

Economische haalbaarheid van supplementaire belichting in de gerberateelt

Uitbreiding op het onderzoek met behulp van plantmonitor metingen en fotosynthese metingen

Opdracht uitgevoerd voor:

Productschap Tuinbouw
Louis Pasteurlaan 6
2700 AG Zoetermeer

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd zonder toestemming van ETKO B.V. ETKO B.V. stelt zich niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruikmaking van de gegevens uit deze uitgave.

WGS B.V.
Duikerweg 7a
5145 NV Waalwijk
Telefoon: +31(0)416-316779
Telefax : +31(0)416-316579

1 Inleiding	5
2 Methode van onderzoek	6
3 Licht en productie, een stukje theorie	9
3.1 Licht en fotosynthese	9
3.2 Verhouding lamplicht en buitenlicht	9
3.3 Assimilaten productie	10
3.4 Assimilaten verdeling	10
4 Gewasmetingen	13
4.1 Productieverschillen tussen belichtingsniveaus	13
4.2 Rasverschillen grootbloemig	13
4.3 Rasverschillen kleinbloemig	14
4.4 In welke weken ontstaan productieverschillen	15
4.5 Gewicht bloemen	16
4.6 Drogestof gehaltenes	17
5 Fotosynthese metingen	18
5.1 Spad metingen	18
5.2 Effect van PAR licht op fotosynthese	19
5.2.1 Rasverschillen	20
5.2.2 Reactietijd fotosynthese	21
5.2.3 Schermen	21
5.3 Effect van CO ₂ op fotosynthese	23
5.4 Effect van RV en VPD op fotosynthese	24
5.5 Openingstoestand huidmondjes	25
5.6 Effect van temperatuur op fotosynthese	26
6 Plantmonitor metingen	27
6.1 Parlicht	27
6.2 Temperatuur	28
6.2 RV en VPD	31
6.4 sapstroom	32
7 Rekenen met groeimodel	33
8 Conclusies een aanbevelingen	34
Literatuur	39

Leeswijzer

In hoofdstuk één wordt aangegeven dat dit onderzoek een uitbreiding is op het belichtingsonderzoek. In hoofdstuk twee is weergegeven wat aanvullend is gemeten en hoe de gegevens verwerkt zijn. In hoofdstuk drie is een korte omschrijving gegeven over verschillende termen die gebruikt worden ten aanzien van licht, fotosynthese en groei van “een plant”, om de uitkomsten van de verschillende metingen beter te plaatsen.

In hoofdstuk vier is de productie van het belichtingsonderzoek geanalyseerd. In hoofdstuk vijf worden de uitkomsten van de fotosynthese metingen toegelicht, waarbij een inschatting wordt gegeven van de lichtbehoefte voor optimale groei bij Gerbera, en welke beperkende factoren voor fotosynthese kunnen optreden. In hoofdstuk zes worden de metingen van de plantmonitoren toegelicht. Aangegeven wordt tijdens welke momenten van de dag en tijdens welke weken in het jaar beperkende groeiomstandigheden zijn gemeten.

In hoofdstuk zeven wordt ingegaan op het gebruik van groeimodellen bij het simuleren van gewasontwikkeling en productie, en met name welke informatie nog mist om met groeimodellen het effect van belichting te berekenen. In hoofdstuk acht worden conclusies en aanbevelingen vermeld.

1 Inleiding

Uit project 10.8008 “Economische haalbaarheid van supplementaire belichting in Gerberateelt” blijkt dat supplementaire belichting in gerbera de productiviteit van zowel grootbloemige als kleinbloemige cultivars verhoogt en dat ook de externe kwaliteit van de bloemen toeneemt. Ook blijkt dat er grote verschillen in productietoename zijn tussen de cultivars.

Dit project is een uitbreiding van project 10.8008 en heeft als doel om meer inzicht te krijgen hoe de fotosynthese bij een gerberaplant reageert op belichting en welke factoren het effect van belichting kunnen verstoren. Met deze informatie willen we aanknopingspunten aanreiken hoe de gerberateelt met behulp van supplementaire belichting verder geoptimaliseerd kan worden.

In dit aanvullende onderzoek is vooral gekeken naar de invloed van licht en belichting op de fotosynthese en drogestofproductie bij Gerbera. Tot welk lichtniveau de fotosynthese bij Gerbera toeneemt, en in hoeverre vocht (RV), CO₂ of temperatuur een optimale fotosynthese kunnen verstoren.

Er is niet onderzocht hoe de verdeling van assimilaten bij Gerbera is, of hoe deze te sturen is zodat de beschikbare assimilaten zoveel mogelijk benut worden voor extra productie.

2 Methode van onderzoek

In dit rapport zijn gegevens over productie, plantmonitoring en fotosynthese metingen samengevoegd.

Productiegegevens

Tijdens het onderzoek “Economische haalbaarheid van supplementaire belichting in gerberateelt” is de productie op meetvelden met 5000 lux, 7500 lux en 10.000 lux vergeleken met een onbelichte teelt. Hierbij is het effect van belichting op zowel 6 grootbloemige als 6 kleinbloemige cultivars onderzocht. De proef vond plaats op het bedrijf van Aad Bassie. De opzet en uitvoering van deze proef zijn uitgevoerd door dhr. Ximing Hu van ETKO. De uitkomsten van dit onderzoek en de opzet van deze proef staan beschreven in het rapport “Economische haalbaarheid van supplementaire belichting in gerberateelt van ETKO VOF van 27 september 2003.

Afbeelding 1: Impressie van de belichtingsproef op het bedrijf van Aad Bassie.



Tijdens het belichtingsonderzoek, werden in totaal op 192 meetvelden metingen worden verricht:

- 4 lichtniveau's (onbelicht, 5000 lux, 7500 lux en 10000 lux)
- 12 rassen (6 grootbloemige cultivars en 6 kleinbloemige cultivars)
- 4 herhalingen per behandeling (ieder meetveld bestond uit 25 planten met 5,9 planten per bruto m²).

In dit rapport zijn de geogoste aantallen bloemen omgerekend naar een productie per bruto m² per week, waarbij het gemiddelde van de vier herhalingen is berekend.

In het belichtingsonderzoek is belicht tot een daglengte van 11 uur, van 7.00 uur 's ochtends tot 18.00 uur 's avonds. De lampen werden overdag uitgeschakeld als de instraling buiten boven de 100 Watt uitsteeg. Het eerste jaar werd vanaf week 38 2001 tot en met week 17 2002 belicht, het 2^e jaar werd van week 41 2002 tot en met week 16 2003 belicht..

Plantmonitoring

In de periode van januari 2002 tot en met mei 2003 zijn door Growlab b.v. plantmonitoren geplaatst met sensoren voor het meten van het microklimaat rond om de plant. Het volgende is gemeten:

- PAR licht op gewasnivo: december 2002 – mei 2003
- Omgevingstemperatuur op gewasnivo: december 2002 – mei 2003
- Gewastemperatuur: december 2002 – mei 2003
- Sapstroom: december 2002 – mei 2003
- Pottemperatuur: januari 2002 – mei 2003
- RV: januari 2002 – mei 2003

Van minuut tot minuut is gevolgd is welk klimaat gedurende de dag rondom de plant is gerealiseerd bij de verschillende lichtniveau's. De metingen zijn vooral bedoeld voor het volgen van trends gedurende het verloop van een dag. De metingen zijn door Growlab b.v. verzameld. De gegevens van de plantmonitoren zijn omgerekend naar gemiddelde uurwaarden per dag, per week en per maand. Het CO2 nivo rondom de planten is niet met een plantmonitor gemeten. In vervolgonderzoek is dit zeker wel zinvol om te meten.

Fotosynthese metingen

Met een LICOR-6400 fotosynthese meter zijn metingen uitgevoerd op 11 en 12 februari 2003 en op 26-27 mei 2003. Met de LICOR-6400 zijn rondom een blad verschillende klimaatomstandigheden aangeboden, waarbij exact gemeten kan worden hoe dit blad reageert. Zo kan gevarieerd worden met licht (samenstelling en intensiteit), CO2 niveau, temperatuur niveau en RV.

Afbeelding 2: de LICOR-6400 meter.



De metingen zijn een eerste inventarisatie naar de reactie van Gerbera op licht, RV, CO₂ en temperatuur. De metingen zijn uitgevoerd en geanalyseerd door Dr. ir. Ad Schapendonk van Plant Dynamics.

Extra metingen aan gewas:

Tijdens de belichtingsproef zijn in week 50 (2001), week 1 en 4 (2002) bloemsteellente, bloemgewicht en bloemdiameter bepaald.

Aan het einde van de belichtingsproef (mei 2004) zijn drogestofgehaltes bepaald van gewas en bloemen.

Er zijn geen metingen verricht aan gewasontwikkeling (afsplitsing blad en bloemknoppen) en ontwikkelingssnelheid van het gewas.

Analyse en verslaglegging

Aan het einde van de belichtingsproef is John van Gemert van Focus bedrijfsbegeleiding betrokken bij het onderzoek. Nadat alle gegevens over productie, fotosynthese en plantmonitoring beschikbaar waren, heeft hij deze gegevens geanalyseerd en heeft dit verslag gemaakt.

3 Licht, fotosynthese en groei

In deze paragraaf een klein stukje achtergrond informatie ten aanzien van licht, fotosynthese en groei van een plant. Dit om de uitkomsten en de samenhang van de verschillende metingen beter te plaatsen

3.1 Licht en fotosynthese

Licht bestaat uit een stroom fotonen met golflengtes variërend van 300 tot 3000 nm. Licht levert de energie voor het fotosyntheseproces, het omzetten van CO₂ in suikers en andere koolhydraten.

Voor het fotosynthese proces wordt alleen PAR licht (photosynthetic active radiation), de straling met een golflengte tussen 400 en 700 nm gebruikt.

Hoeveel van dit PAR licht gebruikt wordt voor de fotosynthese wordt bepaald door het aantal fotonen in dit lichtspectrum. Deze hoeveelheid fotonen in het lichtgebied tussen 400 en 700 nm wordt PPF genoemd (photosynthetic photon-flux-density) en wordt weergegeven in $\mu\text{mol}/\text{cm}^2/\text{seconde}$.

Het vastleggen van lichtenergie gebeurt in de bladgroenkorrels. Hierin bevinden zich pigmenten zoals chlorofyl (a en b) en carotenoïden. Ieder pigment absorbeert een specifiek deel van de straling. Chlorofyl a en b absorberen vooral rode straling, carotenoïden absorberen vooral het groene deel van het spectrum. Veel planten kunnen de hoeveelheden chlorofyl en carotenoïden aanpassen aan de spectrale samenstelling van het licht waaronder het blad uitgroeit.

3.2 Verhouding lamplicht en buitenlicht

De omrekening van Watt buitenlicht naar μmol fotonen PAR licht is niet lineair. Eén Watt rood licht bevat meer fotonen dan één Watt blauw licht.

Tabel 1 : Omrekeningstabel van μmol parlicht op gewas niveau naar Watt globale straling buiten de kas (bij 70% lichtdoorlatendheid) en naar lux belichting met SON-T lampen.

<u>$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{seconde}$</u>	<u>Watt globale straling buiten</u>	<u>lux belichting (SON-T)</u>
10	6	
20	13	
33	21	
61	38	5000
80	50	
92	57	7500
122	76	10000
160	100	
320	200	
640	400	
1280	800	
1560	975	

De hoeveelheid fotonen PAR licht die in de kas komt bij 5000 lux belichting met een SON-T lamp komt ongeveer overeen met de hoeveelheid fotonen die in de kas komt indien buiten de kas de instraling 38 Watt is en de lichtdoorlatendheid van de kas 70% is.

3.3 Assimilaten productie

De hoeveelheid energie uit het licht is echter niet de enige factor die bepaalt hoeveel assimilaten gemaakt worden. Ook de hoeveelheid productie centra (de hoeveelheid blad, bladgroenkorrels en dergelijke) en de hoeveelheid bouwstoffen (water, voeding, en CO₂) zijn bepalend voor de hoeveelheid assimilaten die gemaakt worden. De meest beperkende factor bepaalt uiteindelijk de hoeveelheid assimilaten die gemaakt worden.

De beschikbaarheid van CO₂ wordt niet alleen bepaald door de CO₂ concentratie in de kas. Pas als de CO₂ is opgenomen in de huidmondjes, is het beschikbaar voor het assimilatie proces.

De CO₂ concentratie in de huidmondjes is lager dan de CO₂ concentratie gemeten in de kas (ongeveer 70%). Als de aanvoer van CO₂ door de huidmondjes tijdelijk achter blijft door bijvoorbeeld lagere CO₂ concentratie rond de bladeren of door gedeeltelijk sluiten van huidmondjes onder stress, zal de afname in het blad sterker zijn.

Voor de reductie van 1 molecuul CO₂ zijn in principe 8 lichtkwanten nodig. De energie-inhoud van 1 gram suiker is ongeveer 16 KJoule of 480 Kjoule per mol. Uit energiemetingen blijkt dat de energie-inhoud van zonlicht per mol lichtkwanten 220 KJoule bedraagt. Dit betekent dat er zonder energieverliezen, dus bij 100% rendement, uit 1 mol lichtkwanten 0.25 mol suiker zou kunnen worden gesynthetiseerd. Door verliezen bij de fotochemische processen van de fotosynthese, is het theoretisch maximaal te behalen rendement echter slechts 27%, wat in vergelijking verbrandingsmotoren of elektrische centrales nog steeds zeer hoog is. Door fotorespiratie en verliezen tengevolge van reflectie aan het bladoppervlak blijft uiteindelijk een maximaal te realiseren rendement van 13% over. Dit betekent dat de instraling van 1 mol kwanten dus niet 0.25 mol suiker oplevert maar slechts 0.0325 mol ofwel 1 gram. Bij de omzetting van sucrose in structurele drogestof worden bovendien nog eens 30% van de suikers gebruikt als brandstof voor de benodigde synthese-energie, hetgeen de maximaal haalbare efficiëntie terugbrengt tot ongeveer 0.7 gram droog plantmateriaal per mol geabsorbeerde kwanten. Indien 70% van het droog plant materiaal gebruikt wordt voor de productie van bloemen, een gerbera 25 gram weegt, en een bloem een drogestof percentage heeft van 13.5%, dan zou voor het produceren van 1 bloem 6.9 mol geabsorbeerde kwanten nodig zijn.

3.4 Verdeling assimilaten

De assimilaten die een plant tot zijn beschikking heeft worden deels gebruikt voor "het in leven houden" van de reeds bestaande plantendelen. Wat "over is" wordt verdeeld over de groeiende delen zoals bladeren, bloemen en wortels.

