

Meer rendement uit licht en CO₂ bij Spathiphyllum



Govert Trouwborst, Sander Hogewoning & Sander Pot
Juni 2013

Meer rendement uit licht en CO₂ bij Spathiphyllum

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 *Spathiphyllum* 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 Grenswaarden belichting per seizoen.....	11
3.2 Anders belichten begin en einde dag?.....	12
3.3 VPD-effect op de huidmondjes?	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 spathiphyllum	i
Bijlage 2. Omrekeningstabel Lux, Watt, μmol.....	v

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.

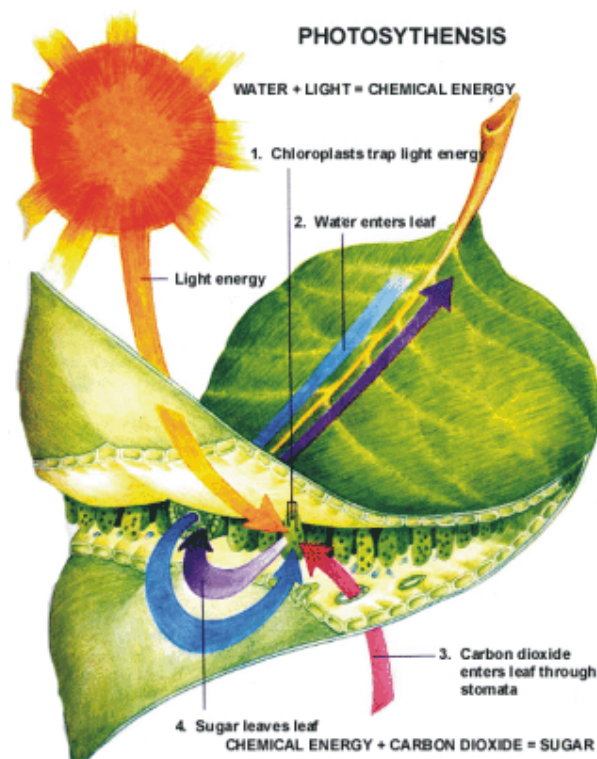


Fig. 1. Essentiële zaken rondom de fotosynthese: Lichtenergie wordt geabsorbeerd door het blad (1). Water komt binnen via de nerven (2). Tevens komt er CO₂ binnen via de huidmondjes (3). Met behulp van de lichtenergie worden er suikers gemaakt (4).

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 CO₂ minder goed naar binnen kan. Hierdoor kan het interne CO₂-gehalte in het blad fors dalen ten opzichte van dat van de kaslucht. Als de huidmondjes open zijn ligt de interne CO₂-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.

