

Belichting, CO₂ en stuurlicht in de lelieteelt: een strategie voor energiebesparing



Mei 2014

S.W. Hogewoning, G. Trouwborst, G. Sloopweg, J.T.M. van Aanholt, C.S. Pot en B.J. Kok

Belichting, CO₂ en stuurlicht in de lelieteelt: een strategie voor energiebesparing

Mei 2014

S.W. Hogewoning¹, G. Trouwborst¹, G. Slootweg², J.T.M. van Aanholt², C.S. Pot³ en B.J. Kok⁴

¹Plant Lighting B.V.
Veilingweg 46
3981 PC Bunnik
info@plantlighting.nl
+31 (0)30 751 20 69

²PPO, Bloembollen, Boomkwekerij en Fruit
Professor van Slogterenweg 2
2161 DW Lisse

³Plant Dynamics B.V.
Koningin Julianastraat
6668 AG Randwijk

⁴DLV plant
Weeresteinstraat 10
2181 GA Hillegom

REFERAAT

S.W. Hogewoning, G. Trouwborst, G. Slootweg, J.T.M. van Aanholt, C.S. Pot en B.J. Kok. 2014. Belichting, CO₂ en stuurlicht in de lelieteelt: een strategie voor energiebesparing. Plant Lighting B.V., Bunnik. 42p.

PT projectnummer: 14893



Ministerie van Economische Zaken

Uw sector investeert in dit project via het Productschap  Tuinbouw

Valoya

© 2014 Plant Lighting B.V.

Dit rapport is tot stand gekomen in samenwerking met het ministerie van Economische Zaken en het Productschap Tuinbouw in het kader van het programma Kas als Energiebron, ter stimulering van energiebesparende maatregelen in de tuinbouw. De resultaten mogen vrij gebruikt worden, mits de bronnen worden vermeld.

Plant Lighting B.V. is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen als gevolg van gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Inhoudsopgave

SAMENWERKENDE PARTIJEN	5
SAMENVATTING.....	6
DANKWOORD.....	8
1 INLEIDING EN DOELSTELLINGEN	9
1.1 Inleiding.....	9
1.2 Assimilatielicht	10
1.3 Stuurlicht en stengelstrekking	10
1.4 Stuurlicht en trekduur.....	11
1.5 Doelstellingen.....	14
2 MATERIAAL EN METHODEN.....	15
2.1 Behandelingen.....	15
2.2 Plantmateriaal en teelt	16
2.3 Klimaatsturing	16
2.4 Plattegrond en gebruikte lichtspectra.....	17
2.5 Metingen.....	19
3 RESULTATEN EN DISCUSSIE	21
3.1 Klimaat 1 ^e en 2 ^e trek.....	21
3.2 Fotosynthese-metingen.....	24
3.3 Oogstwaarnemingen 1 ^e en 2 ^e trek.....	28
3.4 Discussie	37
4 CONCLUSIES.....	40
REFERENTIES.....	41

Samenwerkende partijen



Samenvatting

Inleiding

In de lelieteelt wordt langdurig belicht met een aanzienlijke intensiteit SON-T licht (6000-8000 lux ofwel $\sim 78-104 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$). Dit heeft een fors energieverbruik tot gevolg. Het doel van de belichting is (1) zwaardere takken, (2) remming van takstrekking (voorkomen slapheid), (3) verkorting van de teeltduur en (4) voorkomen van knopval en knopverdroging.

CO₂ dosering wordt niet toegepast in de lelieteelt. Eerder onderzoek van PPO heeft namelijk aangetoond dat CO₂-dosering geen effect heeft op het takgewicht van Oriëntal-lelies en slechts een klein effect bij Longiflorums, Aziaten en LA-hybriden. Recent onderzoek door Plant Lighting en Plant Dynamics heeft echter aangetoond dat de fotosynthese van Oriëntals flink toeneemt bij aanvullend CO₂. Dit is een schijnbare tegenstelling: Wel meer fotosynthese, maar niet meer takgewicht. Echter, mogelijk heeft lelie slechts een beperkte hoeveelheid assimilaten nodig voor een maximaal takgewicht en gaan extra aangemaakte assimilaten naar de bol. Als dat zo is, dan heeft CO₂ dosering inderdaad geen zin bij voldoende belichting, maar wél bij lagere lichtniveaus. Daarom ligt aan dit onderzoek de volgende hoofdhypothese ten grondslag:

Bij een suboptimale intensiteit belichting kan met CO₂ dosering eenzelfde takgewicht gerealiseerd worden als bij een optimale lichtintensiteit zonder CO₂ dosering.