Om te weten hoe een gerbera zijn assimilaten verdeelt, zouden we willen weten hoe de aanleg en ontwikkeling van bladeren een gerberaplant zich ontwikkelt. Dit is echter lastig te volgen, zonder het gewas te slopen. Tijdens het belichtingsonderzoek is niet in kaart gebracht hoe de assimilaten verdeeld zijn. Alleen het aantal geoogste bloemen is gevolgd.

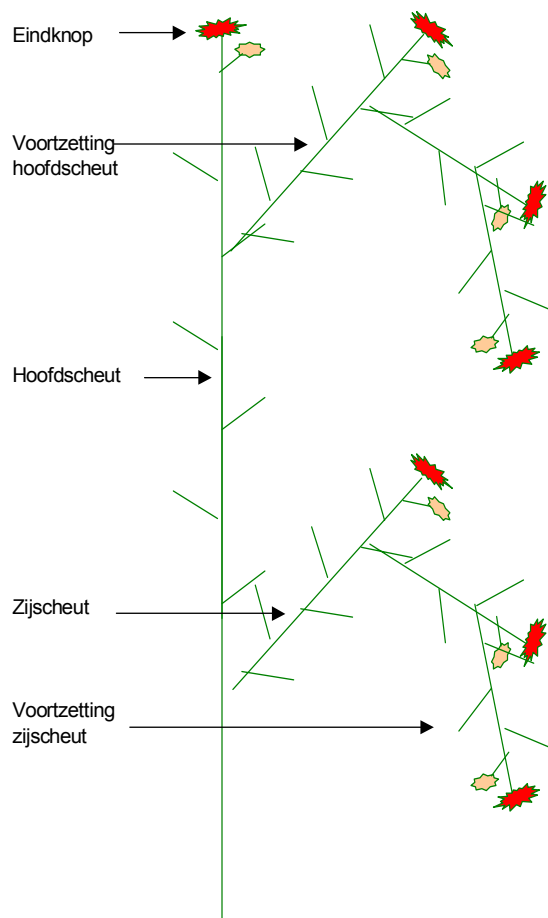
Uit een onderzoek dat in 1981 is uitgevoerd (Leffring, 1981a) bleek het volgende. Een jonge gerberaplant maakt 7-24 bladeren tot de eerste bloemknop van de hoofdscheut, afhankelijk van de omstandigheden waaronder deze groeit en afhankelijk van het genotype.

Vervolgens ontstaan in de oksels van de bovenste bladeren weer nieuwe zijscheuten. Deze leggen na 2 tot 8 bladeren een bloemknop aan. En hier groeien uit de oksels van de bovenste bladeren weer nieuwe zijscheuten, enzovoort.

Op de hoofdscheut ontstaan ook zijscheuten. Ook op deze zijscheuten ontstaat na het aanleggen van een aantal bladeren weer een bloemknop. En vanuit de oksels van de bovenste bladeren ontstaan ook weer nieuwe zijscheuten, enzovoort. Een bloemknop kan alleen uitgroeien tot een oogstbare bloem, als hiervoor voldoende assimilaten beschikbaar zijn.

Combinatie van deze relaties levert een situatie op waarbij er geen duidelijk verband is tussen het totaal aantal bladeren per plant en het aantal bloemen per plant. De meest productieve planten vormen 2 - 5 laterale scheuten in het eerste jaar en hebben een blad/bloem verhouding van 2 - 4.

Figuur 1: Schematische voorstelling van de groei van een gerberaplant



Het liefst zouden we zien dat de plant niet meer blad maakt dan nodig is, en alle andere assimilaten stopt in extra bloemen met voldoende lengte, stevigheid en houdbaarheid.

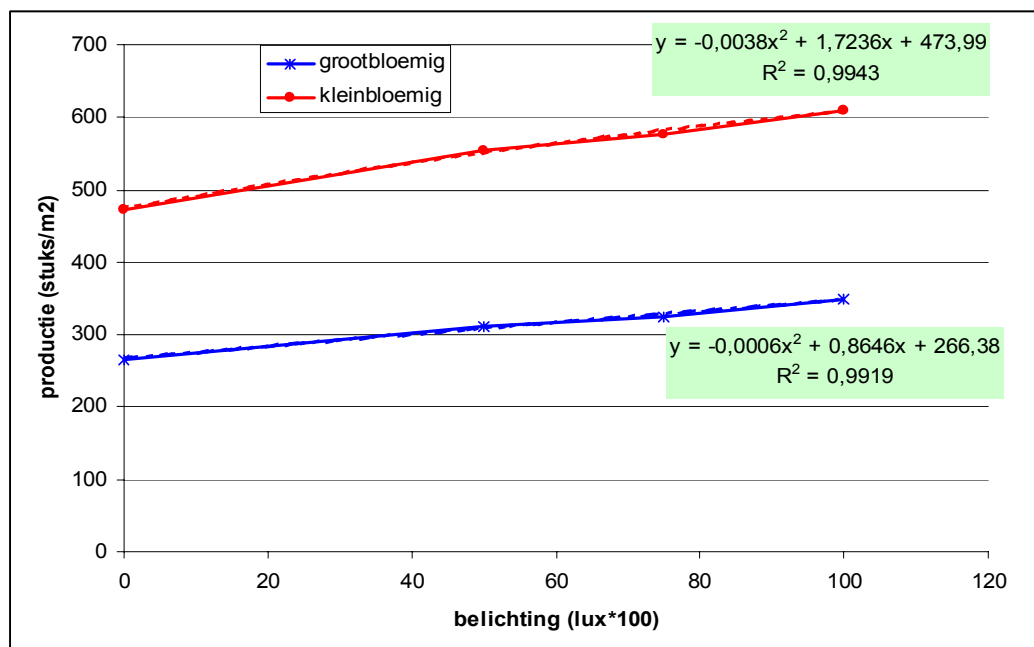
De verdeling van de assimilaten verschilt ook per ras. Sommige rassen ontwikkelen makkelijker veel scheuten en veel blad. In het belichtingsonderzoek zijn zowel rassen onderzocht die veel bladmassa maken als rassen die weinig bladmassa maken.

4. Gewasmetingen

4.1 Productieverschillen tussen belichtingsniveaus:

De productie neemt vooral toe van onbelicht naar 5000 lux. Zowel bij grootbloemige als bij kleinbloemige cultivars wordt jaarrond een extra productie van 17% gerealiseerd. Verhoging van 5000 lux naar 7500 lux levert vervolgens nog eens 5% extra productie op en verhoging van 7500 lux naar 10000 lux tenslotte nog eens 7-9% extra productie.

Grafiek 1: Gemiddeld aantal geoogste bloemen per m2 per jaar, van week 30 in 2001 tot en met week 16 in 2003, gemiddeld op meetvelden met kleinbloemige cultivars en gemiddeld op meetvelden met grootbloemige cultivars op controle meetvelden (zonder belichting), meetvelden met 5000 lux belichting, meetvelden met 7500 lux belichting en meetvelden met 10.000 lux belichting.



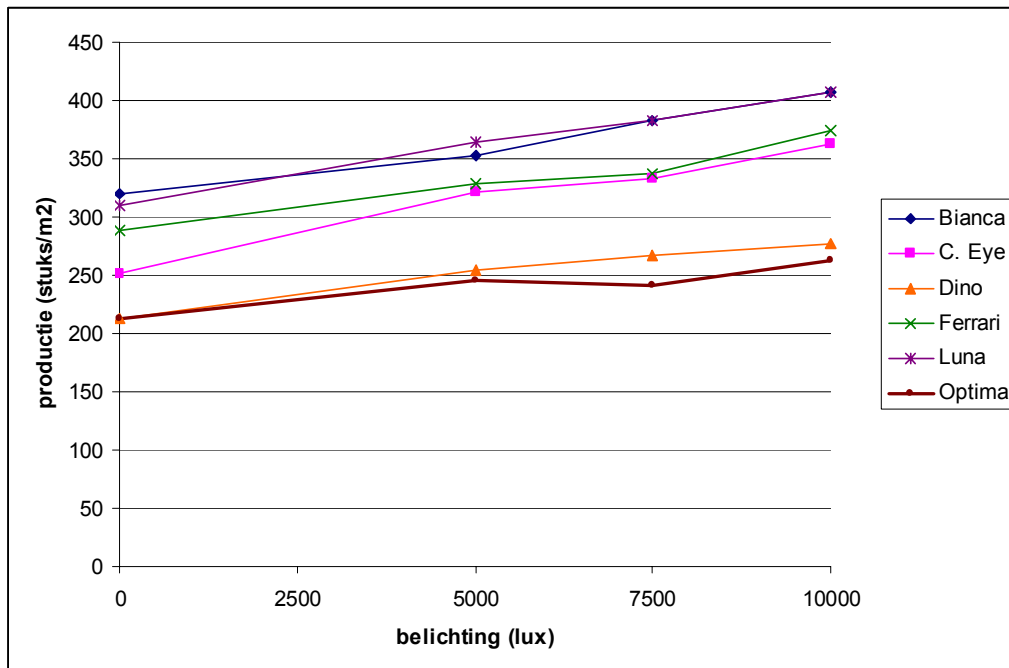
4.2 Rasverschillen grootbloemig

Onbelicht, varieert de productie tussen de grootbloemige cultivars van 212 stuks/m2/jaar (Dino) tot 320 stuks/m2/jaar (Bianca). De extra productie op belichte meetvelden is hoger bij rassen die onbelicht ook al een hoge productie geven.

Dino is een ras dat op het oog weinig scheuten produceert, Bianca is een ras dat veel zijscheuten maakt en daardoor bossig oogt.

Door uitval van planten, is de productie op sommige meetvelden verstoord. Optima had veel uitval van planten op de belichte meetvelden. Hierdoor lijkt het dat dit ras minder reageert op belichting. Bianca had redelijk veel uitval op de belichte meetvelden. Cream Eye had met name op de onbelichte meetvelden enige uitval van planten.

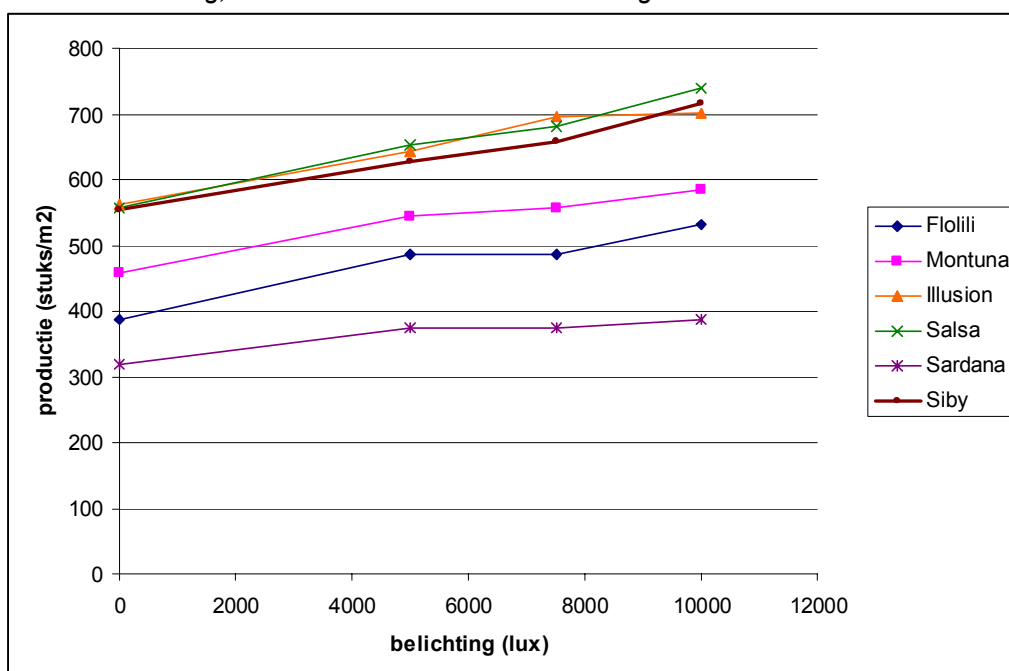
Grafiek 2: Gemiddeld aantal geoogste bloemen per m2 per jaar, van week 30 in 2001 tot en met week 16 in 2003, bij 6 grootbloemige cultivars op controle meetvelden (zonder belichting), meetvelden met 5000 lux belichting, meetvelden met 7500 lux belichting en meetvelden met 10.000 lux belichting.



4.3 Rasverschillen kleinbloemig

Onbelicht, varieert de productie tussen de kleinbloemige cultivars van 320 stuks/m2/jaar (Sardana) tot 562 stuks/m2/jaar (Illusion). De extra productie op belichte meetvelden is hoger bij rassen die onbelicht ook al een hoge productie geven.

Grafiek 3: Gemiddeld aantal geoogste bloemen per m2 per jaar, van week 30 in 2001 tot en met week 16 in 2003, bij 6 kleinbloemige cultivars op controle meetvelden (zonder belichting), meetvelden met 5000 lux belichting, meetvelden met 7500 lux belichting en meetvelden met 10.000 lux belichting.



Sibby, Salsa en Illusion zijn soorten die op het oog veel scheuten maken. Montuna maakt veel blad.