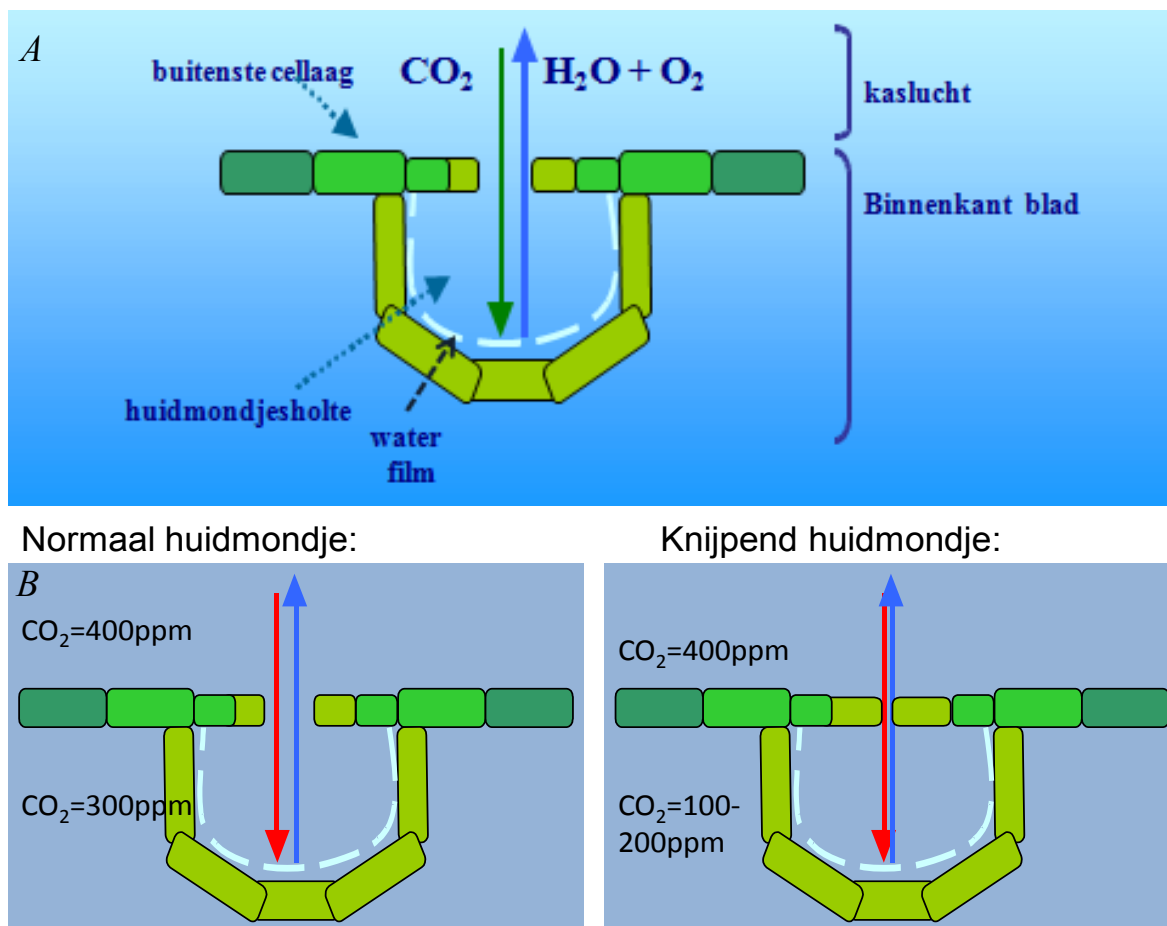


Fig. 2. Schematische tekening van een huidmondje (A) en het verschil tussen de CO₂-concentratie in de kaslucht en in het blad door de mate van huidmondjesopening (B).

Spathiphyllum is, net als de meeste tuinbouwgewassen, van het type C₃-plant, waarbij de opname van CO₂ overdag plaats vindt en hinder ondervindt van zuurstof. Voor een efficiënte fotosynthese bij C₃-planten is het dus essentieel dat de huidmondjes goed openen. Bij slechte huidmondjesopening wordt namelijk teveel O₂ in plaats van CO₂ gebonden. Dat kost veel energie. 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 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.

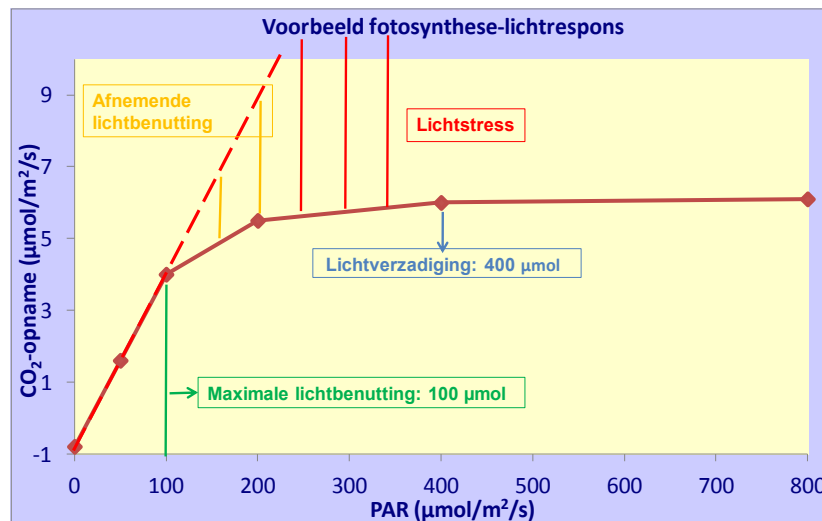


Fig. 3. Voorbeeld respons van de fotosynthese bij toenemende lichtintensiteit. Zolang als de fotosynthese meeloopt met de rood gestreepte lijn is de lichtrendement van de fotosynthese 100%. Het is vooral interessant om in dit gebied te belichten. Naarmate de 2 lijnen verder uit elkaar gaan lopen (weergegeven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

