

Meer rendement uit licht en CO₂ bij Gerbera



Govert Trouwborst, Sander Hogewoning & Sander Pot
Juli 2015

Meer rendement uit licht en CO₂ bij Gerbera

Juli 2015

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

www.plant-dynamics.nl
sander@plant-dynamics.nl

Deze studie naar grenswaarden voor een energie-efficiënte belichtingsstrategie en CO₂-dosering bij het gewas Gerbera 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.

© 2015 Bunnik, Plant Lighting B.V. & Randwijk, 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.

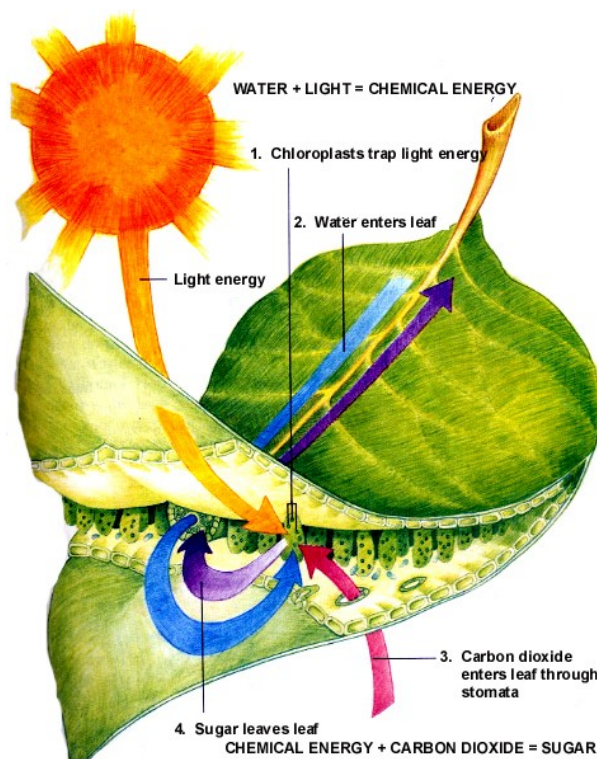
Inhoudsopgave

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	8
2.1 Inleiding	8
2.2 Plantmateriaal en meetcondities.....	8
2.3 Meten van de fotosynthese.....	8
3. Resultaten fotosynthesemetingen.....	10
3.1 Effect van cultivar op de fotosynthese?	10
3.2 Grenswaarden belichting per seizoen.....	10
3.3 Anders belichten begin en einde dag?.....	12
3.4 Grenswaarden scherming bij hoge instraling	13
3.5 Temperatuurseffect op de fotosynthese bij Gerbera?.....	13
3.6 Grenswaarden CO ₂ -dosering.....	14
4. Conclusies en advies	16
Referenties.....	18
Bijlage 1. Protocol voor belichting en CO₂-dosering Gerbera.....	i
Bijlage 2. Omrekeningstabel Lux, Watt, μmol.....	iv

1. Inleiding

1.1 Inleiding fotosynthese

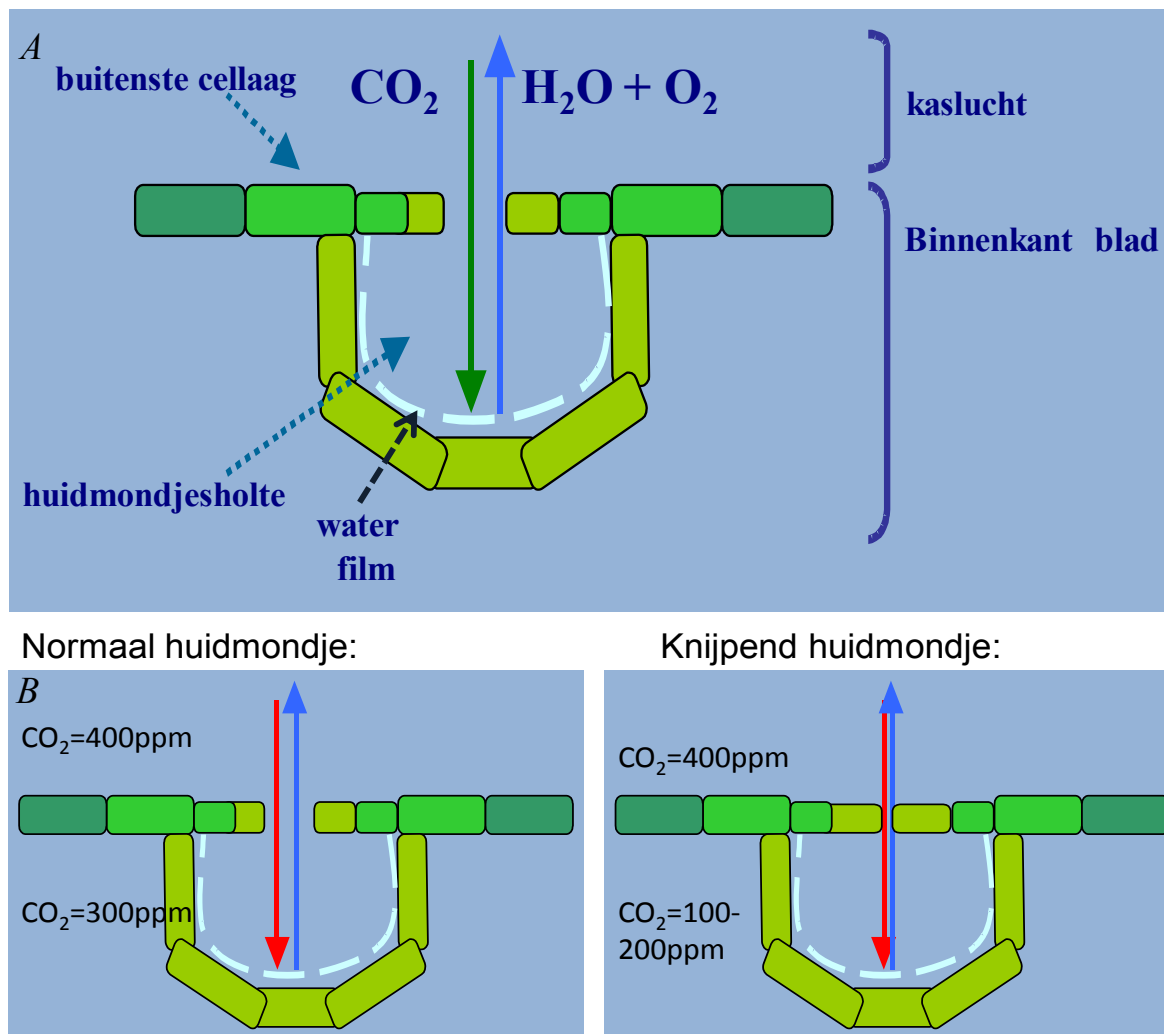
Planten nemen water en voedingsstoffen op via hun wortels en CO₂ via de huidmondjes in hun bladeren. Fotosynthese is het proces waarbij de plant met behulp van lichtenergie het opgenomen water en CO₂ omzet in suikers (assimilaten). De fotosynthese is dus de motor van de plant en CO₂ fungeert als brandstof. 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.