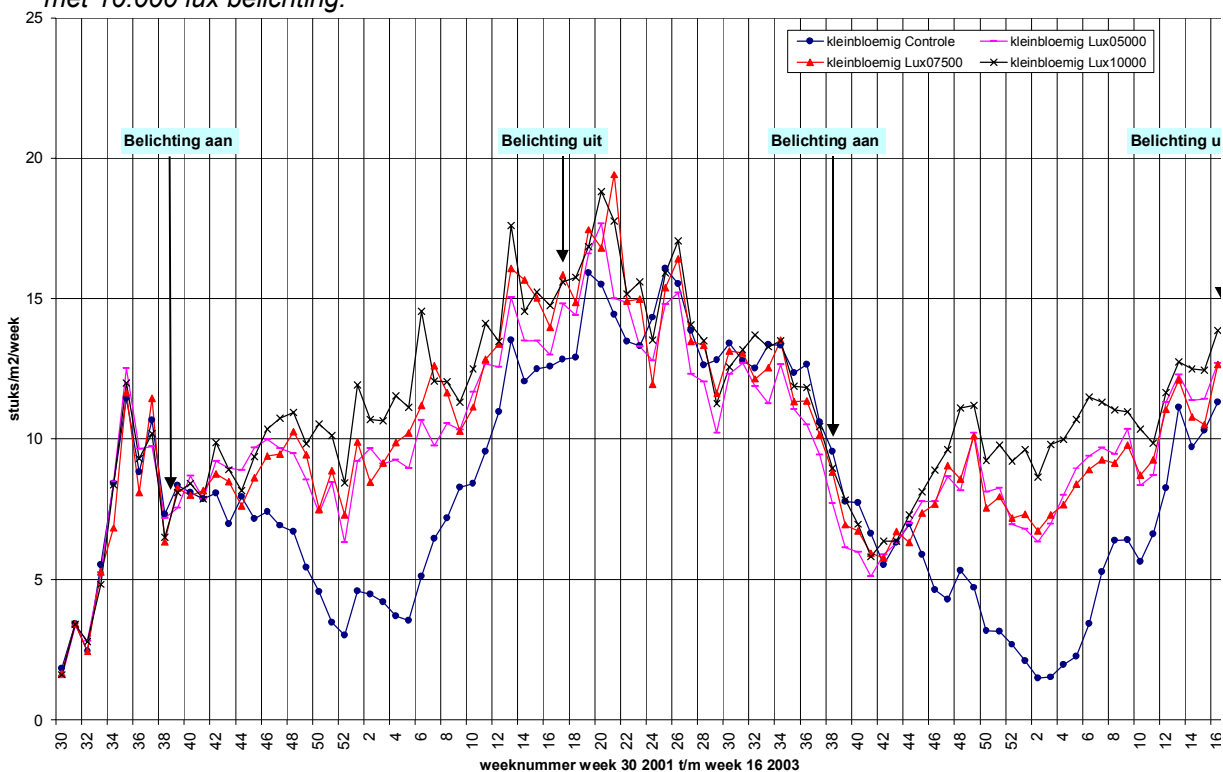
Door uitval van planten, is de productie op sommige meetvelden verstoord. Sardana had erg veel uitval van planten op de belichte meetvelden. Hierdoor is de productie zowel onbelicht als belicht veel lager dan gewoonlijk. Salsa had redelijk veel uitval op zowel de onbelichte als de belichte meetvelden. Montuna had met name op 7500 lux meetvelden uitval van planten. Flolili had enige uitval van planten, met name op de onbelichte meetvelden.

4.4 In welke weken ontstaan de verschillen in productie?

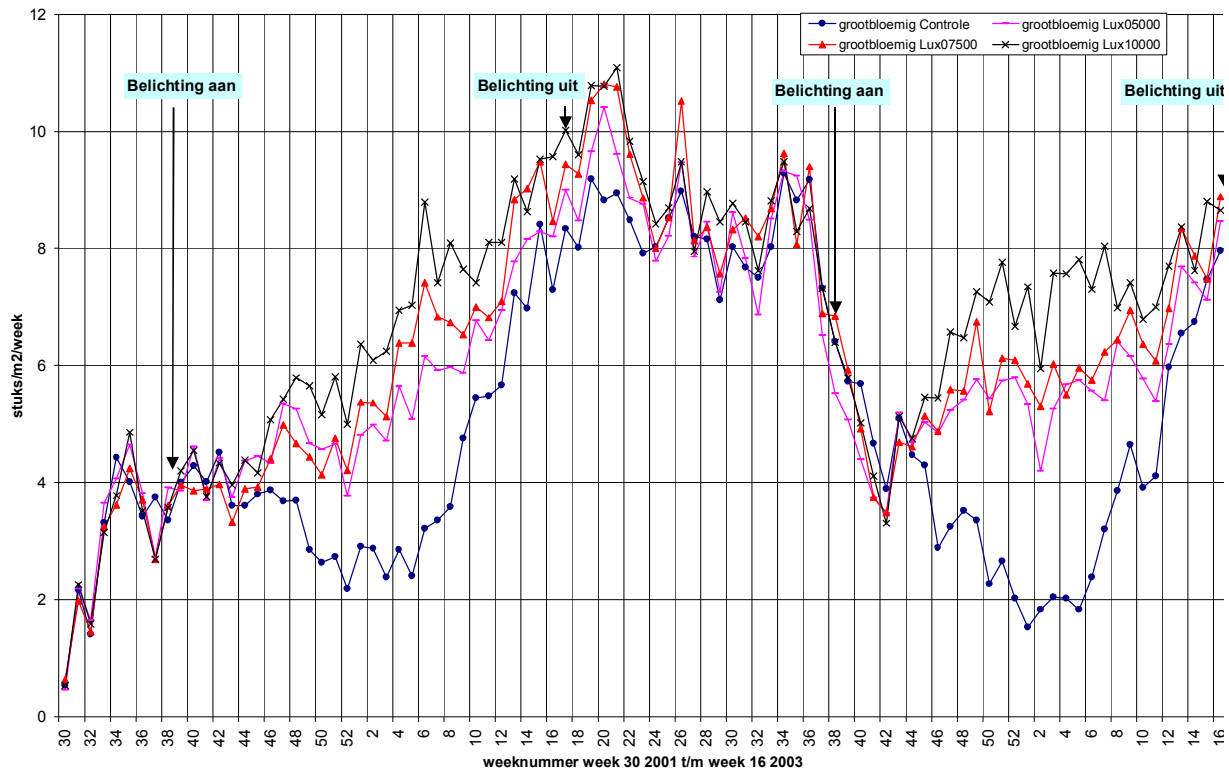
Zowel in 2001 als in 2002 worden vanaf week 42 op de onbelichte meetvelden minder bloemen geogst ten opzichte van de belichte meetvelden. Dit beeld is zowel bij de grootbloemige als bij de kleinbloemige cultivars.

Vanaf week 6 neemt het aantal geogste bloemen op de onbelichte meetvelden vervolgens weer snel toe, en vanaf ongeveer week 14 ligt de productie op de onbelichte meetvelden weer bijna gelijk aan het aantal geogste bloemen op de belichte meetvelden.

grafiek4: Gemiddeld aantal geogste bloemen per m2 per week, van week 30 in 2001 tot en met week 16 in 2003, op meetvelden met kleinbloemige cultivars uitgesplitst naar controle meetvelden (zonder belichting), meetvelden met 5000 lux belichting, meetvelden met 7500 lux belichting en meetvelden met 10.000 lux belichting.



Grafiek 5: Gemiddeld aantal geogste bloemen per m² per week, van week 30 in 2001 tot en met week 16 in 2003, op meetvelden met grootbloemige cultivars uitgesplitst naar controle meetvelden (zonder belichting), meetvelden met 5000 lux belichting, meetvelden met 7500 lux belichting en meetvelden met 10.000 lux belichting.



4.5 Gewicht bloemen

Naast extra bloemen, worden door belichting de bloemen ook zwaarder. Het bloemgewicht is tijdens week 50(2001) en week 1 en 4 (2002) gemeten. Het versgewicht van de bloemen was op de belichte meetvelden met 10.000 lux bijna 30% hoger. Vooral de grootbloemige cultivars werden zwaarder. De bloemen werden langer en hadden een dikkere steel. Het drogestofgehalte van de bloemen is in deze periode niet vergeleken.

Tabel 2: Versgewicht per bloem (gram/bloem) tijdens week 50 (2001) en week 1 en 4 (2002) op meetvelden met grootbloemige cultivars uitgesplitst naar controle meetvelden (zonder belichting), meetvelden met 5000 lux belichting, meetvelden met 7500 lux belichting en meetvelden met 10.000 lux belichting.

		Versgewicht per bloem	Stijging
		(g)	%
Kleinbloemig	Onbelicht	18,4	
	5000 lux	21,9	18,8%
	7500 lux	23,2	26,0%
	10000 lux	23,4	27,2%
Grootbloemig	Onbelicht	24,9	
	5000 lux	30,8	23,5%
	7500 lux	32,1	29,0%
	10000 lux	32,7	31,5%

Let op, het zijn slechts eenmalige metingen in de winter van 2001-2002. In de zomer zullen de versgewichten hoger zijn.

4.4 Drogestof gehalten

Aan het einde van de belichtingsproef is van ieder ras het drogestof% van de scheuten en bladeren (exclusief wortels en niet van de bloemen) bepaald. Gemiddeld had het gewas een drogestof% van 13,5%. In 100 gram bladmassa, is dus ongeveer 13,5 gram drogestof ingebouwd. Een ras met een laag drogestof gehalte bouwt per gram bladmassa minder assimilaten in dan een ras met een hoog drogestof gehalte.

Tabel 3: Drogestof percentage van de scheuten en bladeren, exclusief wortels en bloemen (% van het versgewicht) in juni 2003, weergegeven per cultivar en gemiddeld over alle cultivars.

grootbloemig	Bianca	16,5
	C. Eye	13,8
	Dino	14,0
	Ferrari	11,0
	Luna	12,8
	Optima	12,5
kleinbloemig	Flolii	9,3
	Illusion	12,3
	Montuna	13,9
	Salsa	14,5
	Sardana	17,0
	Siby	15,1
Gemiddeld		13,5

Let op, het zijn slechts eenmalige metingen aan het einde van de belichtingsproef! In de winter zullen de drogestofgehaltenes lager zijn.

Ook de drogestofgehaltenes van bloemen zijn niet bepaald.

5 Fotosynthese metingen

5.1 Spad metingen

Met de Spadmeter is van alle rassen het relatieve chlorofylgehalte gemeten, het aantal plekken waar energie vastgelegd kan worden voor het fotosynthese proces.

Afbeelding 3: de SPAD meter.



Een hoog chlorofylgehalte betekent dat er bij lage lichtomstandigheden veel licht geabsorbeerd kan worden en er dan dus veel energie vastgelegd kan worden voor het assimilatie proces.

Het hoeft echter niet te betekenen dat zulke bladeren ook een hoge gemiddelde fotosynthese hebben. In veel gevallen hebben bladeren die aan hoog licht zijn geacclimatiseerd een lager chlorofyl gehalte en toch een hoge gemiddelde fotosynthese omdat het verzadigingsniveau van die bladeren hoger is dan dat van schaduwbladeren.

Tabel 4: Uitkomsten van Spad metingen bij 12 gerberarassen, bij onbelichte planten, en planten belicht met 5000 lux, 7500 lux en 10000 lux..

Rasnaam	Onbelicht	5.000 lux	7.500 lux	10.000 lux
Silby	53	54,4	55,9	58
Illusion	52,4	55,3	53,8	58,5
Salsa	46,2	47,9	48,6	50,6
Flolili	49,2	50,5	54,4	53,5
Sardana	43,8	46,1	50,6	48,8
Montana	41,9	45,2	45,4	49,9
Dino	41,1	44,5	45,4	45,7
C.Eye	48,7	57,8	52,9	60,3
Ferrari	44,1	46,9	43,7	48,8
Luna	46,5	49,8	50,6	54,4
Optima	44,7	54,3	53,1	49
Bianca	38,4	46,1	49,3	46,4

In de experimenten is niet te zien dat er een afname is van het chlorofylgehalte bij hoog licht. Er is zelfs een geringe toename geconstateerd. Het chlorofylgehalte gemiddeld over de rassen neemt het meeste toe van 0 naar 5000 lux maar ook 10000 lux heeft nog effect. Creme Eye heeft de hoogste waarden en Bianca de laagste maar beiden reageren sterk op licht.

De variatie is groot. Waarschijnlijk is de waargenomen toename van het chlorofylgehalte een gevolg van de toename van de bladdikte.

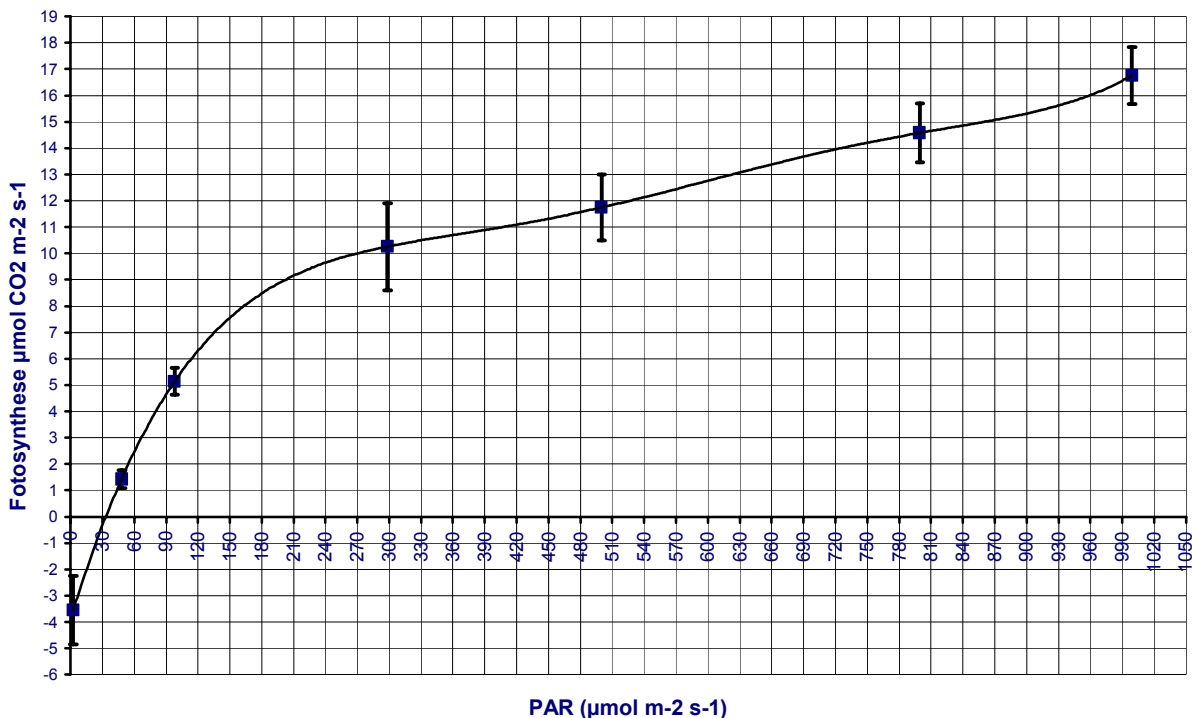
5.2 Effect van PAR licht op fotosynthese

Op 11 en 12 februari 2003 is de fotosynthese activiteit gemeten bij Cream Eye, Ferrari en Bianca bij een lichtniveau variërend van 0-1000 μmol parlicht en een CO_2 gehalte van 400 ppm.

Bij 28 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PAR licht was de fotosynthese gelijk aan de dissimilatie en was de "netto fotosynthese gelijk aan 0. Tot aan een lichtniveau van 90 tot 120 μmol PAR licht nam de fotosynthese bijna lineair toe. Dit komt overeen met een totale lichtintensiteit in de kas die gelijk is aan 7.500 tot 10.000 lux belichting met SON-T lampen.