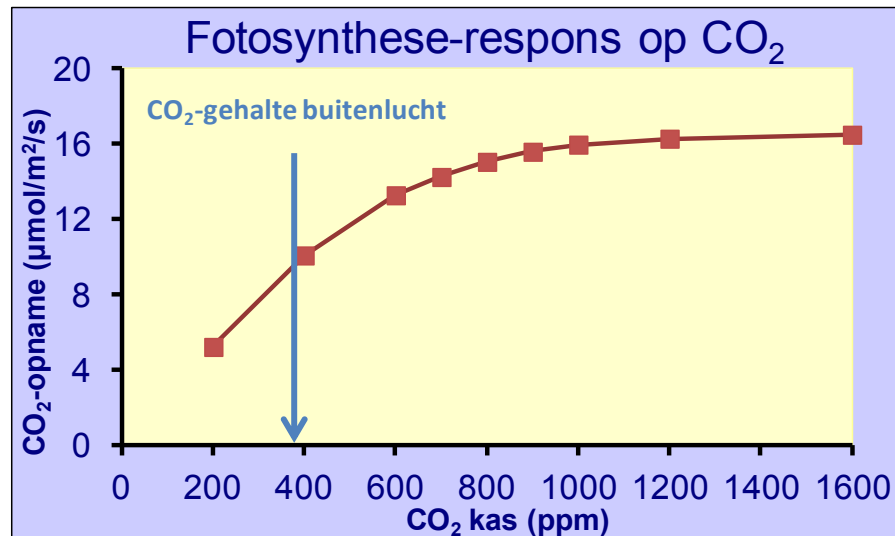


Fig. 4. Voorbeeld respons van de fotosynthese bij toenemend CO₂. Van lage naar hoge CO₂-concentraties in de kas neemt de fotosynthese eerst snel toe om vervolgens bij hoge concentraties sterk af te vlakken.

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:

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 het ras *Spathiphyllum* 'Strauss' in de stadia jong, halfwas en bloei. Voor details, zie Tabel 1.

Tabel 1. Plantstadia die gemeten zijn.

Spathiphyllum 'Strauss'	
Augustus	Jong (5 week na oppot) Halfwas (10 week na oppot, net geïnduceerd) Bloei (16 week na oppot)
November	Jong Halfwas (net geïnduceerd)
Februari	Halfwas (net geïnduceerd)

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).

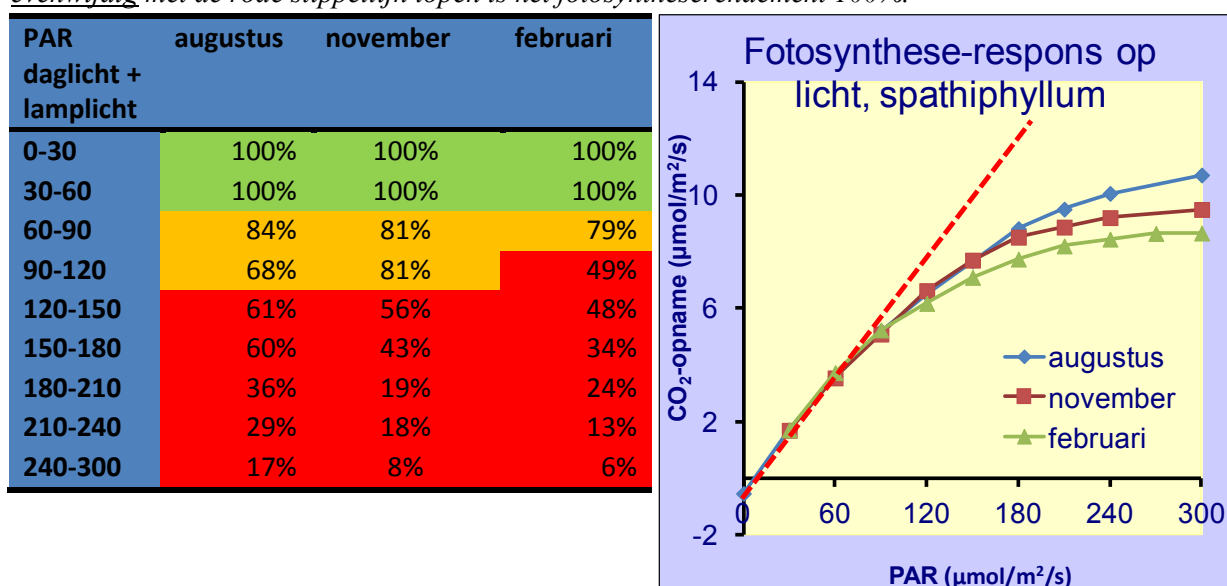
Voor de CO₂-respons metingen wordt eveneens een blad ingeklemd, maar dan wordt de lichtintensiteit constant gehouden en wordt de fotosynthese-afhankelijkheid van de CO₂-concentratie in kaart gebracht. Er is gemeten bij de volgende CO₂ concentraties: 200, 400, 600, 700, 800, 900, 1000, 1200 en 1600 ppm. 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 niet tussen de stadia jong, halfwas en bloei. Bloei-inductie heeft dus geen meetbare gevolgen voor de fotosynthese. Tot een intensiteit lamplicht plus daglicht van 60 μmol blijft het lichtrendement maximaal (Tabel 2). Bij meer licht dan 60 μmol daalt het rendement snel en wordt het al snel onrendabel om door te gaan met belichten. Ook waren de verschillen tussen de seizoenen gering (Tabel 2). Wel laat de zomer een iets hogere fotosynthese zien bij lichtverzadiging.