Figuur 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 te meten. Uit deze metingen komt naar voren 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 Figuur 1 en Figuur 2A). Bij een grotere geleidbaarheid van de huidmondjes komt de 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 Figuur 2B). De consequentie is dat de fotosynthese bij knijpende huidmondjes fors lager ligt dan bij normaal geopende huidmondjes.



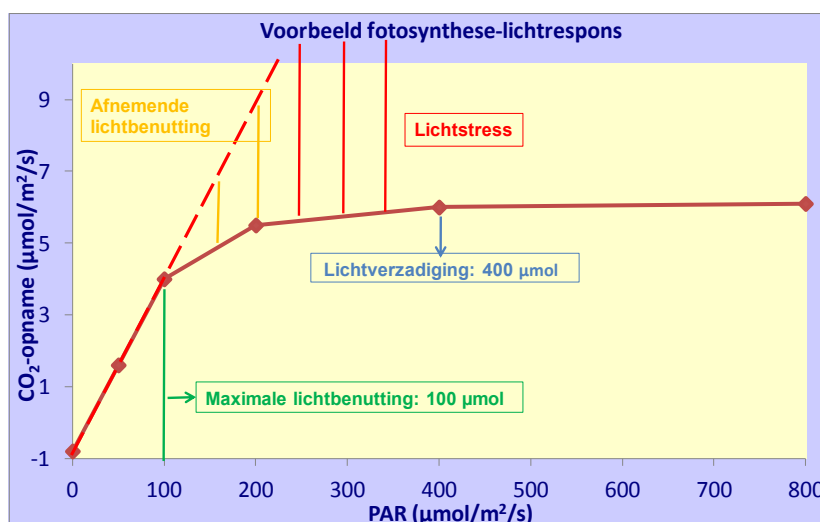
Figuur 2. Schematische tekening van een huidmondje (A) en het verschil tussen de CO_2 -concentratie in de kaslucht en in het blad door de mate van huidmondjesopening (B).

Gerbera is, net als de meeste tuinbouwgewassen, een C_3 -plant. Bij de C_3 -planten vindt de opname van CO_2 in het licht plaats en ondervindt hinder van zuurstof. Voor een efficiënte fotosynthese bij C_3 -planten is het dus essentieel dat de huidmondjes goed openen. Bij slechte huidmondjesopening is de CO_2 concentratie in het blad laag en wordt teveel O_2 in plaats van

CO₂ gebonden aan Rubisco¹. 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)². 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 wat het verlies aan licht kost.

1.2 Lichtrespons van de fotosynthese

Het is algemeen bekend dat een hogere lichtintensiteit leidt tot een hogere fotosynthesesnelheid (Figuur 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 nog hogere lichtintensiteiten is de fotosynthese lichtverzadigd (1% meer licht = 0% meer fotosynthese) en ontstaat lichtstress. Let op: alle lichtrespons-metingen volgens onderstaand voorbeeld zijn in dit onderzoek uitgevoerd aan bladeren bovenin het gewas. Het verval in rendement waarmee licht benut wordt bij toenemende lichtintensiteiten is voor een heel gewas minder steil dan voor een enkel blad.



Figuur 3. Voorbeeld respons van de fotosynthese bij toenemende lichtintensiteit. Zolang als de fotosynthese meeloopt met de rood gestreepte lijn is het lichtrendement voor de fotosynthese 100%. Naarmate de 2 lijnen verder uit elkaar gaan lopen (weergegeven via de oranje en rode verticale lijnen) is er sprake van een steeds lager lichtrendement. Bij een afnemend lichtrendement geeft belichten steeds minder toegevoegde waarde. Bij een te hoge lichtintensiteit ontstaat zelfs lichtstress.

¹ Dit proces wordt fotorespiratie genoemd. Voor meer uitleg over fotorespiratie, zie Pot *et al.* 2015.

² 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.

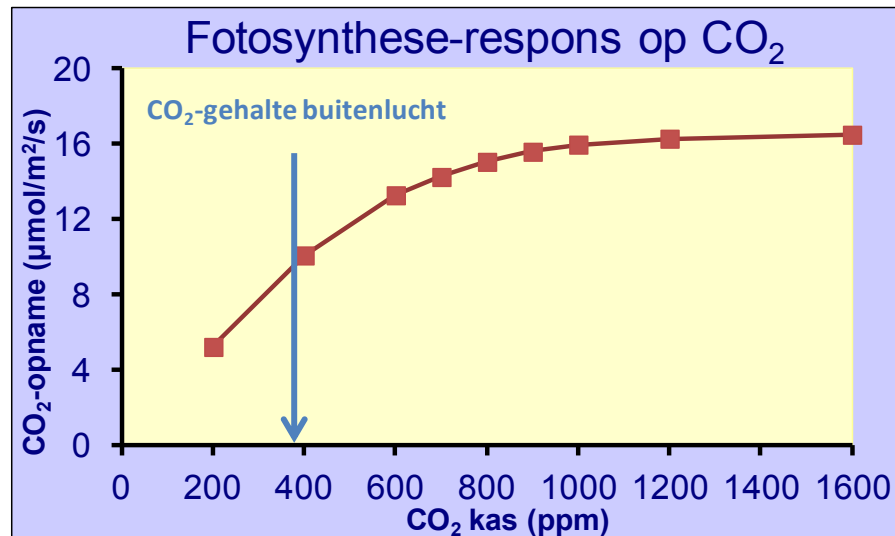
De VPD wordt als volgt bepaald:

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 is 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 (Figuur 4).