Boven de 160 μmol PAR licht nam de fotosynthese veel minder toe. Op basis van deze metingen lijkt het hoogste rendement van bijbelichten te behalen tot 7500 tot 10.000 lux SON-T, waarop het gratis beschikbare daglicht nog in mindering gebracht moet worden.

Grafiek 6: Fotosynthese respons ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ CO_2 opname) bij een aantal gerbera soorten (gemiddelde Cream Eye, Ferrari en Bianca), bij een lichtniveau variërend van 0 tot 1000 μmol parlicht.



De fotosynthese nam daarna nog wel toe tot 1000 μmol parlicht, maar bevindt zich dan al geruime tijd in een traject van verminderde meeropbrengst.

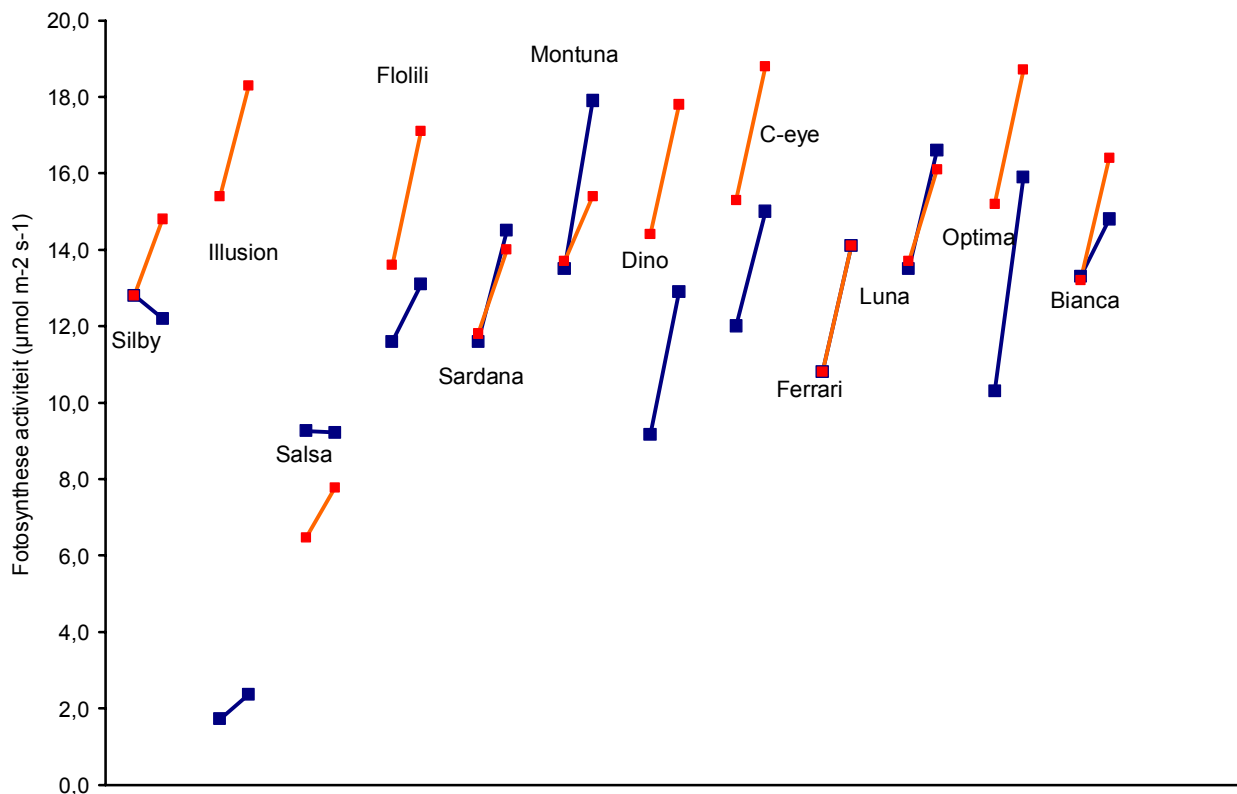
5.2.1 Rasverschillen

Om te kijken of alle rassen even goed reageren op verhoging van het lichtniveau, werd op 11 februari 2003 de fotosynthese activiteit gemeten bij alle rassen bij een lichtniveau van 100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PAR en bij een lichtniveau van 500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PAR.

Tussen 9.00 uur en 11.00 uur werd gemeten bij planten die onder 10.000 lux zijn opgegroeid (rode lijn) en tussen 11.00 uur en 13.00 werd gemeten bij planten die onbelicht zijn opgegroeid (blauwe lijn). In grafiek 7 staan paarsgewijs het linker punt dat gemeten is bij 500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PAR en het rechter punt dat gemeten is bij 1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PAR, beide bij een CO_2 concentratie van 400 ppm.

Tijdens de metingen liep de lichtintensiteit in de kas op van 70 naar 300 $\mu\text{mol PAR}$. Omdat de belichte planten later op de dag werden gemeten, was de gemiddelde fotosynthese daar iets hoger.

Grafiek 7: Fotosynthese respons ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ CO_2 opname) per ras, gemeten bij planten die onder 10.000 lux zijn opgegroeid (rode lijn) en bij planten die onbelicht zijn opgegroeid (blauwe lijn), waarbij paarsgewijs het linker punt gemeten is bij 500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PAR en het rechter punt 1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PAR, bij een CO_2 concentratie van 400 ppm.

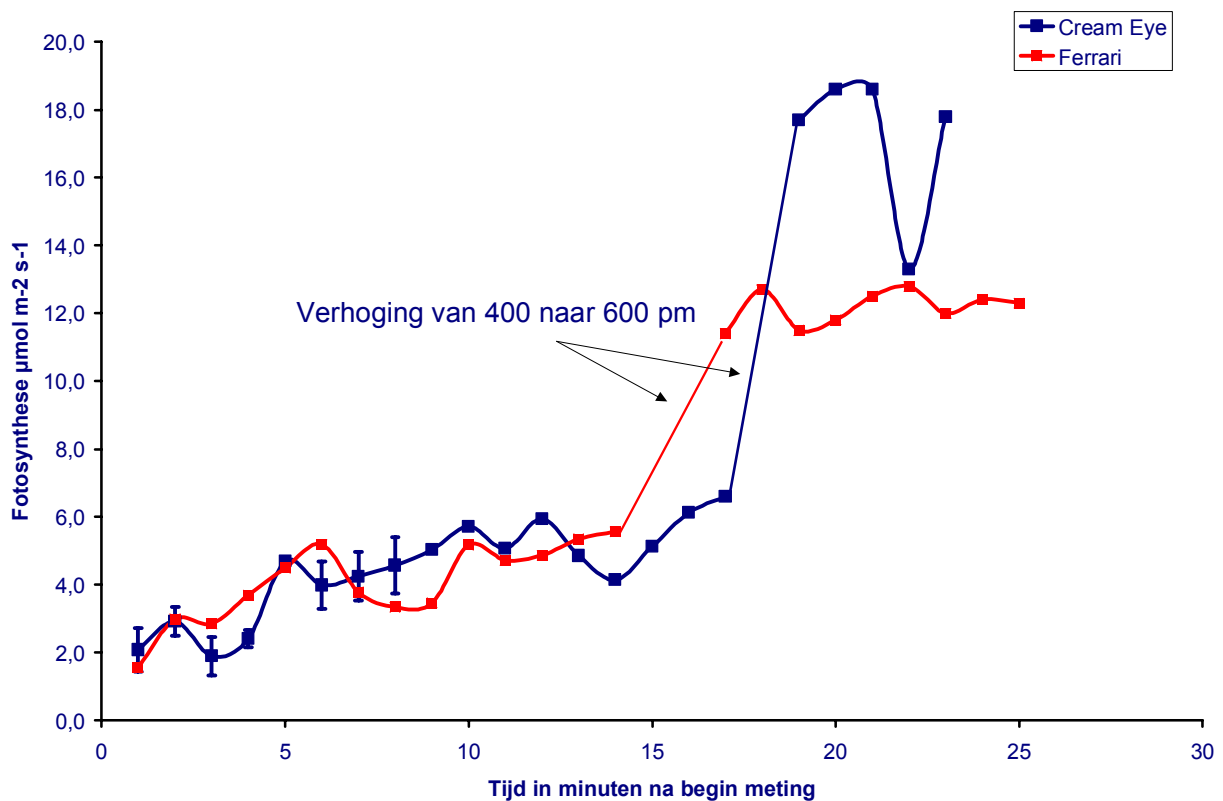


Vrijwel alle planten reageren sterk op een verhoging van de lichtintensiteit, met uitzondering van Salsa. De planten waren tijdens de periode van de metingen aan prachtig helder weer blootgesteld. Dit zal mede bepalend zijn geweest voor de snelle aanpassing aan hoog licht. In elk geval kan geconcludeerd worden dat Gerbera een plant is met een hoge fotosynthese, een goede verdamping die erg goed reageert op licht.

5.2.2 Reactietijd fotosynthese

Vroeg in de ochtend werd gemeten na hoeveel tijd het gewas reageerde op een

Grafiek 8: Reactie tijd (minuten) van de fotosynthese op verhoging van de CO₂ bij Cream Eye en Ferrari,



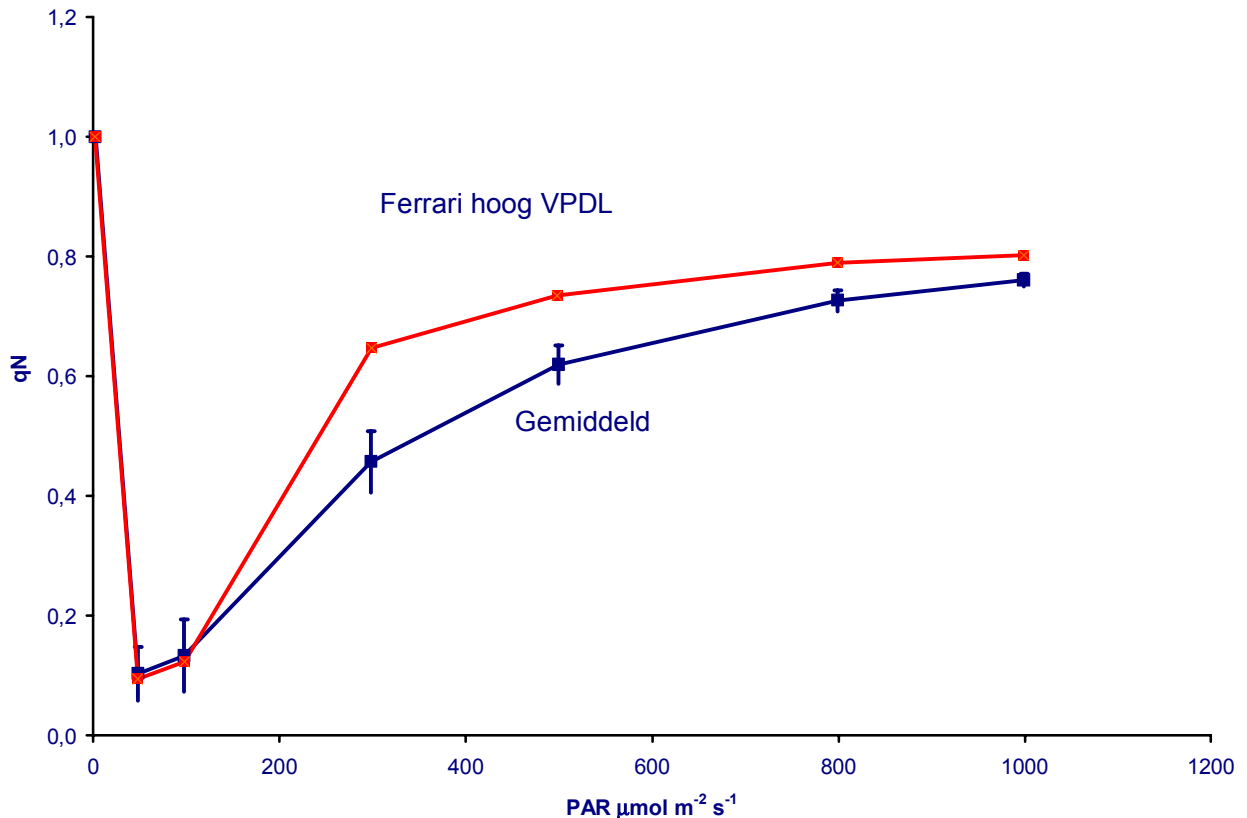
verhoging van lichtniveau. In de kas was een lichtniveau van 20 – 50 µmol PAR. Vervolgens werd op tijdstip 0 het lichtniveau verhoogd naar 500 µmol. De toename van de fotosynthese komt langzaam op gang door een relatief trage opening van de huidmondjes. Na ongeveer 15-17 minuten werd ook het CO₂ gehalte verhoogd van 400 naar 600 ppm, wat een zeer positief effect op de fotosynthese had.

5.2.3 Schermen

Schermen van licht is nodig om te voorkomen dat bladeren teveel energie absorberen waardoor er een over-reductie van het fotosynthese apparaat ontstaat. Wanneer dat het geval is hangt af van het lichtabsorberend vermogen, de capaciteit van het fotosynthese apparaat, en het vermogen om overtollige energie te dissiperen

als warmte. De hoeveelheid energie die gedissipeerd wordt als fractie van de totale energie wordt weerspiegeld door q_N (nonfotochemical quenching van de fluorescentie). q_N is vrijwel evenredig met de dissipatie van warmte, die verondersteld wordt evenredig te zijn met veranderingen in fluorescentie.

Grafiek 9: Fluoriscentie doving (q_N) bij lichtniveaus variërend van 0 tot 1000 $\mu\text{mol PAR}$, bij het gerberaras Ferrari, bij een hoge VPD en bij een gemiddelde VPD.



In grafiek 9 is het verloop van q_N voor Ferrari bij een hoog VPD en het gemiddelde van C-Eye en Bianca weergegeven. Bij een q_N tussen 0.8 en 1.0 wordt vrijwel alle extra lichtenergie die wordt toegediend direct omgezet in warmte en is het rendement van de fotosynthese extreem laag. Bij een q_N tussen 0 en 0.5 is het rendement van de fotosynthese optimaal.

De toename van q_N verloopt in het algemeen langzaam. In het algemeen wordt gesteld dat als q_N boven 0,7-0,8 komt, er geschermd zou moeten worden om te voorkomen dat er bladverbranding optreedt. Het is wel mogelijk om de plant langzaam aan hogere lichtintensiteiten te wennen, een soort van training waardoor de ondergrens voor schermen naar boven toe kan opschuiven. Voorlopig lijkt er bij Gerbera althans wat deze fotosynthese metingen betreft geen reden om te schermen. Uiteraard zijn dit nog voorlopige conclusies die in het vervolgonderzoek om verdere bevestiging vragen.