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 30 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ staan 's nachts aan \rightarrow Het lamprendement op de fotosynthese is 100%.
- *Situatie 2.* De lampen met een lichtintensiteit van 30 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ staan om 10.00 's ochtends aan. Op een bewolkte dag in februari is de zonlichtintensiteit in de kas zo'n 30 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. \rightarrow bij elkaar is er dan 60 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ licht in de kas \rightarrow Het lamprendement op de fotosynthese is nog 100%.
- *Situatie 3.* De lampen met een lichtintensiteit van 30 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ staan om 9.00 's ochtends aan. Op een heldere dag in februari is de zonlichtintensiteit in de kas al 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ \rightarrow bij elkaar is er dan 130 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ licht in de kas \rightarrow rendement van de 30 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ licht van de lampen op de fotosynthese zakt dan tot $\sim 50\%$. (NB De maximaal toegelaten lichtintensiteit op plantniveau ligt tussen de 100-150 μmol , hierdoor loopt dus ook het scherm al snel dicht.)

Om rendement te houden van het lamplicht heeft het belichten van spathiphyllum dus voornamelijk zin buiten de natuurlijke dag om. Ook start de fotosynthese traag op (zie hoofdstuk 3.2). Of een lange dag problemen geeft bij de teelt van spathiphyllum is de auteurs van dit rapport niet bekend. Mocht een lange dag wel problemen geven, dan is de vraag of het belichten van spathiphyllum wel economisch rendabel is.

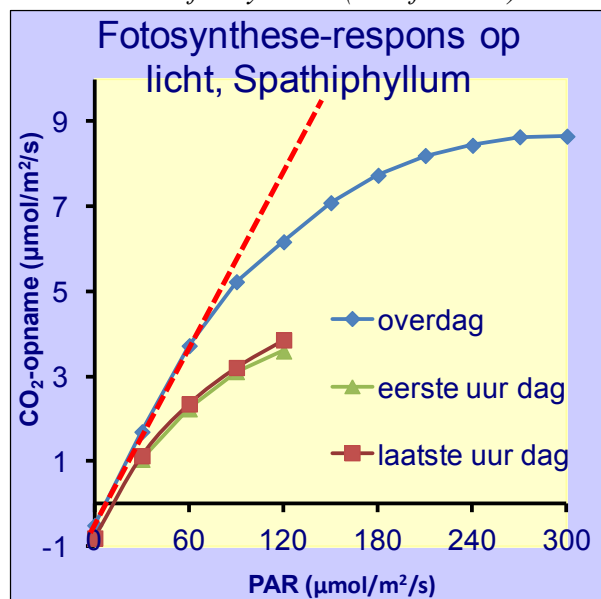
Een rendement van 100% lichtbenutting is geen vereiste; soms zijn de kwaliteitseisen en een strak teeltschema overwegingen om bij een lager rendement het licht toch aan te laten. De balans tussen de extra kosten van belichting tegenover de meeropbrengst door de hogere fotosynthese en/of andere kwaliteitsaspecten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

3.2 Anders belichten begin en einde dag?

Spathiphyllum laat rendementsverlies zien gedurende het eerste en laatste uur van de dag (Tabel 3). Dit wordt vooral veroorzaakt doordat de huidmondjes aan het begin van de dag dicht zitten en langzaam open gaan en aan het einde van de dag weer sluiten (Fig. 5).

Tabel 3. Effect van tijdstip van de dag op het lichtrendement van de fotosynthese (data februari).

PAR daglicht + lamplicht	Begin dag 1 ^e uur	overdag	Eind dag, laatste uur
0-30	77%	100%	96%
30-60	59%	100%	60%
60-90	43%	74%	42%
90-120	24%	46%	32%
120-150		46%	
150-180		32%	
180-210		23%	
210-240		12%	
240-270		10%	
270-300		0%	



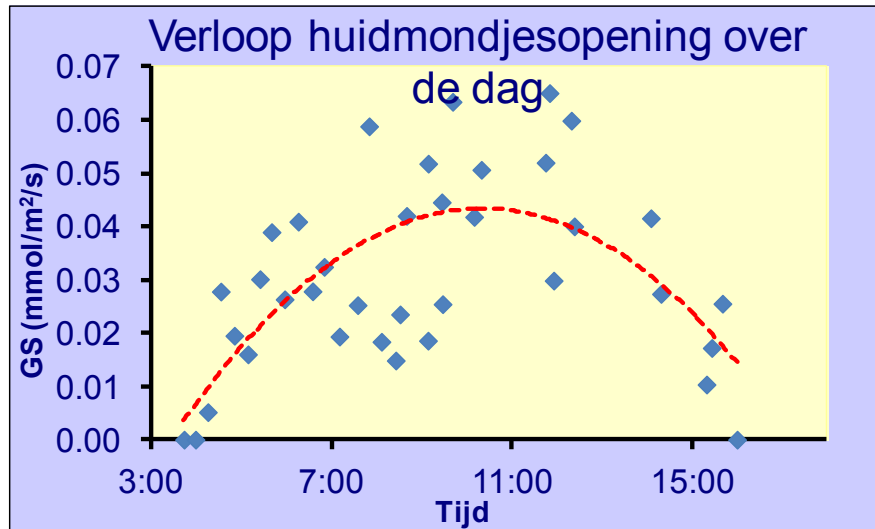


Fig. 5. Verloop van de huidmondjesopening (GS) over de dag, de rode lijn geeft een ruwe trend weer. De dag startte om 3:30 en eindigde rond 16:30 uur (data november).