Figuur 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: Door langdurige blootstelling aan verhoogd CO₂ kan Rubisco (het enzym dat CO₂ bindt om suikers te maken) 'lui' worden. 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.

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 geschermd 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 en meetcondities

Gewas: Gerbera

Cultivars: Rich, Suri, Bison

Plantstadium / leeftijd: gewas ruim een jaar oud (Bison 2 jaar)

Er is gemeten in de zomer (augustus), het late najaar (november) en het einde van de winter (begin maart) aan jong volgroeide/onbeschaduwde bladeren. Voor details over de teeltcondities tijdens de meetperioden, zie Tabel 1.

Tabel 1. Teeltcondities tijdens de meetperioden.

	augustus	november	begin maart
Lichtsom op of rondom meetdagen	Ca. 17 mol/m ² /dag (Suri max. 20 mol)	7-8 mol/m ² /dag	gemiddeld 8,5 mol/m ² /dag
Belichting μ mol SON-T	Soms 60 μ mol/m ² /s (tot 200 Watt)	120 μ mol/m ² /s	120 μ mol/m ² /s
Daglengthe	11,5 uur	11,5 uur	12 uur
T range overdag	23-28 °C	20-24 °C	20-26 °C
RV op meetdagen	55-70%	70-75%	70-80%
Overige opmerkingen	Kasdek gekrijt (behalve Bison)	Krijt eind augustus verwijderd	Dagverlenging naar 14 uur bij Rich (gloeilampen ca. 100 lux)

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 bij een vast niveau van 600 ppm CO₂. 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 rendert om het lamplicht aan te houden dan wel af te schakelen.
2. Bij welke lichtintensiteit er lichtstress aan het fotosynthesesysteem ontstaat, zodat bepaald wordt hoe 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.



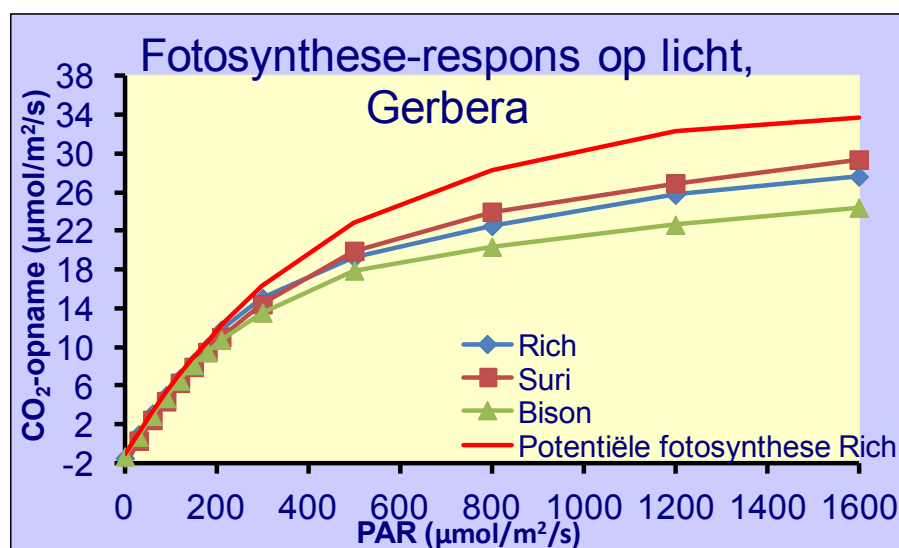
Foto 1. LI-COR-6400 draagbare fotosynthesemeter voor het meten van de CO₂ opname (fotosynthese) in de praktijk. In het apparaat kunnen PAR, CO₂, temperatuur en vocht gevarieerd worden. Op deze manier is de fotosynthese-snelheid gemeten bij oplopend PAR of CO₂ aan een ingeklemd blad (rode pijl).

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, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, en 1200 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 cultivar op de fotosynthese?

De fotosynthese-lichtrespons verschilde nauwelijks tussen de cultivars ‘Rich’ en ‘Suri’. De fotosynthese onder hogere lichtniveaus lag bij ‘Bison’ wat lager (Figuur 5). In figuur 5 wordt ook de potentiële fotosynthese weergegeven (rode lijn). Deze lijn is bepaald door middel van chlorofyl-fluorescentie (voor uitleg chlorofyl-fluorescentie 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.

