177%



Bij hoge lichtintensiteit stijgt de procentuele toename van de fotosynthese, en wordt het verzadigingsniveau ook bij een hoger niveau CO₂ (900 ppm) bereikt (Tabel 5).

Tabel 5. Rendement CO₂-dosering bij verzadigend lichtniveau (1000 en 1200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$).

CO ₂ kas	Augustus % t.o.v. 400ppm	November	Februari
200	45%	32%	
400	100%	100%	100%
600	143%	151%	147%
700	161%	164%	162%
800	164%	176%	170%
900	167%	183%	178%
1000	170%	187%	180%
1200	170%	195%	183%
1600	170%	199%	185%



4. Conclusies en advies

Lisianthus is—fotosynthetisch gezien— een redelijk makkelijk gewas dat veel licht aankan. In Tabel 6 staan de grenzen voor maximale lichtbenutting voor de fotosynthese, het CO₂-verzadigingsniveau en het lichtniveau waarboven lichtstress kan optreden. Bij ‘Carice Lavender’ wordt in de praktijk alleen gedurende de eerste drie weken na planten geschermd als de lichtintensiteit te hoog wordt en lijkt dus niet gevoelig voor bladschade door hoge lichtintensiteiten. Bij Lisianthus-rassen die gevoelig zijn voor bladschade wordt schermen aangeraden.

Een aandachtspunt is de huidmondjesopening aan het einde van de dag. In augustus en november was de geleidbaarheid in de laatste twee uren van de dag erg laag. Het is dus aan te bevelen om het CO₂-niveau gedurende die uren hoog te houden om een verlaging in het lichtrendement te voorkomen. Doordat aan het einde van de dag juist de huidmondjes in het bloeistadium gevoeliger waren, doet vermoeden dat de huidmondjessluiting in augustus en november veroorzaakt werd door een verminderde assimilatenvraag. In februari was namelijk de huidmondjesopening aan het einde van de dag niet beperkend. Wellicht hoeft er in het bloeistadium aan het einde van de dag (bij voldoende instraling overdag) minder belicht te worden.

Tabel 6. 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	240 µmol	800-900 ppm	800 µmol
November	240 µmol	800-900 ppm	750 µmol
Februari	180 µmol	800-900 ppm	700 µmol

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

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

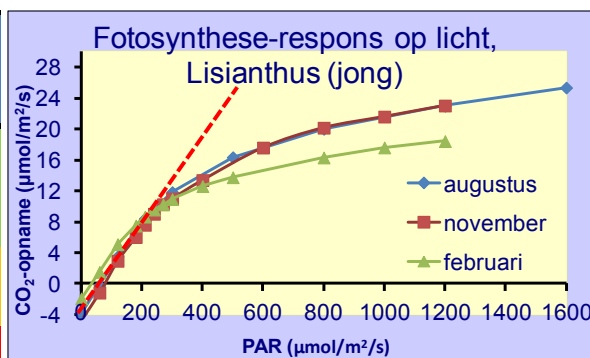
Bijlage 1. Protocol voor belichting en CO₂-dosering Lisianthus

Grenswaarden belichting per seizoen

- Geen noemenswaardig verschil in lichtbenutting tussen de stadia jong en net bloei.
- Teruglopend lichtrendement van augustus naar februari.
- Grenswaarde voor 100% lichtrendement (Tabel 1): 240 μmol in augustus en november en 180 μmol in februari.
- Vanaf 300 μmol (augustus), 270 μmol (november) en 240 μmol (februari) rappe daling in lichtrendement.

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	augustus	november	februari
0-60	100%	100%	100%
60-120	100%	100%	100%
120-180	100%	100%	100%
180-210	100%	100%	81%
210-240	100%	100%	64%
240-270		87%	48%
270-300	80%	52%	48%
300-400		50%	35%
400-500	48%		24%
500-600		44%	
600-800	26%	36%	19%
800-1000		15%	16%
1000-1200	16%	15%	11%



Anders belichten begin en einde dag?

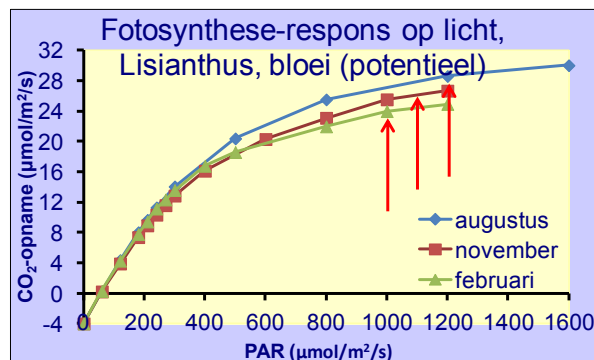
- Rendementsverlies aan het einde van de dag in augustus en november doordat huidmondjes beperkend worden voor de fotosynthese.
- Het is aan te raden om op die momenten de CO₂ rond de 800ppm te houden om verlies aan lichtrendement te voorkomen.

Grenswaarden scherming bij hoge instraling

- Langdurig hoge instraling geeft schade aan het fotosynthese-systeem in het blad.
- Bij lichtniveaus hoger dan de rode pijlen in de figuur bij Tabel 2 ontstaat er lichtstress.
- Bij Lisianthus-rassen die gevoelig zijn voor bladschade wordt schermen bij deze niveaus aangeraden.

Tabel 2. Lichtgrens waarboven er lichtstress ontstaat.

	PAR binnen ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	Straling buiten (Watt/m^2)
Augustus	1200	~800
November	1100	~730
Februari	1000	~670

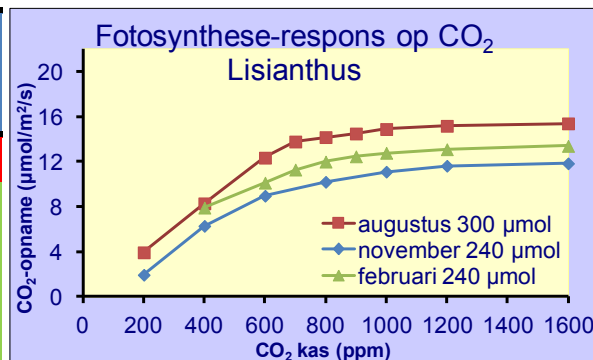


Grenswaarden CO₂-dosering

- Rond de 800-900 ppm wordt het verzadigingsniveau bereikt (Tabel 3).
- Bij verzadigende lichtniveaus (800 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR) ligt dit op 900 ppm, dus maximaal 900 ppm doseren.

Tabel 3. Rendement CO₂-dosering.

CO ₂ kas	Augustus % t.o.v. 400ppm	November	Februari
200	47%	31%	
400	100%	100%	100%
600	149%	143%	128%
700	166%		143%
800	171%	162%	152%
900	175%		158%
1000	180%	177%	162%
1200	183%	185%	168%
1600	186%	189%	177%



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 $\rightarrow$ 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 $\rightarrow$ 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

- Mogelijk treedt er in periodes met hoge instraling aan het einde van de dag huidmondjesbeperking bij het bloeistadium op $\rightarrow$ eerder afschakelen met belichting?
- 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: 1W buiten $= 2.15 \cdot 0.7 = 1.5 \mu\text{mol}$ 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: 1W buiten $= 2.15 \cdot 0.7 = 1.5 \mu\text{mol}$ PAR binnen. De factor 0.7 is een gemiddelde kastransmissie.