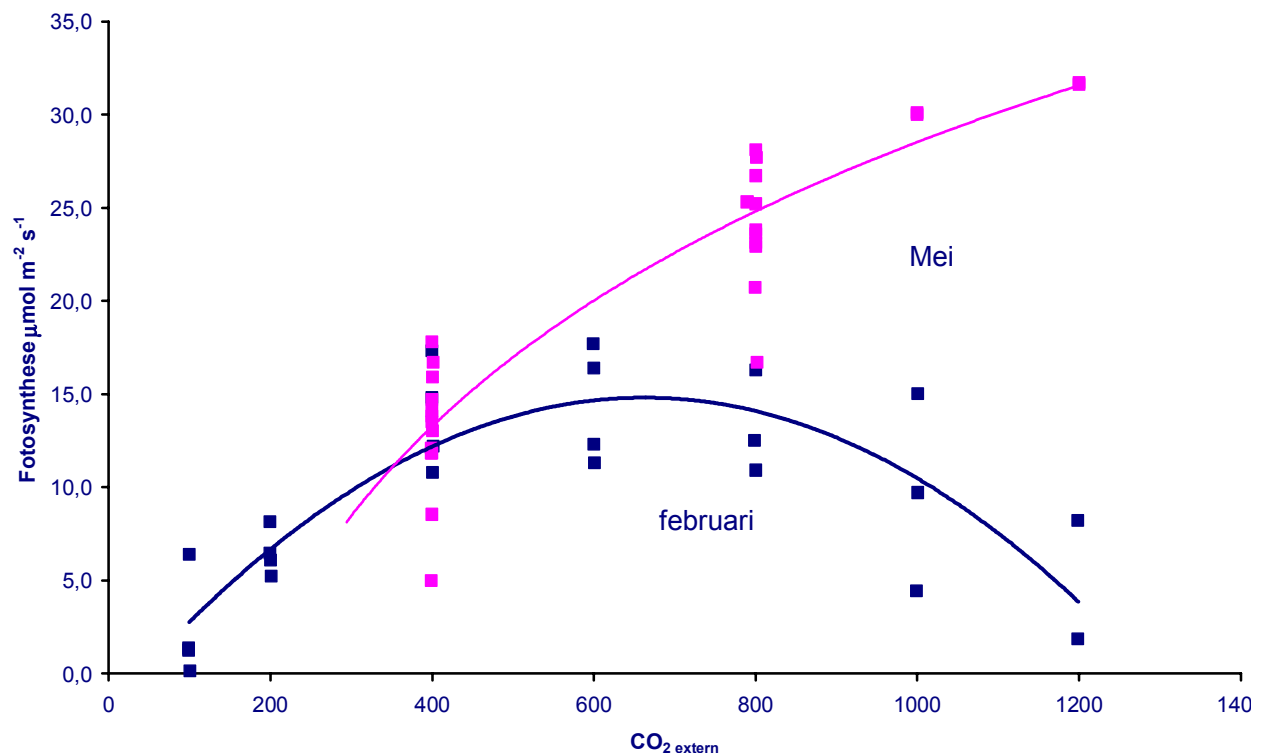
5.3 Effect van CO₂ op de fotosynthese

Zowel in februari als in mei werd de fotosynthese gemeten bij een CO₂ concentratie van 100 tot 1200 ppm buiten het blad.

In februari verdubbelde de fotosynthese van 8.1 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ bij 200 ppm tot 17.3 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ bij 400 ppm. Boven de 400 ppm nam de fotosynthese echter nauwelijks meer toe en er was zelfs een afname van de fotosynthese activiteit te zien bij een CO₂ concentratie hoger dan 600 ppm.

In mei werd deze meting herhaald. Toen werd gestart met een CO₂ niveau van 400 ppm en werd verhoogd naar 800 ppm. Hierbij verdubbelde bij hoge lichtniveaus (1200 $\mu\text{mol PAR}$) de fotosynthese bijna van 17.8 μmol bij 400 ppm tot 28.1 μmol bij 800 ppm. Bij lage lichtniveaus (300 $\mu\text{mol PAR}$) verdrievoudigde de fotosynthese van 5,0 bij 400 ppm tot 16.7 bij 800 ppm. Zelfs tot een niveau van 1200 ppm nam de fotosynthese toe.

Grafiek 10: Fotosynthese respons ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) bij CO₂ concentraties rond het blad variërend van 100 tot 1200 ppm, gemeten in februari en mei 2003, onder lichtniveaus variërend van 300 tot 1200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{ PAR}$.



Waarom in februari de plant minder goed reageert op CO₂ concentraties boven de 400 ppm is niet onderzocht. Waarschijnlijk is een andere groeifactor meer beperkend geweest, bijvoorbeeld voeding (fosfaat).

Het is zinvol om de reactie van CO₂ op de fotosynthese uitgebreider te meten. Het effect van verhoging van 400 naar 800 ppm is bijna even groot als het effect van verhoging van 300 μ mol PAR naar 1200 μ mol PAR bij 400 ppm CO₂.

5.4 Effect van RV en VPD op de fotosynthese

Om te meten wat het effect is van een hogere VPD, is bij Ferrari bij twee verschillende vochtgehalten de fotosynthese gemeten bij verschillende lichtniveaus. De eerste meting is uitgevoerd bij een VPD van 0,8 kPa. (Dit komt overeen met 4 gram waterdamp per m³ lucht.) de tweede meting is uitgevoerd bij een VPD van 1.2kPa (dit komt overeen met 6 gram waterdamp per m³ lucht. In tabel 5 wordt weergegeven bij welke temperatuur en RV dit bereikt wordt.

Tabel 5: Omrekening tabel waarin wordt aangegeven bij welke combinatie van temperatuur en RV een VPD van 0,8 kPa en een VPD van 1.2kPa voorkomt,

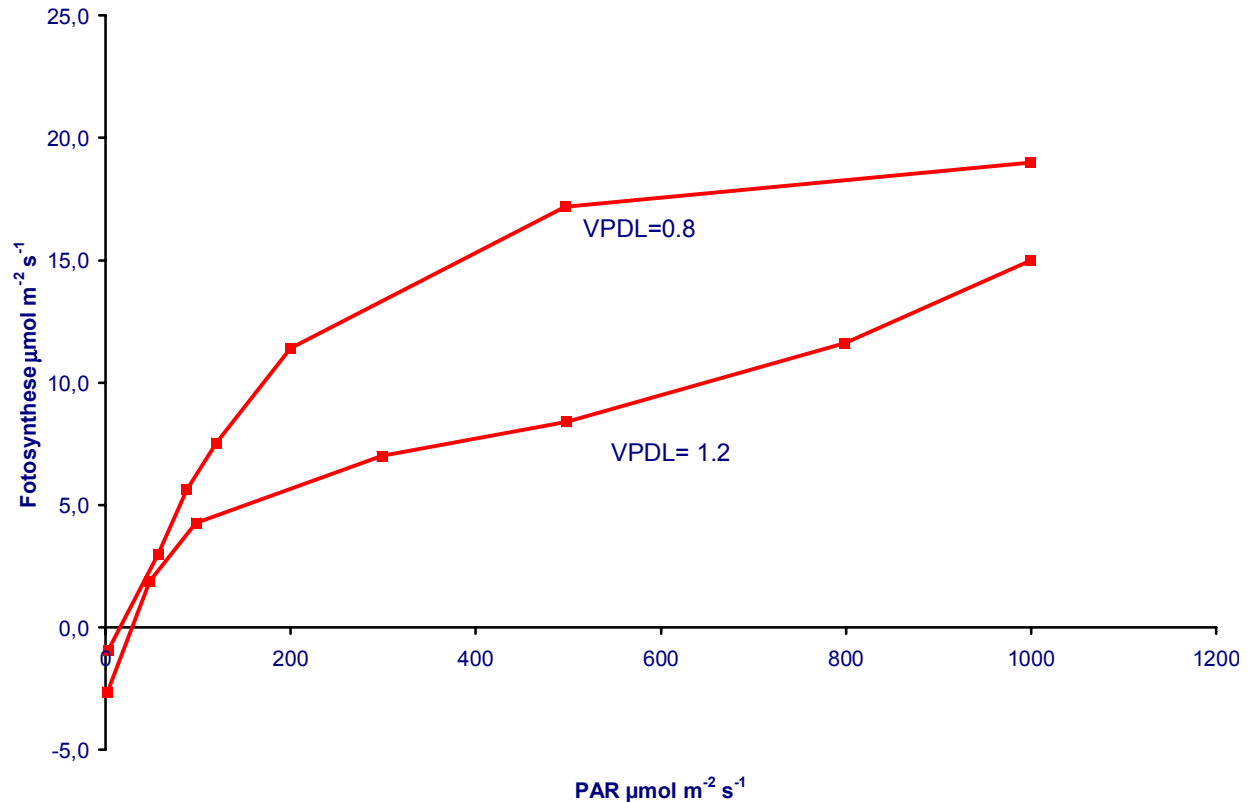
VPD 0,8 kPa		VPD 1,2 kPa	
4 gram water per m ³ lucht		6 gram water per m ³ lucht	
Temperatuur	RV	Temperatuur	RV
18	60%	18	<50%
20	65%	20	50%
22	70%	22	55%
25	75%	25	60%

De fotosynthese was lager bij een VPD van 1.2kPa dan bij een VPD van 0.8 kPa. En met name bij hogere lichtniveau's (boven 50 μ mol PAR, dit komt overeen met 4100 lux SON-T) werden de verschillen in fotosynthese groter. Bij 500 μ mol PAR was de fotosynthese bij 1,2 kPa nog maar de helft ten opzichte van de fotosynthese bij 0,8 kPa.

De fotosynthese neemt af bij een hogere VPD, doordat de plant de verdamping niet kan bijhouden en de huidmondjes gedeeltelijk sluit. Hierdoor kan er minder CO₂ de huidmondjes binnenkomen, waardoor de beschikbaarheid van CO₂ voor het fotosynthese proces afneemt.

Met name boven 50 μ mol PAR licht in combinatie met een kastemperatuur boven 20 graden kastemperatuur, en een RV onder de 70% wordt de fotosynthese beperkt vanwege een te hoge VPD. Deze situatie ontstaat al vanaf februari.

Grafiek 11: Fotosynthese activiteit ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) bij het Gerbera ras Ferrari, bij lichtniveaus variërend van 0 tot 1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, bij een VPD van 0,8 kPa en een VPDL van 1,2 kPa.



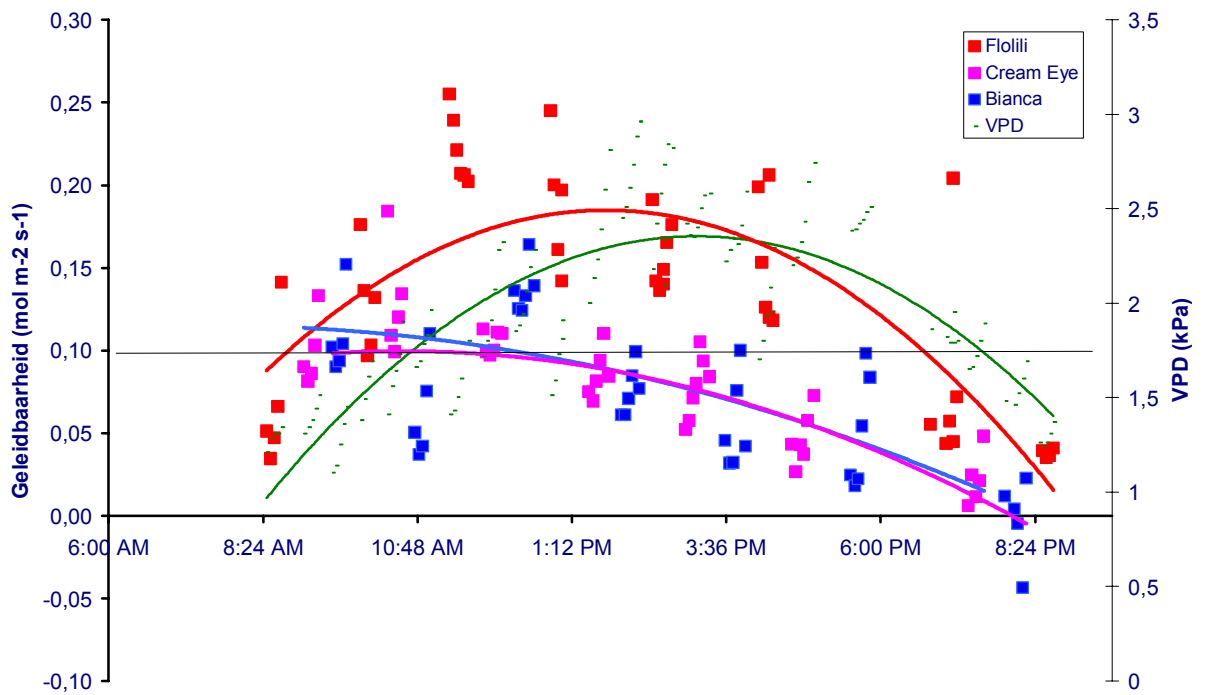
Het is zinvol om de reactie van vocht op de fotosynthese uitgebreider te meten. Gedurende een groot deel van het jaar groeit de gerberaplant onder omstandigheden waarbij de VPD beperkend lijkt te zijn voor een optimale fotosynthese.

5.5 Openingstoestand huidmondjes

Op 26 mei 2003 is gedurende de dag de openingstoestand van de huidmondjes gemeten bij Flolilly, Cream Eye en Bianca, bij 1200 $\mu\text{mol PAR}$. In grafiek 12 is de geleidbaarheid van de huidmondjes weergegeven. Hoe hoger de geleidbaarheid, hoe verder de huidmondjes open zijn. Goed functionerende huidmondjes hebben een geleidbaarheid tussen 0,10 en 0,45 $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Te zien is dat bij Bianca en Creame Eye vanaf 12.00 uur de geleidbaarheid onder de 0,10 komt. Op dat moment zat de VPD rond 2 kPa. Bij Flolili zakt vanaf 14.30 uur de geleidbaarheid en zakt pas na 18.30 uur de geleidbaarheid onder de 0.10 mol. Flolili kon bij hogere VPD de huidmondjes langer open houden.

Grafiek 12: Verloop van de huidmondjes geleidbaarheid ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) over de dag bij de Gerbera rassen Flolili, Cream Eye en Bianca, gemeten op 26 mei 2003, bij een lichtniveau van 1200 $\mu\text{mol PAR}$.