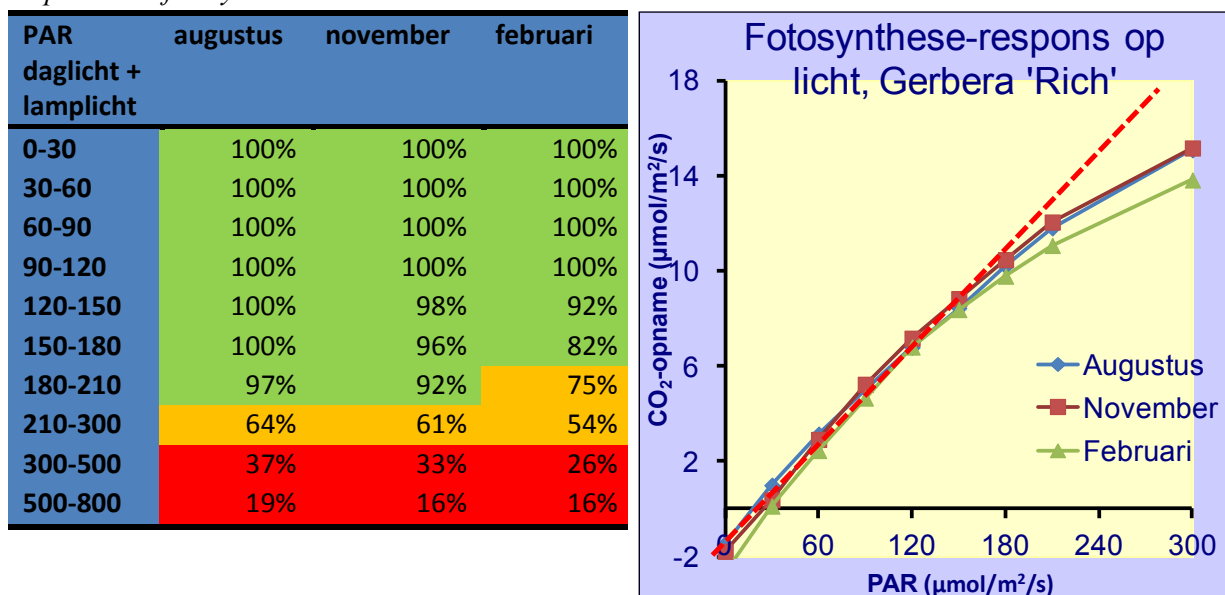


Figuur. 5. Lichtrespons op de fotosynthese van drie cultivars Gerbera. De rode lijn geeft aan wat potentieel haalbaar is. Of de gerealiseerde fotosynthese in de buurt komt van de rode lijn is o.a. afhankelijk van de beschikbaarheid van CO₂ en de huidmondjesopening. Alle lichtrespons-curves zijn gemeten bij 600 ppm CO₂ (data augustus).

3.2 Grenswaarden belichting per seizoen

In onderstaande figuur (behorend bij tabel 2) staat de gemiddelde lichtrespons van de fotosynthese weergegeven per seizoen. De lijnen zijn ‘ingezoomd’ op lage lichtintensiteiten (tot 300 μmol). Doordat de fotosynthese-capaciteit (deze is gemeten bij lichtverzadiging) in februari wat lager ligt dan in november en vooral augustus (tabel 3), neemt het lichtrendement voor deze bladeren sneller af dan voor bladeren in augustus en november. In november blijft tot een intensiteit lamplicht plus daglicht van 210 μmol het lichtrendement boven 90% (Tabel 2). Hierboven daalt het lichtrendement snel en wordt het sneller onrendabel om door te gaan met belichten. In februari daalt het lichtrendement sneller. De verschillen tussen de cultivars ‘Suri’ en ‘Rich’ waren gering.

Tabel 2. Verloop van het fotosyntheserendement bij toenemend lichtniveau voor Gerbera 'Rich'. 'Suri' laat een vergelijkbaar resultaat zien. Zolang als de gemeten lijnen evenwijdig met de rode stippellijn lopen is het fotosyntheserendement 100%.



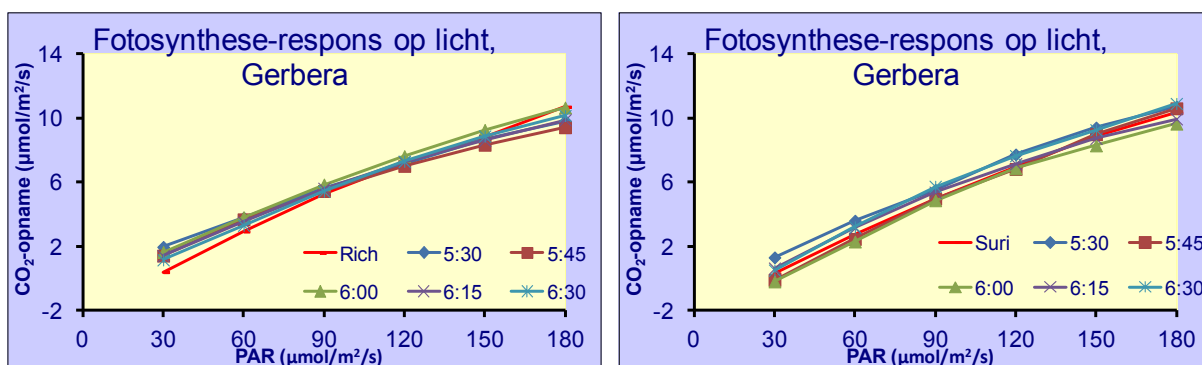
Concreet betekent dit het volgende voor een aantal voorbeeldsituaties:

- *Situatie 1.* De lampen met een lichtintensiteit van $100 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ staan in de winter om 7:00 's ochtends aan en de lichtintensiteit aan daglicht is verwaarloosbaar. → Het rendement voor lamplicht op de fotosynthese is 100%.
- *Situatie 2.* De lampen met een lichtintensiteit van $100 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ staan om 10.00 's ochtends aan. Op een bewolkte dag in februari is de zonlichtintensiteit in de kas zo'n $70 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$. → Bij elkaar is er dan $170 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ licht in de kas → Het rendement voor lamplicht op de fotosynthese is dus nog minstens 82%.
- *Situatie 3.* De lampen met een lichtintensiteit van $100 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ staan om 10.00 's ochtends aan. Op een heldere dag in februari is de zonlichtintensiteit in de kas al $150 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$. → Bij elkaar is er dan $250 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ licht in de kas → Het rendement van het lamplicht op de fotosynthese zakt voor de eerste $50 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ tot 82% ($150 + 50 = 200 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$) en voor het voor de laatste $50 \mu\text{mol}$ naar 54% ($150 + 100 = 250 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$). Het is dan te overwegen om het lamplicht voor de helft af te schakelen.