3.3 VPD-effect op de huidmondjes?

Een hoge VPD lijkt bij *spathiphyllum* een negatief effect te hebben op de huidmondjesopening en zo ook op de licht- en CO₂-respons van de fotosynthese. Fig. 6 laat zien dat de VPD bij voorkeur onder de 0.6 kPa zou moeten zijn om de huidmondjes open te houden. Bij een VPD vanaf 0.9 kPa en hoger is de huidmondjesopening minimaal. Dit komt overeen met eerdere metingen aan *spathiphyllum* (Make sense, Growsense, 2010). Het opvallende was dat dit verband in november en in februari werd geconstateerd, terwijl dit verband in augustus afwezig leek te zijn! In augustus werd er een hoge fotosynthese en huidmondjesopening gemeten bij een redelijk hoge VPD (0.8-1.2 kPa). Het grote verschil was dat in augustus de gewastemperatuur rond de 30°C lag en in november en februari rond de 22-23°C. De precieze oorzaak voor dit verschil in huidmondjesgevoeligheid is niet duidelijk.

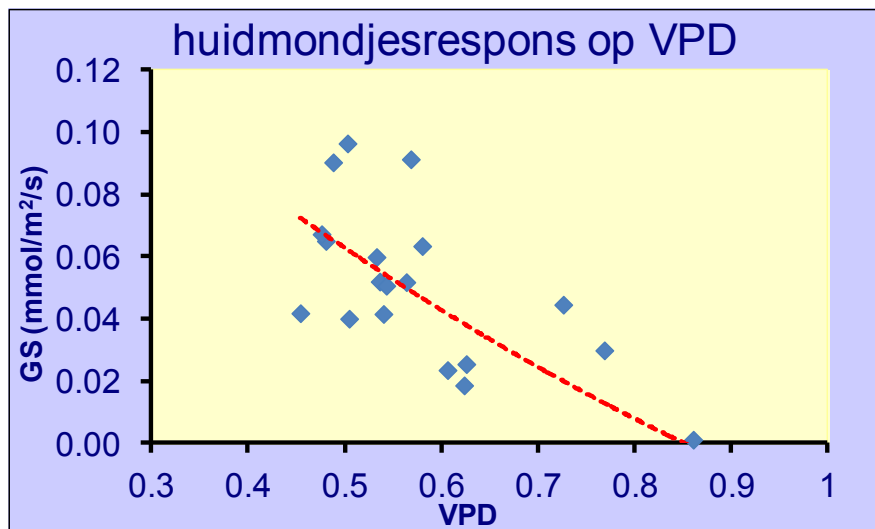


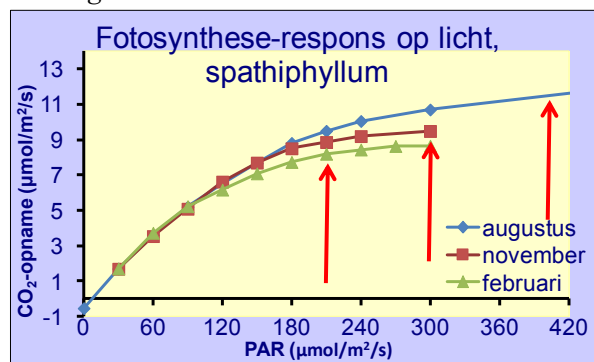
Fig. 6. Verloop van de huidmondjesopening (GS) bij een toenemende VPD. De rode lijn geeft een ruwe trend weer (data november).

3.4 Grenswaarden scherming bij hoge instraling

Bij de getekende rode pijlen in de figuur bij Tabel 4 is het lichtrendement dermate laag dat langdurige blootstelling schade aan het fotosynthese-systeem in de bladeren kan geven. Bij dit lichtniveau kan er beter geschermd worden. Opvallend is dat deze lichtniveaus fors hoger liggen dan waarbij er in de praktijk wordt geschermd. In de praktijk wordt vaak rond de 100-150 μmol het scherm dichtgetrokken. Fotosynthetisch gezien kan spathiphyllum dus meer licht verdragen dan gangbaar is in de praktijk. Een hogere lichtintensiteit geeft echter ook lichtere bladeren. Terwijl het voor de praktijk van belang is dat er een donkergroene plant kan worden geleverd. De ervaring is dat de bladkleur behoorlijk kan bijtrekken (donkerder groen worden) als de planten wat donkerder worden gezet. Een ander praktisch bezwaar tegen een hoger setpoint voor scherming is dat de piekluchtintensiteit nog verder kan oplopen doordat schermen vertraagd dichtlopen.