5.6 Effect van temperatuur op de fotosynthese

Het effect van de temperatuur op de fotosynthese is niet afzonderlijk bekeken. De bladtemperatuur loopt op in geval dat de plant de verdamping niet kan bijhouden. In deze situaties wordt de opname van CO₂ sterk verminderd en neemt hierdoor de fotosynthese af.

6 Plantmonitor metingen

Met Growlabs is de hoeveelheid parlicht gemeten. Ook is de temperatuur in de kas, van het blad en in de pot gemeten. Verder is de RV en de sapstroom gemeten. Het CO₂ niveau in de kas is helaas niet continu gemeten. CO₂ is een belangrijke productiefactor. Het is daarom wel zinvol om hier ook gericht naar te kijken.

6.1 Parlicht

Uit de fotosynthese metingen blijkt dat tot een lichtniveau van 160 $\mu\text{mol PAR}$ (buitenlicht + kaslicht) extra licht bijna rechtlijnig extra fotosynthese oplevert. Boven de 200 $\mu\text{mol PAR}$ neemt de extra fotosynthese steeds verder af.

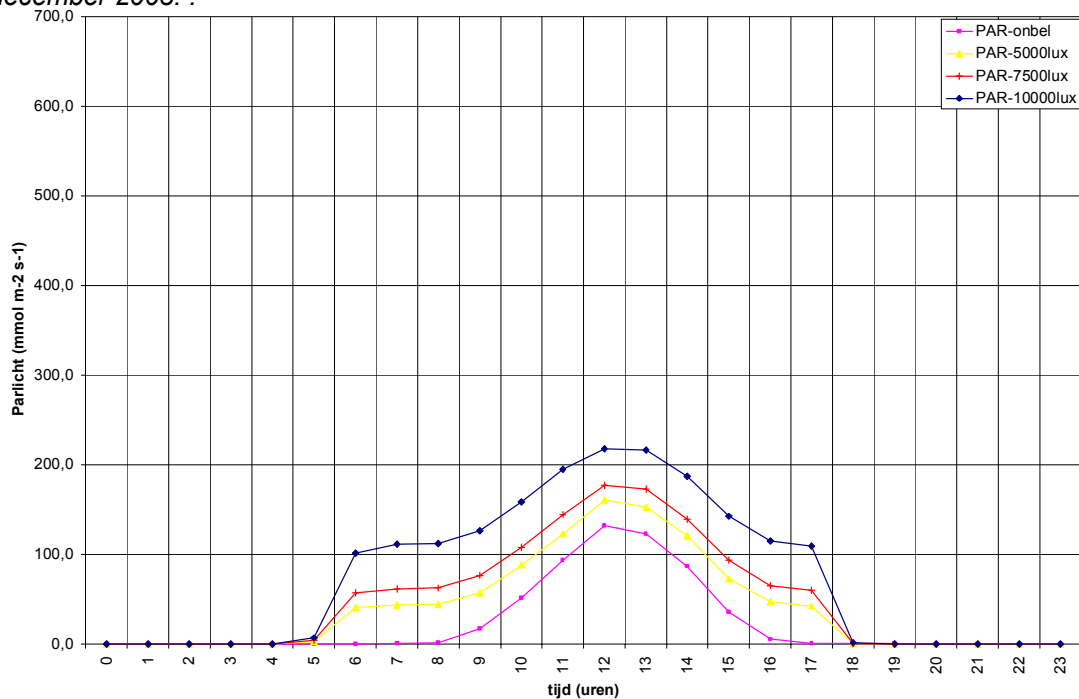
Met een Growlab met PAR lichtsensoren is gemeten hoeveel licht bij de plant terecht is gekomen (lamplicht + buitenlicht).

Lichtniveau december

In december kwam het lichtniveau onbelicht amper boven de 100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{ PAR}$ uit. Belichting met 5000 lux, gaf in december 82% extra licht, belichting met 7500 lux gaf 125% extra licht en belichting met 10.000 lux gaf 229% extra licht.

Tijdens de uren dat in december belicht wordt, komt het totale lichtniveau (buitenlicht + lamplicht) bij de plant nauwelijks boven de 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{ PAR}$ licht. Tijdens alle uren dat belicht wordt, kan dit volgens de fotosynthese metingen veel extra fotosynthese opleveren.

Grafiek 13: Verloop van het lichtniveau ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{ PAR}$) gemeten bij de plant gedurende de dag in december 2003. .



Lichtniveau in maart

Omdat in maart het licht van buiten al behoorlijk is toegenomen, neemt het aandeel lamplicht snel af. Al na 8.30 uur is het lichtniveau boven de 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PAR.

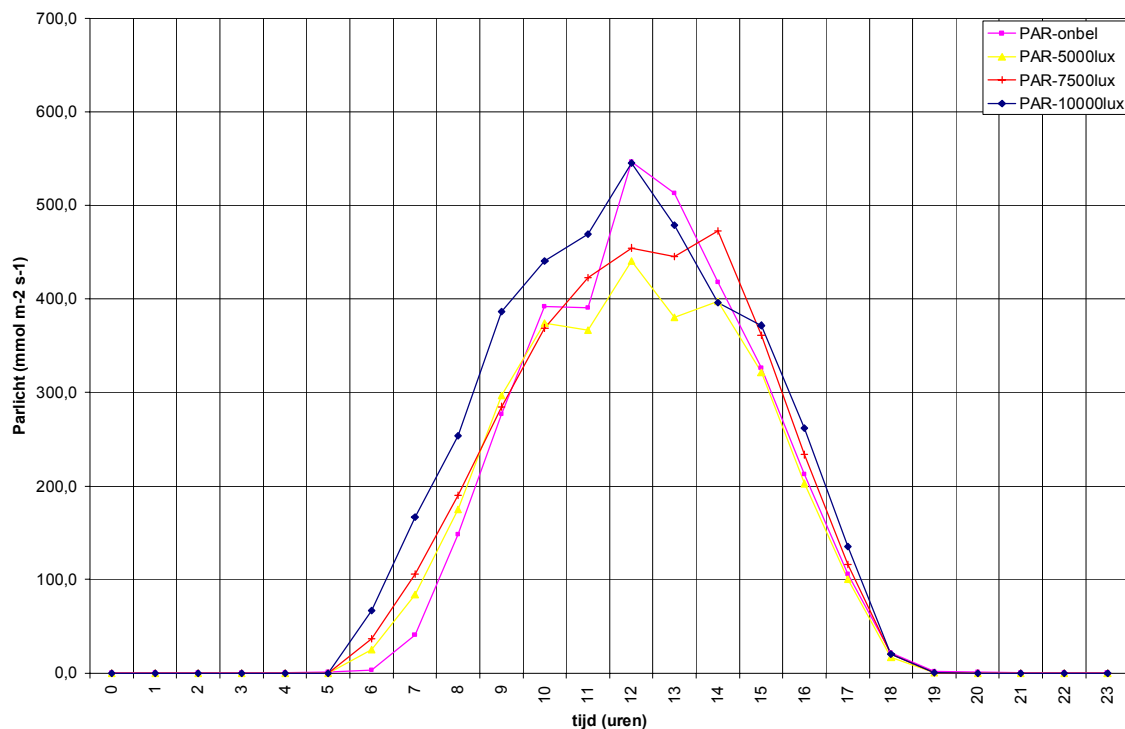
Na 16.30 uur zakt het lichtniveau weer onder de 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PAR.

Doordat vanwege de daglengte alleen tussen 7.00 uur en 18.00 uur belicht wordt, zijn er in maart weinig uren waarbij het lichtniveau van nature onder de 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PAR blijft steken.

De uren dat wordt belicht tot boven een niveau van 200 $\mu\text{mol PAR}$ geeft dit de plant evengoed nog wel extra fotosynthese (mits andere factoren niet beperkende zijn).

Een uur belichten tot onder de 200 $\mu\text{mol PAR}$ niveau levert echter meer fotosynthese dan een uur belichten boven de 200 $\mu\text{mol PAR}$.

Grafiek 14: Verloop van het lichtniveau ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PAR) gemeten bij de plant gedurende de dag in maart 2002.



6.2 Temperatuur

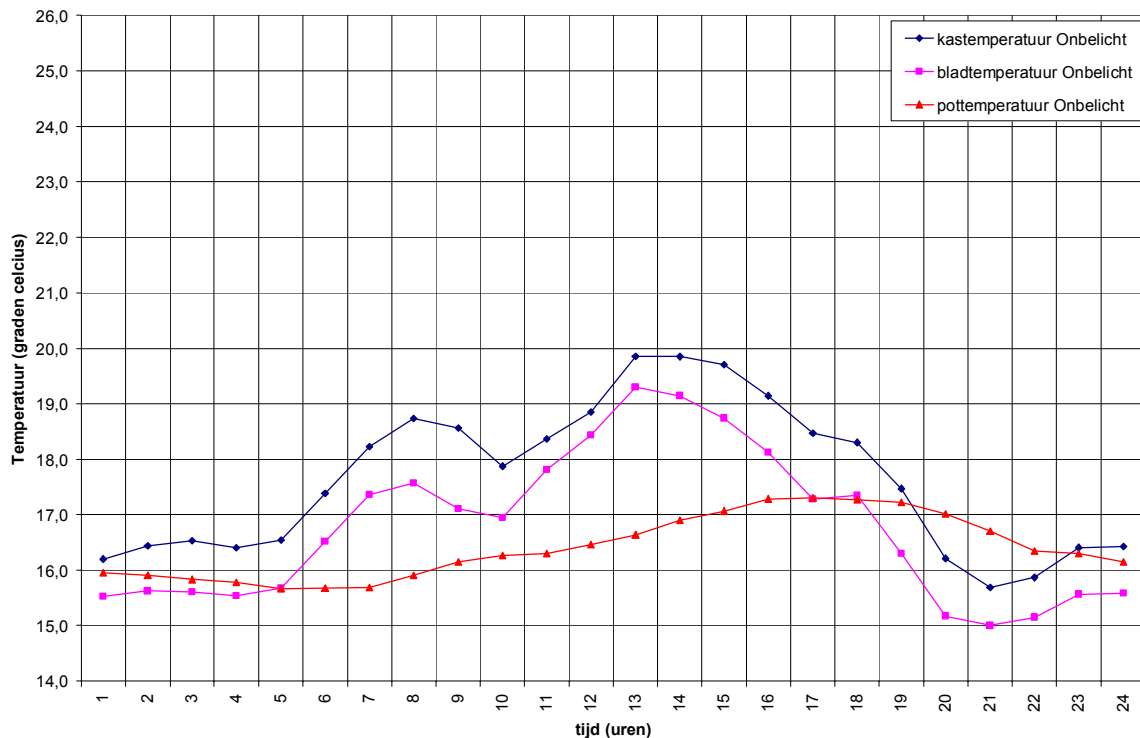
De invloed van de temperatuur op de fotosynthese is niet onderzocht. Wel is met de Growlabs zowel de ruimtetemperatuur, de blad temperatuur en de potttemperatuur gemeten. Om een indruk te geven van het verloop van temperatuur over de dag gedurende het jaar bij de verschillende lichtniveaus, zijn drie situaties vergeleken: onbelicht in januari 2003, belicht met 10.00 lux in januari 2003 en onbelicht in mei 2003.

Temperatuur onbelicht januari 2003

In januari 2003 was de nacht temperatuur rond de 16 graden. Overdag liep de temperatuur op tot bijna 20 graden. De bladtemperatuur was continu ongeveer 0,8

graden onder de ruimtetemperatuur. De pottemperatuur was aan het einde van de nacht het koudst (15.7 graden) en werd overdag opgewarmd en bereikte rond 16.00 uur de hoogste temperatuur (17.3 graden).

Grafiek 15: Verloop van de kasttemperatuur, de bladtemperatuur en de pottemperatuur gedurende de dag in januari 2003 op een onbelicht meetveld.

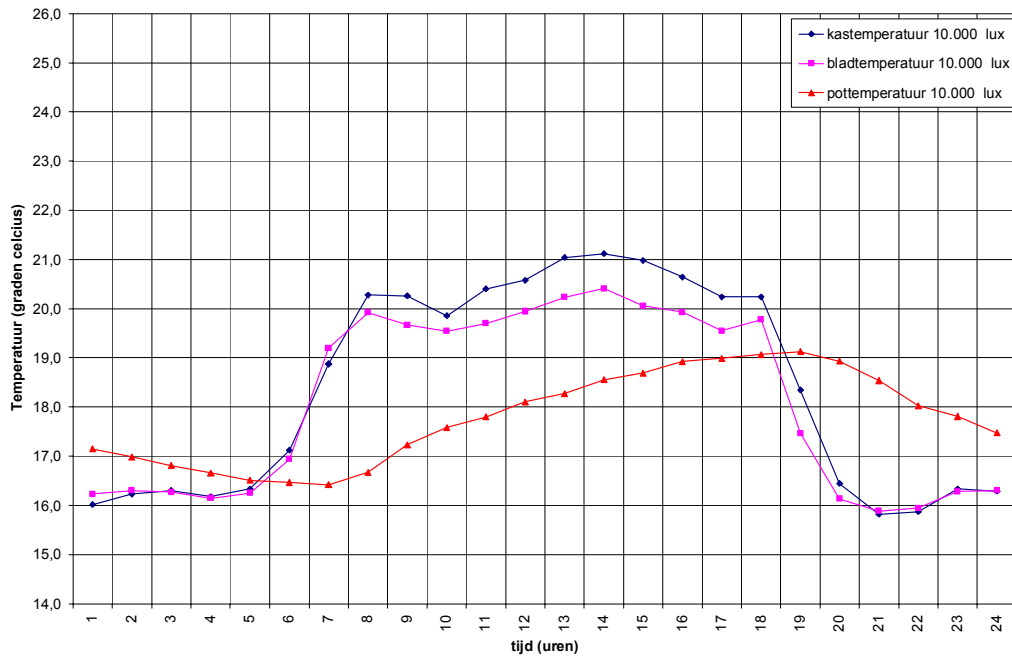


Temperatuur belicht met 10.000 lux in januari 2003

In de nacht was de ruimtetemperatuur op het meetveld met 10.000 lux gelijk aan de temperatuur van het onbelichte meetveld. Nadat de belichting aan ging, nam de temperatuur snel toe tot ongeveer 20 –21 graden. Dit is 1,2 tot 2 graden hoger dan de kasttemperatuur op het onbelichte meetveld.