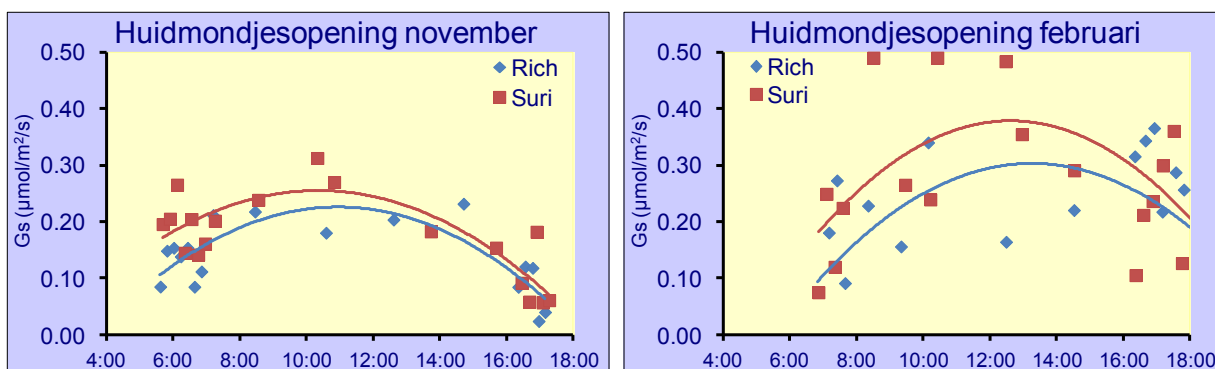
Een rendement van 100% lichtbenutting is geen vereiste; soms zijn de kwaliteitseisen en een strak teeltschema overwegingen om bij een lager rendement het licht toch aan te laten. De balans tussen de extra kosten van belichting tegenover de meeropbrengst door de hogere fotosynthese en/of andere kwaliteitsaspecten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

3.3 Anders belichten begin en einde dag?

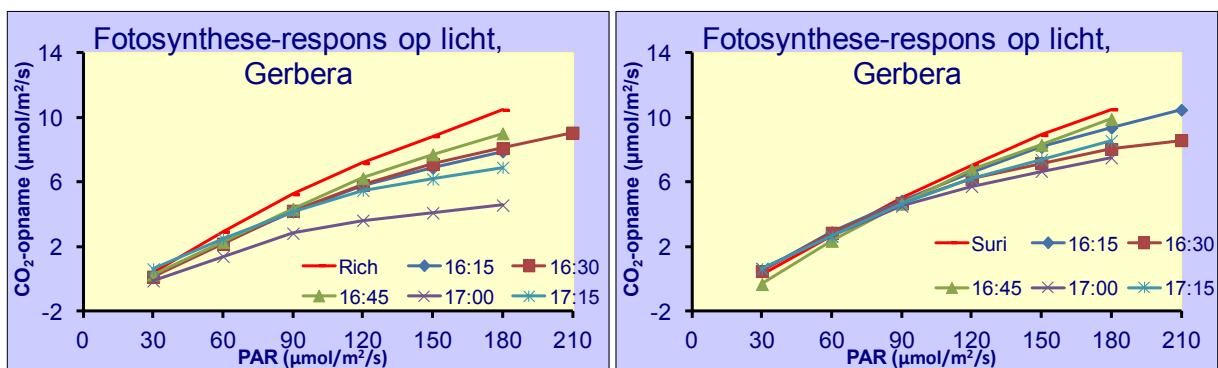
Aan het begin van de dag laat Gerbera tot $180 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ daglicht plus lamplicht geen verlies aan rendement zien, de huidmondjes-geleidbaarheid (G_s , maat voor huidmondjesopening) is direct al vrij hoog, behalve 'Rich' in februari (Figuur 6 & 7). Echter, aan het einde van de middag nam zeker in november de huidmondjesopening fors af. Het lichtrendement nam dan ook af vanaf ongeveer 16:15 uur (Figuur 8): De rode lijn in de figuur geeft de fotosynthese-waarden van overdag weer. Vanaf 16:15 worden deze waarden, zeker boven de $120 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR, niet meer gehaald. De oorzaak van deze huidmondjesbeperking is onduidelijk. Eerdere metingen door Plant Dynamics (Wessels et al. 2005) lieten een afname in fotosynthese in de loop van de dag zien, die parallel liep met een toename in temperatuur en dampdruk deficit (VPD). Gedurende de meetdagen in het huidige project is een huidmondjesbeperking op grond van VPD niet waargenomen. De range in VPD lag voor de drie seizoenen tussen de 0.4 en 1.0 kPa, wat dus redelijk lage waarden zijn. Beperking van de fotosynthese door de huidmondjes kan soms opgelost worden door het verhogen van de CO_2 -concentratie in de kas. Als er echter sprake was van een verminderde vraag naar assimilaten (sinklimitatie) door bijvoorbeeld weinig ontwikkelende bloemen op het gewas, dan heeft zo'n maatregel geen zin.



Figuur 6. Effect van het begin van de dag op de fotosynthese-lichtrespons van 'Rich' en 'Suri' in november. De rode lijn geeft de waardes van de fotosynthese overdag weer. Er is geen opstarteffect: bij laag licht (tot $180 \mu\text{mol}$) is de fotosynthese direct op niveau.



Figuur 7. Verloop van de huidmondjesopening over de dag in november en februari. De lijnen geven een ruwe trend weer. Te zien is dat in november de huidmondjes al vroeg open zijn, maar in de loop van de dag dichtliepen. In februari speelde het sluiten van de huidmondjes aan het einde van de dag minder sterk. Verder ligt de huidmondjesgeleidbaarheid (G_s) van 'Suri' iets hoger dan 'Rich'.



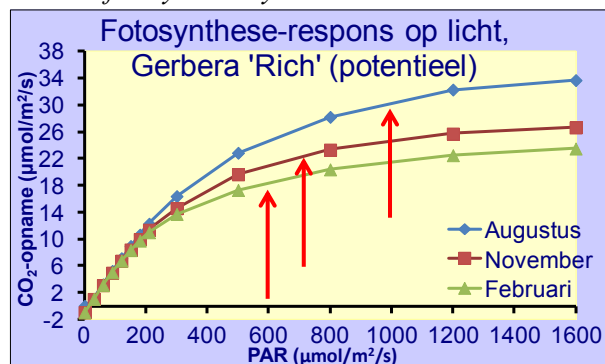
Figuur 8. Effect van het einde van de dag op de fotosynthese-lichtrespons van 'Rich' en 'Suri' in november. De rode lijn geeft de waarden van de fotosynthese van overdag weer. In februari was er overigens nauwelijks afname van het lichtrendement aan het einde van de dag. 's Ochtends is er geen lager lichtrendement waargenomen.