Tabel 4. Lichtgrens waarboven er lichtstress ontstaat aan het fotosynthesesysteem. Let op: dit wil niet zeggen dan de bladkleur donker genoeg blijft bij deze stralingsniveaus.

	PAR binnen ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	Straling buiten (Watt/m^2)
Augustus	400	~270
November	300	~200
Februari	240	~160



3.5 Grenswaarden CO_2 -dosering

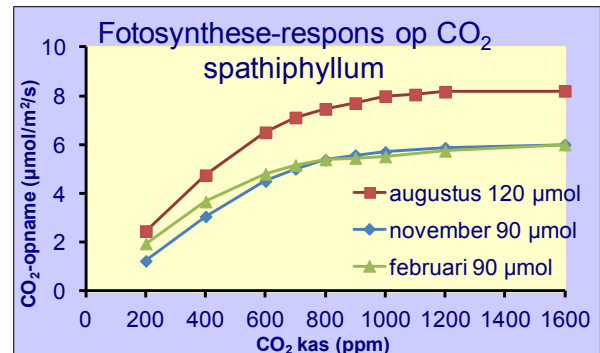
Net als de fotosynthese-respons op toenemend licht laat de fotosynthese-respons op toenemend CO_2 een verzadiging zien: Naarmate er meer CO_2 gedoseerd wordt, wordt de toename in CO_2 -opname (fotosynthese) steeds kleiner. Uit Tabel 5 blijkt dat rond de 800-900 ppm het verzadigingsniveau wordt bereikt. Hierin speelt de openingsstand van de huidmondjes een grote rol: Hoe meer de huidmondjes open staan, hoe eerder verzadigd met CO_2 . Boven de 1000ppm gaan de huidmondjes langzaam knijpen!

In absolute zin heeft CO_2 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 CO_2 .
- 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 CO_2 .

Tabel 5. Rendement CO₂-dosering bij 90 en 120 μmol/m²/s PAR. Boven de 1000 ppm gaan de huidmondjes langzaam knijpen.

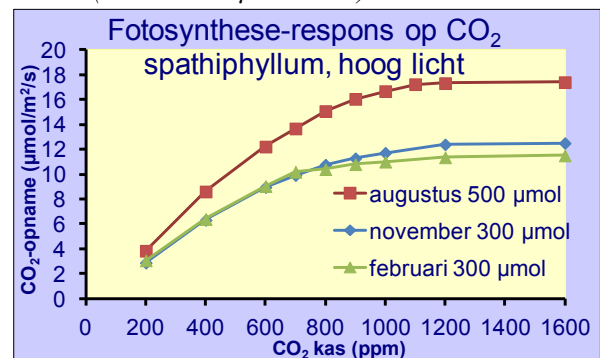
CO ₂ kas	Augustus % t.o.v. 400ppm	November	Februari
200	52%	40%	53%
400	100%	100%	100%
600	137%	147%	131%
700	150%	164%	141%
800	157%	176%	147%
900	162%	182%	149%
1000	168%	187%	150%
1100	170%		
1200	172%	192%	157%
1600	173%	197%	164%



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 (300 en 500 μmol/m²/s).

CO ₂ kas	Augustus % t.o.v. 400ppm	November	Februari
200	45%	45%	48%
400	100%	100%	100%
600	142%	142%	142%
700	159%	157%	160%
800	175%	171%	163%
900	187%	179%	169%
1000	194%	186%	172%
1100	200%		
1200	201%	196%	178%
1600	202%	198%	180%



4. Conclusies en advies

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

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	60 μmol	900 ppm	400 μmol
November	60 μmol	900 ppm	300 μmol
Februari	60 μmol	800 ppm	240 μmol

Om rendement te houden van het lamplicht heeft het belichten van spathiphyllum voornamelijk zin buiten de natuurlijke dag om. Ook start de fotosynthese traag op (zie hoofdstuk 3.2). Of een lange dag problemen geeft bij de teelt van spathiphyllum is de auteurs van dit rapport niet bekend. Mocht een lange dag wel problemen geven, dan is de vraag of het belichten van spathiphyllum wel economisch rendabel is.