De bladtemperatuur was tijdens de nacht gelijk aan de omgevingstemperatuur. Tijdens het belichten was de bladtemperatuur ongeveer 0,4 – 0,7 graden lager dan de omgevingstemperatuur. Ten opzicht van het onbelichte meetveld was de bladtemperatuur op het belichte meetveld hoger, in de nacht ongeveer 0,7 graden en overdag 1,3 tot 2,6 graden hoger

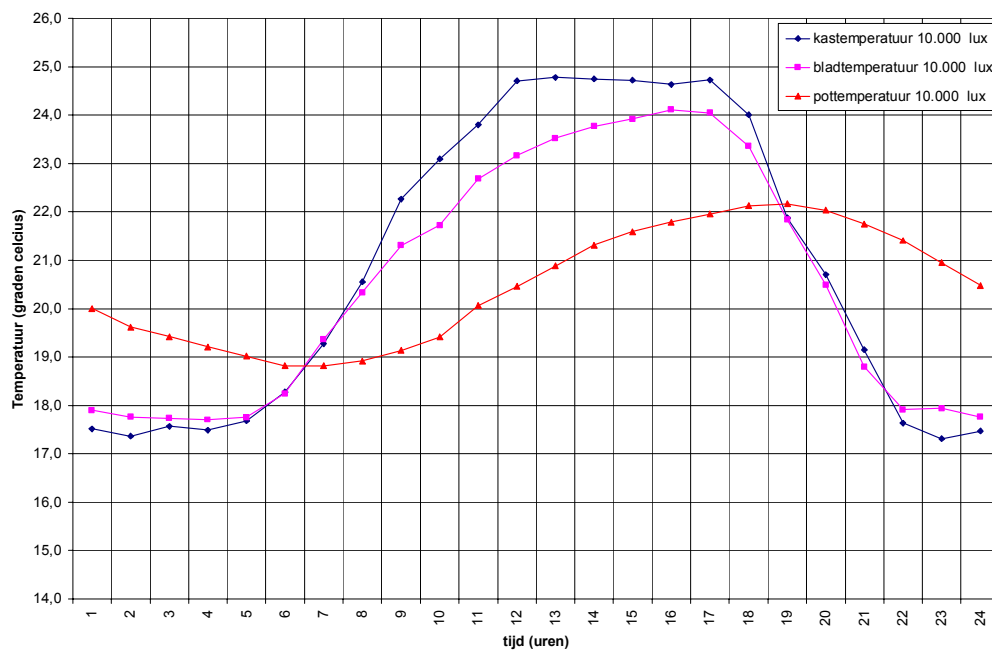
Grafiek 16: Verloop van de kasttemperatuur, de bladtemperatuur en de potttemperatuur gedurende de dag in januari 2003 op een belicht meetveld met 10.000 lux.



Temperatuur belicht met 10.00 lux in mei 2003

Vanaf januari neemt de temperatuur iedere maand toe. In mei is de minimum kasttemperatuur in de nacht 17.4 graden. Dit is 1,0 graad hoger dan in januari. De kasttemperatuur neemt overdag toe tot bijna 26 graden. Dit is 6,0 graden hoger dan in januari.

Grafiek 17: Verloop van de kasttemperatuur, de bladtemperatuur en de potttemperatuur gedurende de dag in mei 2003 op een belicht meetveld met 10.000 lux.



De bladtemperatuur blijft in mei overdag onder de kasttemperatuur, in de nacht ligt de bladtemperatuur net iets boven de kasttemperatuur. De bladtemperatuur is in mei op het warmst van de dag 3,5 tot 4 graden hoger dan in januari.

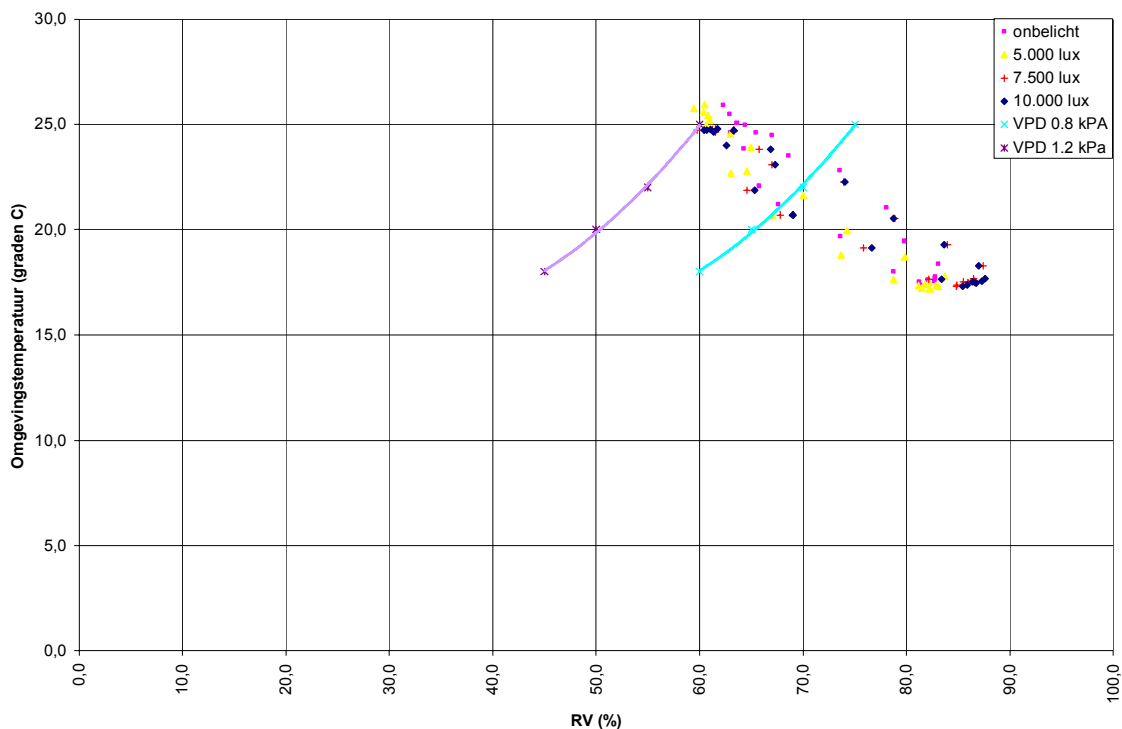
De potttemperatuur laat in mei eenzelfde verloop over de dag zien als in januari. De potttemperatuur ligt echter 2,5 – 3,1 graad hoger dan in januari.

6.3 RV en VPD

Uit de fotosynthese metingen blijkt dat bij een toenemende VPD, de fotosynthese activiteit afneemt. Met name boven 50 μmol PARlicht in combinatie met een kasttemperatuur boven 20 graden kasttemperatuur, en een RV onder de 70% wordt de fotosynthese beperkt vanwege een te hoge VPD.

Met de Growlab zijn de RV en de omgevingstemperatuur gemeten. Gekeken is vanaf welke maand een ongunstige VPD gemeten is.

Grafiek 18: Verloop van de RV en de kasttemperatuur gedurende de dag in mei 2003, op een onbelicht meetveld, en op meetvelden waar belicht is met 5.000 lux, 7.500 lux en 10.00 lux. Met een blauwe lijn is aangegeven bij welke RV/temperatuur combinatie de VPD op 0,8 zit. Met een paarse lijn is aangegeven bij welke RV/temperatuur combinatie de VPD op 1.2 zit.



In december 2003 en januari 2003 zijn de RV en temperatuur gedurende de hele dag zo, dat de fotosynthese niet beperkt wordt door een te hoge VPD. De VPD blijft dan continu onder de 0.8 kPa. In februari en maart is al gedurende 4-5 uur van de dag de VPD boven de 0.8 kPa, maar nog steeds onder de 1.2 kPa. In april en mei komt gedurende een behoorlijk aantal uren van de dag de VPD boven de 0.8 kPa en zelfs gedurende een aantal uren boven de 1.2kPa. Tijdens deze uren wordt volgens de fotosynthese metingen de fotosynthese beperkt vanwege het gedeeltelijk sluiten van huidmondjes. Belichten tijdens deze uren zal dan minder fotosynthese opleveren.

Met name als de RV onder de 60% zakt en de temperatuur boven de 25 graden is, verminderd de fotosynthese las gevolg van het sluiten

6.4 Sapstroom

De sapstroom door de plant is gemeten met Growlabs. Het vergelijken van absolute waarden van de sapstroom is niet interessant, omdat de hoogte van het sapstroom signaal niets zegt over de hoogte van de sapstroom. Je kunt alleen zien of de sapstroom toeneemt of afneemt ten opzichte van de vorige meetwaarde.

Wel is het volgen van het verloop over de dag interessant. Indien de sapstroom afneemt, is dit een teken dat de plant minder verdampt. De CO₂ opname is gekoppeld aan water en zuurstof afgifte. Bij minder sapstroom, zal de plant dan ook minder uitwisseling van CO₂ hebben. De gradiënt voor waterdamp is ongeveer 10 g H₂O m⁻³. De gradiënt voor CO₂ is slechts 0.6 g CO₂ m⁻³.

In dit onderzoek is de sapstroom gedurende de dag niet verder geanalyseerd. In vervolg onderzoek kan dit interessant zijn.

7 Rekenen met groeimodel

In dit onderzoek zijn gedurende een aantal dagen fotosynthese metingen verricht aan het gerbera gewas. Hiermee hebben we een eerste indruk gekregen van het effect van licht, CO₂, temperatuur en RV op de fotosynthese. De fotosynthesecapaciteit past zich echter aan wanneer de omstandigheden zich over langere tijd wijzigen. Jaarrond meten is daarom belangrijk.

Fotosynthesemetingen kunnen worden vertaald in de productie van drogestof. Deze drogestof wordt verdeeld over blad, stengel, wortel en bloem. Samen met de verdeelsleutel over deze organen bepaalt de fotosynthese dus de economische opbrengst. Met gewasgroeimodellen en een goede registratie van kasklimaat omstandigheden, kan een berekening worden gemaakt van de economische opbrengst over de seizoenen. Daarnaast kan de rentabiliteit van maatregelen zoals assimilatiebelichting worden berekend.

8 Conclusies en aanbevelingen

Conclusies gewasmetingen:

1. De productie nam vooral toe van onbelicht naar 5000 lux. Zowel bij grootbloemige als bij kleinbloemige cultivars werd jaarrond een extra productie van 17% gerealiseerd. Verhoging van 5000 lux naar 7500 lux leverde vervolgens nog eens 5% extra productie op en verhoging van 7500 lux naar 10000 lux tenslotte nog eens 7-9% extra productie.
2. Zowel in 2001 als in 2002 werd vanaf week 42 op de onbelichte meetvelden minder bloemen geoogst ten opzichte van de belichte meetvelden. Dit beeld was zowel bij de grootbloemige als bij de kleinbloemige cultivars te zien. Vanaf week 6 nam het aantal geoogste bloemen op de onbelichte meetvelden vervolgens weer snel toe, en vanaf ongeveer week 14 lag de productie op de onbelichte meetvelden weer bijna gelijk aan het aantal geoogste bloemen op de belichte meetvelden.
3. Bij grootbloemige cultivars varieerde de productie onbelicht tussen de grootbloemige cultivars van 212 stuks/m²/jaar (Dino) tot 320 stuks/m²/jaar (Bianca). De extra productie op belichte meetvelden was hoger bij rassen die onbelicht ook al een hoge productie gaven.
4. Bij kleinbloemige cultivars varieerde de productie onbelicht tussen 320 stuks/m²/jaar (Sardana) tot 562 stuks/m²/jaar (Illusion). De extra productie op belichte meetvelden was hoger bij rassen die onbelicht ook al een hoge productie gaven.
5. Naast extra bloemen, werden door belichting de bloemen ook zwaarder. Het bloemgewicht was in week 50(2001) en week 1 en 4 (2002) op de belichte meetvelden met 10.000 lux bijna 30% hoger dan op de onbelichte meetvelden. Vooral de grootbloemige cultivars werden zwaarder. De bloemen werden langer en hadden een dikkere steel.
6. Het drogestof% de scheuten en bladeren (exclusief wortels en niet van de bloemen) was aan het einde van de belichtingsproef gemiddeld 13,5%. Het drogestof% van de bloemen is niet bepaald
7. Tijdens het belichtingsonderzoek is niet in kaart gebracht hoe de aanleg en ontwikkeling van bladeren en bloemen zich in een gerberaplant ontwikkelt en hoe rassen hierin verschillen. Ook is niet in kaart gebracht hoe de assimilaten verdeeld zijn over de groeiende delen zoals bladeren, bloemen en wortels. Op het oog is echter al duidelijk dat de rassen hierin verschillen.
8. Door uitval van planten, is de productie op sommige meetvelden verstoord.
9. Door het optimaliseren van het klimaat (vocht, CO₂ e.d.) en door het optimaliseren van het teeltsysteem zal de productie bij belichting nog verder toe kunnen nemen.

Conclusies fotosynthese metingen:

De conclusies ten aanzien van de fotosynthese metingen zijn gebaseerd op 4 dagen meten in februari en mei 2003. Omdat de plant zich continu aanpast aan de omstandigheden waaronder deze groeit, zullen onderstaande conclusies ook in andere delen van het jaar bevestigd moeten worden.