3.4 Grenswaarden scherming bij hoge instraling

Bij de getekende rode pijl in de figuur bij Tabel 3 is het lichtrendement dermate laag dat langdurige blootstelling schade aan het fotosynthese-systeem in het blad kan geven. Bij Gerbera cultivars die gevoelig zijn voor bladschade wordt dan schermen aangeraden. Deze drempelwaarde wordt in februari en november duidelijk eerder bereikt dan in augustus.

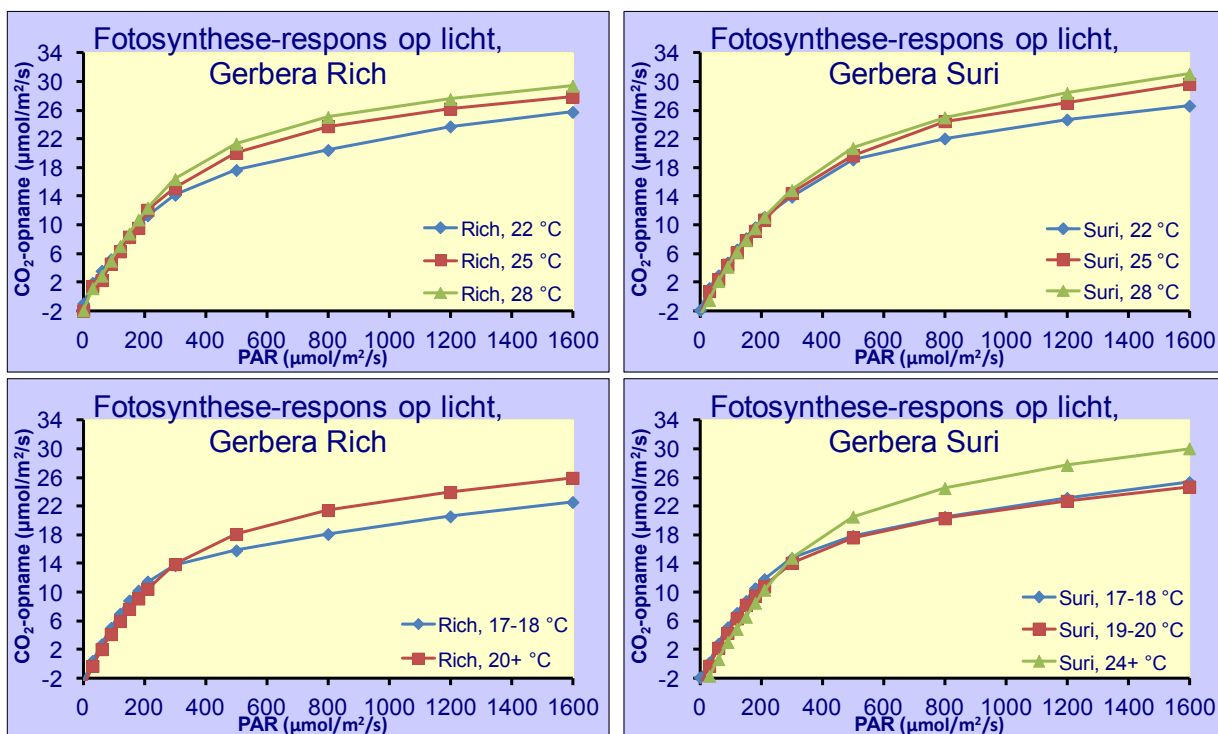
Tabel 3. Lichtgrens waarboven er lichtstress ontstaat aan het fotosynthesesysteem.

	PAR binnen (μmol/m ² /s)	Straling buiten (Watt/m ²)
Augustus	1000	~670
November	700	~470
Februari	600	~400



3.5 Temperatuurseffect op de fotosynthese bij Gerbera?

Figuur 9 geeft het effect van temperatuur op de lichtrespons van de fotosynthese weer. Te zien is dat een hogere temperatuur de fotosynthese per bladoppervlak iets verhoogt bij de hogere lichtintensiteiten. Er is dus een positief temperatuur-effect op de maximale CO₂ opname. Vooral de potentiële fotosynthese stijgt bij hogere temperaturen. Dit betekent dat de beschikbaarheid van CO₂ beperkend kan worden. Een aandachtspunt bij de hogere lichtintensiteit (en temperatuur) is dan ook het kunnen behouden van het CO₂-gehalte in de kas (hier 600 ppm) en het niet te hoog laten worden van de VPD, hetgeen sluiting van de huidmondjes tot gevolg kan hebben.



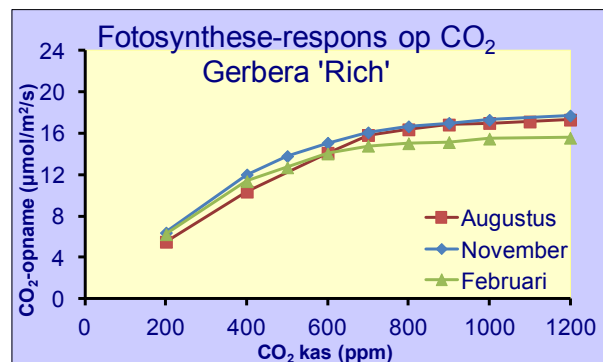
Figuur 9. Lichtrespons van 'Rich' en 'Suri' uitgesplitst naar kasttemperatuur (Nb. tevens temperatuur in meetkop fotosynthesemeter). De bovenste twee grafieken zijn gemeten in augustus, de onderste twee in februari.

3.6 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 en 5 blijkt dat rond de 800 ppm het verzadigingsniveau wordt bereikt. Tijdens de metingen in augustus daalde de Gs van 'Rich' en 'Bison' langzaam vanaf zo'n 700 ppm bij een stijgend CO₂-niveau en bij 'Suri' vanaf 1000 ppm. Dit werd in de maanden november en februari niet aangetroffen.