Het is opvallend dat de meeste praktijkbedrijven eerder licht wegschermen dan dat de planten —fotosynthetisch gezien— in de stress raken. De gangbare scherming vindt momenteel plaats rond de 100 μmol/m²/s. Als belangrijkste reden hiervoor wordt genoemd dat de bladkleur anders te licht wordt. Door de planten ongeveer een week voor afleveren juist wat donkerder te zetten (<50 μmol/m²/s) is het echter mogelijk om de bladkleur donkerder te laten worden. Het zou interessant zijn om te onderzoeken hoever men hierbij kan gaan om zo een maximale teeltversnelling binnen zekere veiligheidsmarges te realiseren. Ook wordt genoemd dat als het setpoint voor het dichtlopen van de schermen hoger staat, dat dan de momentane (piek)lichtintensiteit behoorlijk ver kan oplopen omdat schermen altijd vertraagd dichtlopen. Voor dit laatste probleem zou een diafragma scherm een oplossing kunnen zijn.

Een belangrijk aandachtspunt is de openingsstand van de huidmondjes. Idealiter is de VPD niet hoger dan 0.6 kPa (Fig. 6). Bij een VPD vanaf 0.9 kPa en hoger is de huidmondjesopening minimaal (data november en februari). Als men meer licht in de kas wil toelaten dan gebruikelijk, dan wordt het steeds belangrijker dat de huidmondjes echt open zijn. Als de VPD te hoog wordt en de huidmondjes dichtgaan, dan kan er toch beter geschermd worden. Het opvallende was dat dit verband tussen de huidmondjessluiting en de VPD in november en in februari werd geconstateerd, terwijl dit verband in augustus afwezig leek te zijn! In augustus werd er een hoge fotosynthese en huidmondjesopening gemeten bij een redelijk hoge VPD

(0.8-1.2 kPa). Het grote verschil was dat in augustus de gewastemperatuur rond de 30°C lag en in november en februari rond de 22-23°C. De precieze oorzaak voor dit verschil in huidmondjesgevoeligheid is niet duidelijk.

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

Dijkstra T, Van Marwijk D, De Rooij E, Verberkt H, Blaakmeer A, Schapendonk A, Pot C, Voogt J. 2010. Make sense, Growsense. Wageningen: DLV, Grow@science, Plant Dynamics, Hoogendoorn automatisering, 175.

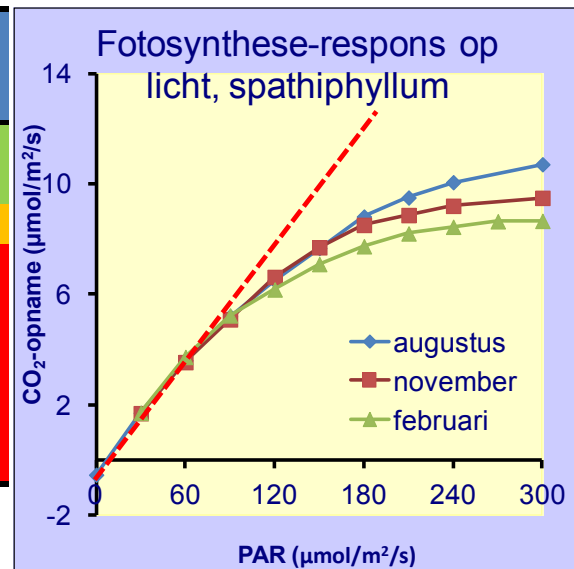
Bijlage 1. Protocol voor belichting en CO₂-dosering spathiphyllum

Grenswaarden belichting per seizoen

- Geen verschil in lichtbenutting tussen de stadia jong, halfwas (net geïnduceerd) en bloei.
- Grenswaarde voor 100% lichtrendement (Tabel 1): 60 μmol .
- Tot 90 μmol geen noemenswaardig seizoenseffect op het rendement van belichting voor de fotosynthese. Vanaf 90 μmol lamplicht+daglicht is er in februari een groter rendementsverlies.

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
0-30	100%	100%	100%
30-60	100%	100%	100%
60-90	84%	81%	79%
90-120	68%	81%	49%
120-150	61%	56%	48%
150-180	60%	43%	34%
180-210	36%	19%	24%
210-240	29%	18%	13%
240-300	17%	8%	6%

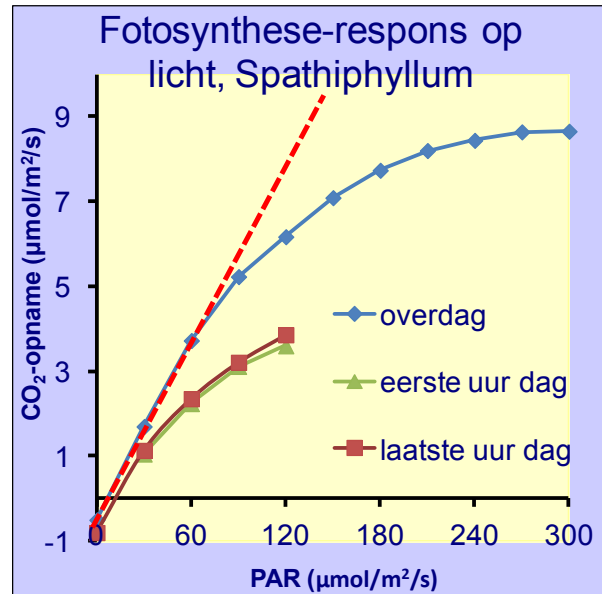


Anders belichten begin en einde dag?