1. Gerbera gedraagt zich bij lage lichtintensiteiten als een schaduwplant maar lijkt daarnaast tolerant voor relatief hoge lichtintensiteiten tot 350 micromol PAR (ongeveer 200 Watt globaal buiten).
2. Bij de Gerbera bladeren is over het algemeen een hoge fotosynthese gemeten. Bij Cream Eye, Ferrari en Bianca liet de fotosynthese activiteit, gemeten bij een lichtniveau variërend van 0-1000 μmol parlicht en een CO₂ gehalte van 400 ppm het volgende verloop zien:
 - a. Boven 28 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PAR licht was de fotosynthese groter dan de dissimilatie.
 - b. Vervolgens nam tot aan een lichtniveau van 90 tot 120 μmol PAR licht de fotosynthese bijna lineair toe. Dit komt overeen met 7.500 tot 10.000 lux belichting met SON-T lampen, let op inclusief daglicht.
 - c. Boven de 160 μmol PAR licht nam de fotosynthese veel minder toe.
3. Bijbelichten heeft grootste effect tot 5000-7500 lux daarboven is het rendement waarschijnlijk gering.
4. De fotosynthese vertoont een grote variatie tussen rassen.
5. Het relatieve chlorofylgehalte wisselde sterk per ras maar nam gemiddeld over de rassen toe met meer bijbelichting. Een hoog chlorofylgehalte betekent dat er veel licht geabsorbeerd kan worden en er dus veel energie vastgelegd kan worden voor het assimilatie proces. Het hoeft echter niet te betekenen dat zulke bladeren ook een hoge gemiddelde fotosynthese hebben. In veel gevallen hebben bladeren die aan hoog licht zijn geacclimatiseerd een laag chlorofyl gehalte en een hoge fotosynthese bij hoog licht.
6. Er is in de vroege ochtend een geleidelijke toename en in de namiddag een afname van de productiviteit.
7. Vanuit het donker duurt het bij een gerberaplant minimaal 16 minuten voordat de fotosynthese goed op gang komt.
8. Gerbera bladeren hebben een hoge geleidbaarheid. De kans op bladverbranding door teveel licht lijkt bij Gerbera klein tot een lichtniveau van 1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PAR licht. De qN (nonfotochemical quenching van de fluorescentie) was bij dit lichtniveau 0.7-0,8, een grens waarvan kan worden aangenomen dat er geen bladverbranding ontstaat.
9. De fotosynthese reageert zeer positief op CO₂. Het effect van CO₂ op de fotosynthese was in februari echter anders dan in mei.
 - a. In februari verdubbelde de fotosynthese van 8.1 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ bij 200 ppm tot 17.3 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ bij 400 ppm. Boven de 400 ppm nam de fotosynthese echter nauwelijks meer toe. Boven de 600 ppm was zelfs een afname van de fotosynthese activiteit te zien.
 - b. In mei verdubbelde bij hoge lichtniveau's (1200 μmol PAR) de fotosynthese bijna van 17.8 μmol bij 400 ppm tot 28.1 μmol bij een verdubbeling van de CO₂ concentratie naar 800 ppm. Het lijkt er op dat het optimum voor de CO₂ concentratie in het voorjaar hoger is dan in de

- winter. Deze conclusie is echter op een zeer beperkt aantal metingen gebaseerd.
- c. Waarom in februari de plant minder goed reageert op CO₂ concentraties boven de 400 ppm is niet onderzocht. Mogelijk is een andere groeifactor beperkend geweest, waardoor de assimilaten niet optimaal benut werden, wat weer een terugkoppeling heeft op de fotosynthese.
10. De veranderingen in fotosynthese lijken samen te gaan met de openingstoestand van de huidmondjes.
 11. Ook het vochtgehalte rond om de plant heeft invloed op de fotosynthese. De fotosynthese was lager bij een VPD van 1.2 kPa dan bij een VPD van 0.8 kPa. Met name bij hogere lichtniveau's boven 50 $\mu\text{mol PAR}$ werden de verschillen in fotosynthese groter. Bij 500 $\mu\text{mol PAR}$ was de fotosynthese bij 1,2 kPa nog maar de helft ten opzichte van de fotosynthese bij 0,8 kPa.
 12. Met name boven 50 $\mu\text{mol PAR}$ licht in combinatie met een kastemperatuur boven 20 graden kastemperatuur, en een RV onder de 70% wordt de fotosynthese beperkt vanwege een te hoge VPD. Deze situatie kan al in februari ontstaan.
 13. Analyses van de relatie tussen fotosynthese en bladtemperatuur leidden tot de voorlopige conclusie dat het optimum tussen 25 en 28 graden ligt. Het temperatuur optimum is hoger bij hoge lichtintensiteiten dan bij lage lichtintensiteiten.

Conclusies plantmonitor metingen:

1. In december 2003 kwam het lichtniveau onbelicht amper boven de 100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PAR uit. Belichting met 5000 lux, gaf in december 82% extra licht, belichting met 7500 lux gaf 125% extra licht en belichting met 10.000 lux gaf 229% extra licht.
2. Tijdens de uren dat in december belicht wordt, kwam het totale lichtniveau (buitenlicht + lamplicht) bij de plant nauwelijks boven de 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PAR licht. Tijdens alle uren dat belicht werd, kon het extra licht bijna rechtlijnig extra fotosynthese opleveren.
3. In maart was het licht van buiten al behoorlijk toegenomen, waardoor het aandeel lamplicht snel afnam. Al na 8.30 uur kwam het lichtniveau boven de 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PAR. Na 16.30 uur zakte het lichtniveau weer onder de 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PAR.
4. Doordat vanwege de daglengte alleen tussen 7.00 uur en 18.00 uur belicht wordt, waren er in maart weinig uren waarbij het lichtniveau zonder belichting onder de 200 $\mu\text{mol PAR}$ bleef steken. De lichtsom buitenlicht + lamplicht kwam daardoor ruim boven de 200 $\mu\text{mol PAR}$, waardoor het lamplicht niet meer rechtlijnig extra assimilaten opleverden. In verhouding gaf een uur belichten in maart dus minder extra fotosynthese.
5. De ruimtetemperatuur was in de nacht in januari 2003 op het meetveld met 10.000 lux gelijk aan de temperatuur van het onbelichte meetveld. Nadat de belichting aan ging, nam de temperatuur snel toe tot ongeveer 20 –21 graden. Dit is 1,2 tot 2 graden hoger dan de kastemperatuur op het onbelichte meetveld.
6. De bladtemperatuur was op het meetveld met 10.000 lux tijdens de nacht in januari 2003 gelijk aan de omgevingstemperatuur. Tijdens het belichten was de

bladtemperatuur ongeveer 0,4 – 0,7 graden lager dan de omgevingstemperatuur. Ten opzicht van het onbelichte meetveld was de bladtemperatuur op het belichte meetveld hoger, in de nacht ongeveer 0,7 graden en overdag 1,3 tot 2,6 graden hoger.

7. In mei 2003 was de minimum kasttemperatuur op het meetveld met 10.000 lux in de nacht 17.4 graden. Dit is 1,0 graad hoger dan in januari. De kasttemperatuur nam overdag toe tot bijna 26 graden. Dit is 6,0 graden hoger dan in januari 2003. De bladtemperatuur bleef in mei overdag onder de kasttemperatuur, in de nacht lag de bladtemperatuur net iets boven de kasttemperatuur. De bladtemperatuur was in mei op het warmst van de dag 3,5 tot 4 graden hoger dan in januari. De potttemperatuur liet in mei eenzelfde verloop over de dag zien als in januari. De potttemperatuur ligt echter 2,5 – 3,1 graad hoger dan in januari.
8. Met name boven 50 μmol PARlicht in combinatie met een kasttemperatuur boven 20 graden kasttemperatuur, en een RV onder de 70% wordt de fotosynthese beperkt vanwege een te hoge VPD. In december 2003 en januari 2003 kwamen deze omstandigheden nog niet voor. In februari en maart kwam de VPD al gedurende 4-5 uur van de dag boven de 0.8 kPa, maar nog steeds onder de 1.2 kPa. In april en mei kwam gedurende een behoorlijk aantal uren van de dag de VPD boven de 0.8 kPa en zelfs gedurende een aantal uren boven de 1.2kPa. Tijdens deze uren wordt volgens de fotosynthese metingen de fotosynthese beperkt vanwege het gedeeltelijk sluiten van huidmondjes. Belichten tijdens deze uren zal dan minder fotosynthese opleveren.
9. De sapstroom door de plant is niet geanalyseerd. Het vergelijken van absolute waarden van de sapstroom is in dit onderzoek niet interessant, omdat de hoogte van het sapstroom signaal niets zegt over de hoogte van de sapstroom. Je kunt alleen zien of de sapstroom toeneemt of afneemt ten opzichte van de vorige meetwaarde. Indien de sapstroom afneemt, is dit een teken dat de plant minder verdampt. De CO₂ opname is gekoppeld aan water en zuurstof afgifte. Bij minder sapstroom, zal de plant dan ook minder uitwisseling van CO₂ hebben. De gradiënt voor waterdamp is ongeveer 10 g H₂O m⁻³. De gradiënt voor CO₂ is slechts 0.6 g CO₂ m⁻³.

Aanbevelingen vervolgonderzoek:

1. In vervolgonderzoek is het zinvol om te bekijken hoe de verdeling van assimilaten plaats vindt bij verschillende rassen. Om de beschikbare assimilaten zoveel mogelijk om te zetten in extra productie, is het ook zinvol om te achterhalen hoe deze verdeling van assimilaten te sturen is. Indien te veel bladeren gevormd worden, dan gaan hierdoor assimilaten in overbodig aangelegd blad zitten en kost dit ook nog eens assimilaten voor extra onderhoud van dit blad. Indien te weinig assimilaten naar blad gaan, dan zou dit ten koste kunnen gaan van het assimilerend vermogen, waardoor niet de optimale hoeveelheid assimilaten per m² geproduceerd worden.
2. De conclusies ten aanzien van de fotosynthese metingen zijn gebaseerd op 4 meetdagen, 2 in februari en 2 in mei 2003. Omdat de plant zich continu aanpast aan de omstandigheden waaronder deze groeit, zullen onderstaande conclusies ook in andere delen van het jaar bevestigd moeten worden.

3. Het is zinvol om de reactie van CO₂ op de fotosynthese uitgebreider te meten. Het effect van verhoging van 400 naar 800 ppm is bijna even groot als het effect van verhoging van 300 μ mol PAR naar 1200 μ mol PAR bij 400 ppm CO₂.
4. Het is zinvol om de reactie van vocht op de fotosynthese uitgebreider te meten. Gedurende een groot deel van het jaar groeit de gerberaplant onder omstandigheden waarbij de VPD beperkend lijkt te zijn voor een optimale fotosynthese.
5. Indien bij vervolgonderzoek naar fotosynthese weer gemeten wordt met plantsensoren, dan is het voor het volgen van de fotosynthese ook noodzakelijk dat de CO₂ concentratie rondom de plant gemeten wordt.
6. Groeimodellen kunnen een zinvolle aanvulling zijn om effecten van teeltstrategieën door te rekenen. Hierbij kunnen gegevens uit fotosyntheseonderzoek gebruikt worden voor het berekenen van de verwachte drogestof productie. Gegevens over drogestof verdeling kunnen gebruikt worden bij het berekenen van de omzetting van extra drogestof naar extra productie.

Literatuur lijst

Referenties ten aanzien van de fotosynthese metingen:

- Baker, N.R. and Horton, P. (1987) Chlorophyll fluorescence quenching during photoinhibition. In: Kyle, D.J., Osmond, C.B. and Arntzen, C.D. (eds). *Photoinhibition*, pp 145-168. Amsterdam: Elsevier Science Publ. Comp.
- Bilger, W., U. Schreiber, & O.L. Lange, 1985. Chlorophyll fluorescence as an indicator of photosynthesis in *Arbutus unedo*. *Proceedings NATO advanced Research Workshop*, p. 1-8.
- Bradbury, M. & N.R. Baker, 1983. Analysis of the induction of chlorophyll fluorescence in intact leaves and isolated thylakoids: contributions of photochemical and non-photochemical quenching. *Proceedings Royal Society London B* 220: 251-264.
- Bradford, K.J. & T.C. Hsiao, 1982. Physiological responses to moderate water stress. In: *Encyclopedia of Plant Physiology, New Series*. 12B:264-324. Springer, Berlin.
- Bruin de, H.A.R., 1988. Evaporation and weather. *Proceedings and information* 39: 5-14.
- Caemmerer, S. von, & G.D. Farquhar, 1981. Some relations between the biochemistry of photosynthesis and the gas exchange of leaves. *Planta* 153: 376-387.
- Cornic, G., J.L. Prioul & G. Louason, 1983. Stomatal and non-stomatal contribution in the decline in leaf net CO₂ uptake during rapid water stress. *Physiologia Plantarum* 58:295-300.
- Duysens, L.N.M. and Ames, J. (1962) *Biochim. Biophys. Acta* 64 243-2..
- Farquhar, G.D. & T.D. Sharkey, 1982. Stomatal conductance and photosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology* 33: 317-345.
- Genty, B., Harbinson, J., Briantais, J.-M. and Baker, N.R. (1990). The relationship between non-photochemical quenching of chlorophyll fluorescence and the rate of photosystem 2 photochemistry in leaves. *Photosynthesis Research*. 25, 249-257.
- Goudriaan, J., 1977. *Crop micrometeorology: a simulation study*. Simulation Monographs, Pudoc, Wageningen, 249 pp.
- Harbinson, J. and Hedley, C.L., (1989). The kinetics of P-700⁺ reduction in leaves: in situ probe of thylakoid functioning. *Plant Cell Environment* 12: 357-369.
- Harbinson, J., B. Genty and N.R. Baker, (1989). Relationship between the quantum efficiencies of photosystem I and II in pea leaves. *Plant Physiol.* 90, 1029-1034.
- Harbinson, J., Genty, B. and C.H. Foyer, (1990) Relationship between photosynthetic electron transport and stromal enzyme activity in pea leaves. *Toward an understanding of the nature of photosynthetic control*. *Plant Physiol.* 94, 545-553.
- Havaux, M. & R. Lannoye, 1985. In vivo chlorophyll fluorescence and delayed light emission as rapid screening techniques for stress tolerance in crop plants. *Zeitschrift fur Pflanzenzuchtung* 95: 1-13.
- Krause, G.H., J.M. Briantais, & C. Verrotte, 1982. Photoinduced quenching of chlorophyll fluorescence in intact chloroplasts and algae. Resolution into two components. *Biochimica Biophysica Acta* 679: 116-124.
- Ornstein, L.S. Wassink, E.C., Reman, G.H. and Vermeulen, D. (1938). *Enzymology* 5, 110-120
- Schapendonk, A.H.C.M., Dolstra, O. and van Kooten, O. (1989) The use of chlorophyll fluorescence as a screening method for cold tolerance in maize. *Photosynthesis Research* 20:235-247.
- Schapendonk, A.H.C.M., C.J.T. Spitters and Groot, P.J. (1989) Effects of water stress on photosynthesis and chlorophyll fluorescence of five potato cultivars. *Potato Research* 32, 17-32.
- Schapendonk, A.H.C.M., van der Putten, P.E.L., Tonk, W.J.M., Dolstra, O. and S.R. Haalstra. (1991). Chlorophyll fluorescence: a non-destructive method for detecting damage in the photosynthetic apparatus in plants. (1992) *Acta Horticulturae* 304, 61-76.
- Schapendonk, A.H.C.M. 1986. Chlorophyll fluorescence: A method for testing drought resistance in plants. *Proceedings on Drought resistance in plants. Physiological and genetic aspects*, p. 265-276. EEC report Eur 10700 EN.

- Schreiber, U., U. Schliwa & W. Bilger 1985. Continuous recording of photochemical and non-photochemical chlorophyll fluorescence quenching with a new type of modulated fluorometer. *Photosynthesis Research* 10:303-308.
- Vredenberg, W.J. Spectrophotometric studies on primary and associated reactions in photosynthesis. (1965). Thesis
- Wong, S.C., I.R. Cowan & G.D. Farquhar, 1985. Leaf conductance in relation to rate of CO₂ assimilation. III Influences of water stress and photoinhibition. *Plant Physiology* 78: 830-834.