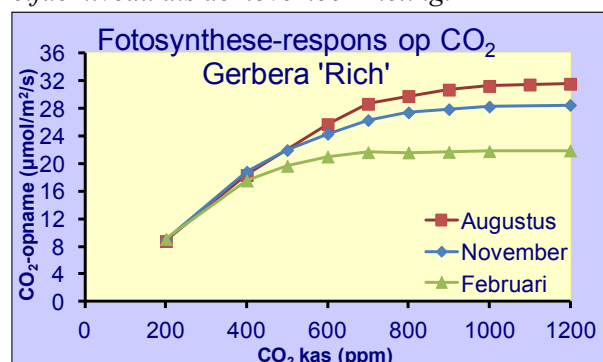
Tabel 4. Rendement CO₂-dosering bij een lichtniveau van 300 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ PAR van Gerbera 'Rich'. 'Suri' en 'Bison' laten eenzelfde soort patroon zien

CO ₂ in kas (ppm)	augustus % t.o.v. 400ppm	november	februari
200	53%	53%	55%
400	100%	100%	100%
500		115%	112%
600	136%	126%	124%
700	153%	134%	130%
800	158%	139%	132%
900	163%	141%	133%
1000	164%	144%	136%
1200	165%	147%	137%



Tabel 5. Rendement CO₂-dosering bij verzadigend lichtniveau (1200 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ PAR) van Gerbera 'Rich'. 'Suri' laat eenzelfde soort patroon zien voor de maanden augustus en november, de februari-meting van 'Suri' ligt in tegenstelling tot 'Rich' op hetzelfde niveau als de november-meting.

CO ₂ in kas (ppm)	augustus % t.o.v. 400ppm	november	februari
200	48%	48%	52%
400	100%	100%	100%
500		117%	112%
600	140%	129%	120%
700	156%	140%	123%
800	162%	146%	123%
900	168%	148%	124%
1000	170%	150%	124%
1200	172%	151%	125%



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

- Lichtintensiteit in de kas is 100 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$: bij 400 ppm is de fotosynthese 5.0 en bij 800 ppm neemt de fotosynthese 50% toe → dit geeft een toename van 2.5 naar 7.5 door verhoogd CO₂.
- Lichtintensiteit in de kas is 500 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$: bij 400 ppm is de fotosynthese 15.0 en bij 800 ppm neemt de fotosynthese weer 50% toe → dit geeft een toename van 7.5 naar 22.5 door verhoogd CO₂.

4. Conclusies en advies

Gerbera kan—fotosynthetisch gezien—redelijk veel licht aan, maar minder dan bijvoorbeeld een tomatengewas. Gezien het feit dat er in de zomer een milde lichtscherming wenselijk is, is het gebruik van een (diffuus) coating of scherm het overwegen waard. In Tabel 7 staan de grenzen voor maximale lichtbenutting voor de fotosynthese, het CO₂-verzadigingsniveau en het lichtniveau waarboven lichtstress kan optreden.

Een aandachtspunt bij de teelt van Gerbera is de huidmondjesopening aan het einde van de dag. In november was de huidmondjesopening in het laatste uur van de dag erg laag. In februari en ook augustus was de huidmondjesopening aan het einde van de dag ook lager, maar nog niet of nauwelijks beperkend voor de fotosynthese. De oorzaak van deze huidmondjesbeperking in november was niet duidelijk en was niet te relateren aan een hoge VPD. Het is aan te bevelen om het CO₂-niveau gedurende het laatste uur hoog te houden om een verlaging in het lichtrendement te voorkomen. Als er echter sprake is van een verminderde vraag naar assimilaten (sinklimitatie) door bijvoorbeeld weinig ontwikkelende bloemen op het gewas, heeft zo'n maatregel geen zin.

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	210 µmol	800-900 ppm	1000 µmol
November	210 µmol	800 ppm	700 µmol
Februari	180 µmol	800 ppm	600 µmol

Bij Gerbera wordt een korte dag van 11.5 tot 12 uur aangehouden, omdat Gerbera onder de kwantitatieve korte dag planten wordt geschaard (Eveleens et al. 2011). Het aantal te belichten uren per dag is dus beperkt. Dat beperkt ook de speelruimte om juist te belichten wanneer het belichtingsrendement hoog is (zonder daglicht). De Visser et al. (2014) laat zien dat sommige rassen bij een daglengte van 14 uur net zoveel bloemen ontwikkelen als bij 11.5 uur. Vanuit het oogpunt van assimilatie en lichtrendement is dit nuttig. De mogelijkheid hiervoor zal dus per ras bekeken moeten worden. De cultivar 'Rich' werd bovenop een daglengte van 12 uur nog 2 uur belicht met gloeilampen (ca. 100 lux) om de gewasontwikkeling (strekking van blad en bloemsteel) te beïnvloeden. Als er bij deze bijbelichting niet minder bloemen worden geproduceerd, dan lijkt bij 'Rich' ook een daglengte van 14 uur door middel van SON-T mogelijk. Eerdere metingen door Plant Dynamics hebben laten zien dat een daglengte van boven 16 uur leidt tot een lagere (!) fotosynthese-capaciteit. Dit werd vermoedelijk veroorzaakt door verminderde vraag naar assimilaten door tragere bloemaanleg en door een versnelde veroudering van de bladeren, veroorzaakt door assimilatieophoping en onderlinge beschaduwning (Wessels et al. 2005).