- Rendementsverlies gedurende het eerste en laatste uur van de dag (Tabel 2): Indien mogelijk getrapd de belichting opschakelen. Bij een belichting lager dan 40 μmol is getrapd opschakelen niet nodig.
- Rendementsverlies wordt veroorzaakt doordat huidmondjes langzaam open gaan en aan het eind van de dag voortijdig sluiten: Probeer op die momenten CO_2 hoog (rond 800 ppm) te houden. Als dit niet kan licht afschakelen.

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

PAR daglicht + lamplicht	Begin dag	overdag	Eind dag
0-30	77%	100%	96%
30-60	59%	100%	60%
60-90	43%	74%	42%
90-120	24%	46%	32%
120-150		46%	
150-180		32%	
180-210		23%	
210-240		12%	
240-270		10%	
270-300		0%	

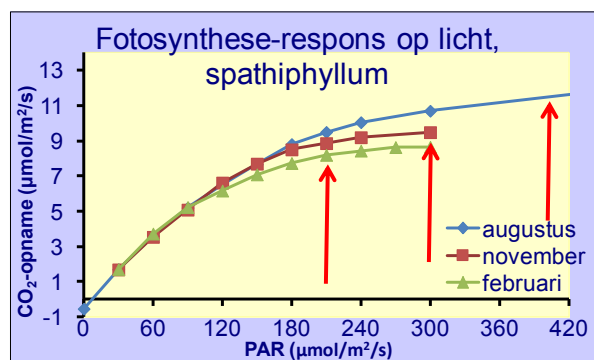


Grenswaarden scherming bij hoge instraling

- Langdurig hoge instraling geeft schade aan het fotosynthese-systeem in het blad
- Bij lichtniveaus hoger dan de rode pijlen in de figuur bij Tabel 3 kan er beter geschermd worden.
- Deze grens geldt voor de fotosynthese en niet voor de bladkleur!
- Mogelijk kan een te lichte bladkleur bij het toelaten van meer licht herstelt worden door tijdig voor verkoop de planten donkerder te zetten.
- Meer licht toelaten is interessant met het oog op teeltversnelling.
- Als er wordt gekozen om een hogere intensiteit daglicht toe te laten, dan Spathiphyllum geleidelijk aan blootstellen aan een hogere intensiteit.

Tabel 3. Lichtgrens waarboven er lichtstress ontstaat.

	PAR binnen ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	Straling buiten (Watt/m^2)
Augustus	400	~270
November	300	~200
Februari	240	~160

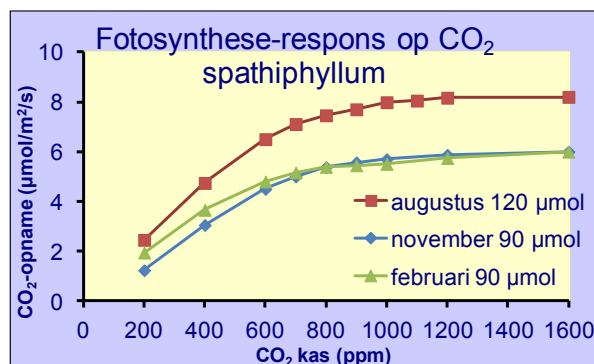


Grenswaarden CO₂-dosering

- Rond de 800-900 ppm wordt het verzadigingsniveau bereikt (Tabel 4).
- Boven de 1000 ppm beginnen de huidmondjes langzaam te knijpen, dus niet meer doseren dan 1000 ppm.
- RV speelt een grote rol, hoe hoger de RV, 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	52%	40%	53%
400	100%	100%	100%
600	137%	147%	131%
700	150%	164%	141%
800	157%	176%	147%
900	162%	182%	149%
1000	168%	187%	150%
1100	170%		
1200	172%	192%	157%
1600	173%	197%	164%



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

- Een lagere luchtvochtigheid (VPD groter dan 0.6 kPa) resulteert in knijpende huidmondjes en afnemend lichtrendement.
- 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 PPF (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 $= 2.15 * 0.7 = 1.5 \mu\text{mol}$ 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 $= 2.15 * 0.7 = 1.5 \mu\text{mol}$ PAR binnen. De factor 0.7 is een gemiddelde kastransmissie.