Overige opmerkingen:

- Maximale lichtbenutting hoeft niet gelijk op te lopen met het economisch optimum.
 - Zoek balans tussen extra kosten van 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

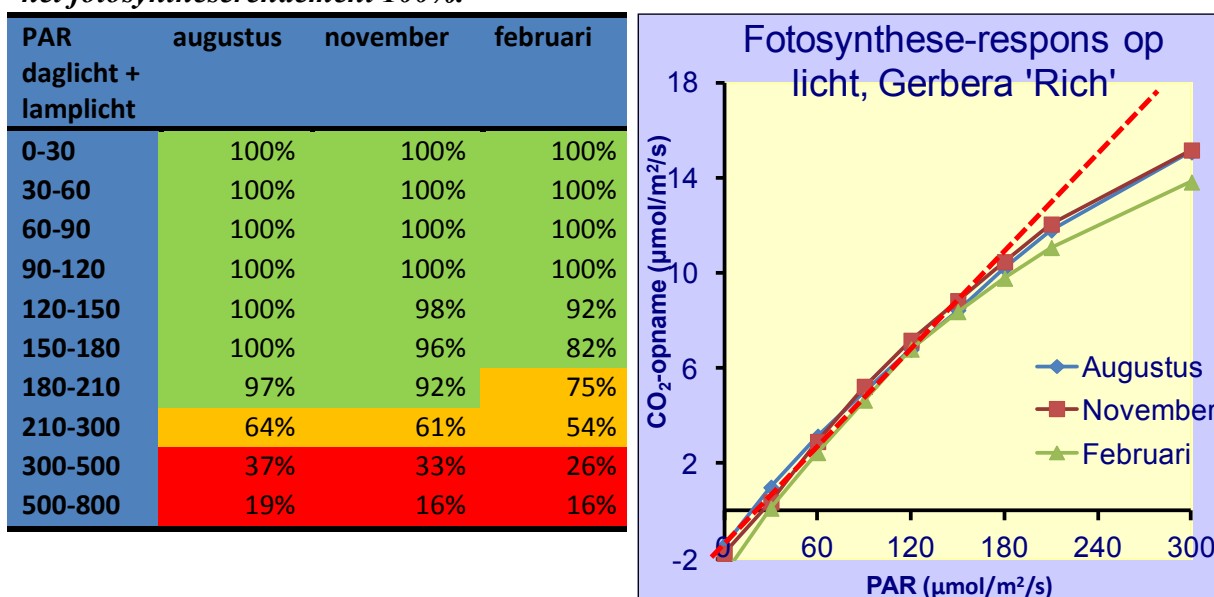
- Eveleens BA, Van der Helm FPM, de Visser PHB.** 2005 Literatuuronderzoek Bloei Gerbera. Verkenning informatie voor gewasgroeimodel Gerbera. Wageningen: Wageningen UR Glastuinbouw, 36p.
- Pot CS, Trouwborst G, Schapendonk AHCM.** 2011. Handleiding gebruik van plantsensoren voor de fotosynthese in de praktijk. Wageningen: Plant Dynamics B.V., 28p.
- Pot CS, de Vreede SJM, Trouwborst G, Hogewoning SW.** 2015. Activeren van de fotosynthese door sturing op huidmondjesopening. Plant Dynamics B.V. & Plant Lighting B.V., Randwijk. 53p.
- De Visser PHB, Van der Helm FPM, Buwalda F, Lagas P.** 2014. Groeimodel Gerbera. Eindrapport van teeltproef en ontwikkeling van een groeimodel voor de Gerbera. Wageningen: Wageningen UR Glastuinbouw, 68p.
- Wessels G, Verberkt H, Meester H.** 2005. Invloed van lichtintensiteit en daglengte op de productie van Gerbera. Wageningen: DLV-facet, 64p.

Bijlage 1. Protocol voor belichting en CO₂-dosering Gerbera

Grenswaarden belichting per seizoen

- Geen noemenswaardig verschil tussen de cultivars 'Rich', 'Suri' en 'Bison'.
- Klein verschil in lichtrendement tussen november en februari.
- Grenswaarde 90% lichtrendement: in november 210 μmol en in februari 150 μmol (Tabel 1).

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%.



Anders belichten begin en einde dag?

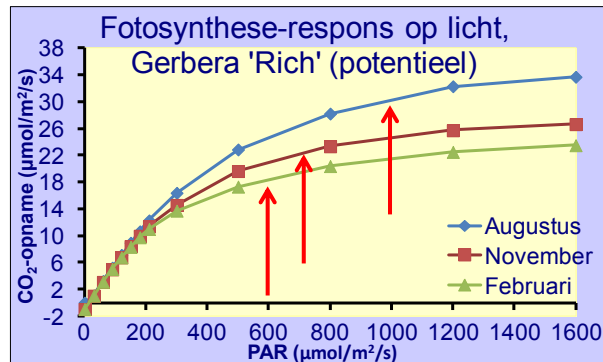
- Alleen rendementsverlies waargenomen gedurende het laatste uur van de dag in november doordat de huidmondjesopening beperkend werd.
- Het is aan te raden om op die momenten de CO₂ rond de 700-800 ppm te houden om verlies aan lichtrendement te voorkomen.

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 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	1000	~670
November	700	~470
Februari	600	~400

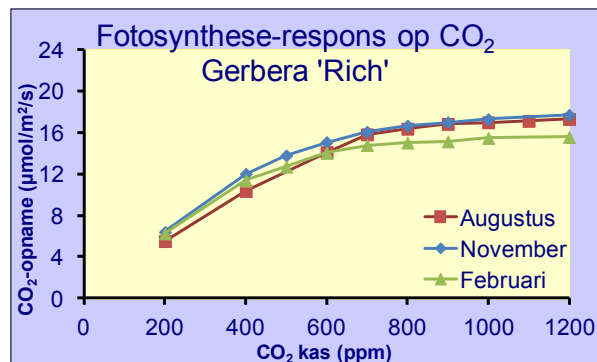


Grenswaarden CO₂-dosering

- Bij lichtniveaus rond de 300 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR wordt bij 800 ppm het verzadigingsniveau voor CO₂ bereikt (Tabel 3).
- Bij hoge concentraties CO₂ (vanaf 1000 ppm) is er kans dat de huidmondjes gaan knijpen, dus niet méér dan 800 à 900 ppm doseren.

Tabel 3. Rendement CO₂-dosering.

CO ₂ in kas (ppm)	augustus % t.o.v. 400ppm	november	februari
200	53%	53%	55%
400	100%	100%	100%
500		115%	112%
600	136%	126%	124%
700	153%	134%	130%
800	158%	139%	132%
900	163%	141%	133%
1000	164%	144%	136%
1200	165%	147%	137%



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 neemt de fotosynthese 50% toe → dit geeft een toename van 2.5 naar 7.5.
- 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 neemt de fotosynthese 50% toe → dit geeft een toename van 7.5 naar 22.5.

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 (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.