Met andere woorden: Door CO₂ te doseren kan minder worden belicht. Uit de eerdere fotosynthesemetingen bleek dat $60 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ licht bij 800 ppm CO₂ een even hoge fotosynthese-snelheid geeft als bij $90 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ licht bij 400 ppm CO₂. Dus lijkt het mogelijk om in de lelieteelt met behulp van CO₂ dosering fors op elektra te kunnen besparen.

Omdat belichting met een hoge intensiteit SON-T de strekking remt, is rekening gehouden met het risico op langer, slappere takken door een lagere intensiteit belichting. Vandaar dat tevens de volgende subhypothese is beproefd:

Belichting met een lagere intensiteit LED-licht van de juiste spectrale samenstelling zou even sterk strekkingsremmend moeten werken als een hogere intensiteit SON-T belichting.

Op basis van literatuuronderzoek lijkt een combinatie van rood en blauw LED licht met een relatief hoog percentage blauw geschikt om de strekking te remmen. Echter, het ontbreken van verrode golflengten in een dergelijk kleurenspectrum geeft het risico op bloeivertraging, door onvoldoende activering van fytochroom A. Lelie is immers een kwantitatieve lange-dag plant, die sneller gaat bloeien bij een lange fotoperiode. Sommige lange-dag planten hebben een zekere dosis verrode golflengten nodig om de bloeisnelheid te stimuleren. Vandaar dat ook deze subhypothese is beproefd:

Belichting met gecombineerd rood/blauw LED-licht kan bij lelie bloeivertraging geven, hetgeen is te voorkomen met een kleurenspectrum dat fytochroom A activeert.

Tevens wordt beproefd of eenzelfde kwaliteit haalbaar is bij 4 uur minder assimilatielicht zonder CO₂ dosering. Minder daglengte zou de trekduur wel kunnen verlengen. Dit kan mogelijk gecompenseerd worden door een lage intensiteit stuurlicht gedurende die 4 uur.

Proefopzet

De proeven vonden plaats in twee onderzoekskassen van ieder 144 m². In één kas werd 450 ppm CO₂ gehanteerd en in de andere kas 800 ppm CO₂. De kassen waren gesplitst in verschillende compartimenten om verschillende belichtingsbehandelingen mogelijk te maken. In ieder compartiment werden drie cultivars onderzocht: Santander (Oriëntal), Robina (OT) en Brindisi (LA). De proef is tweemaal uitgevoerd, met de teeltwissel rondom de kortste dag.

Behandelingen die gedurende twee achtereenvolgende trekturen zijn uitgevoerd.

	Behandeling	Lichtintensiteit ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	CO ₂ (ppm)	Stuurlicht-doel	Verbruik elektra
1	SON-T 90 (Controle)	16 uur * 90	450		100%
2	SON-T 60 + CO ₂	16 uur * 60	800		67%
3A	LED blauw/rood + CO ₂	16 uur * 60	800	compactheid	~67%
3B	LED breedband ('wit') + CO ₂	16 uur * 60	800	bloeisnelheid	~67%
4A	SON-T 90 kort, met stuurlicht*	12 uur * 90	450	bloeisnelheid	~77%
4B	SON-T 90 kort, zonder stuurlicht	12 uur * 90	450		75%

*) Na uitschakelen SON-T nog 4 uur lage intensiteit ($10 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) LED stuurlicht

Samenvattende conclusies

Doel: Minder belichten met behoud van kwaliteit:

- Gelijke prestatie lelietrek bij $60 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ SON-T + CO₂ t.o.v. $90 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ SON-T: Door CO₂-dosering blijkt dus een forse energiebesparing mogelijk!
- SON-T 90 kort (12 uur belicht, geen CO₂ dosering, met of zonder aanvullend stuurlicht): In de eerste trek net wat minder stevige takken en de bollen waren verder leeggezogen; in de 2e trek nauwelijks verschil met de controle. Met CO₂ dosering zou deze behandeling waarschijnlijk wel succesvol geweest zijn. Zo zou direct electriciteit kunnen worden bespaard, zonder aanpassing aan de bestaande belichtingsinstallatie.

Doel: Voorkomen overmatige strekking:

- LED blauw/rood (behandeling 3A) geeft niet de beoogde lengtereductie en extra takstevigheid. Waarschijnlijk komt dit door de forse bloeivertraging die zich voordeed bij dit lightspectrum (behalve bij de LA Brindisi).

Doel: Voldoende teeltsnelheid behouden:

- Bij de toepassing van LED als groeilicht is het kleurenspectrum cruciaal voor de trekduur (behalve voor LA Brindisi). Standaard rood/blauwe LED's voldoen niet, LED breedband ('wit') leidt wel tot voldoende teeltsnelheid.
- De verlenging van de dag bij de behandeling SON-T 90 kort (12 uur belicht) tot 16 uur met $10 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ LED stuurlicht (behandeling 4A) verkorte de trekduur wel iets, maar het effect lijkt te marginaal voor praktijktoepassing.

Verder viel bij de houdbaarheidsproeven op dat de behandeling LED blauw/rood eerder bladvergelting gaf, mogelijk vanwege minder gibbereline-aanmaak in de plant.

Dankwoord

Dit rapport combineert de resultaten van twee tegelijk lopende onderzoeksprojecten, namelijk "Stuurlicht in de lelieteelt: Een strategie voor energiebesparing" en "Praktijkdemo energiebesparing door dagverlenging met LED in lelie". Beide projecten zijn ondersteund door het programma 'Kas als Energiebron', gefinancierd door het Ministerie van EZ en het Productschap Tuinbouw. Valoya heeft bijgedragen aan dit project met LED-lampen.

Dit onderzoek is gebaseerd op plant fysiologische principes, maar is qua uitvoering gericht op praktische toepassing. Uit het onderzoek zijn concrete resultaten naar voren gekomen. De auteurs hopen dat die resultaten ertoe leiden dat de lelieteelt stappen voorwaarts kan maken.

We willen een aantal personen nog met name hartelijk bedanken voor hun bijdrage en inzet: Fred van Leeuwen (WUR-Glastuinbouw) heeft de teelt goed verzorgd en is daarmee mede verantwoordelijk voor het slagen van dit project. Rob Pret, Piet Koornneef en de overige kas-medewerkers van WUR-Glastuinbouw worden bedankt voor het in orde maken van de belichting en het kasklimaat. De leliekwekers Fokke Galema, Kees van Paridon, Ruud van den Hoeven en Otto de Ruiters worden bedankt voor hun positief-kritische bijdrage in de BCO. Jan Barendse (LTO-GroeiService), dank voor het coördineren van de BCO en de open dagen. Gonçalo Neves and Lars Aikala from Valoya, thanks for your cooperation and support. Als laatste willen we de onderzoekskoördinatoren Dennis Medema en Leo Oprel van het programma Kas als Energiebron bedanken voor hun steun bij de totstandkoming van dit project.

Mei 2014,

Sander Hogewoning, Govert Trouwborst, Casper Slootweg, Hans van Aanholt, Sander Pot en Hans Kok

1 Inleiding en doelstellingen

1.1 Inleiding

In de lelieteelt wordt langdurig belicht met een aanzienlijke intensiteit SON-T licht (6000-8000 lux ofwel $\sim 78-104 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$). Dit heeft een fors energieverbruik tot gevolg. Het doel van de belichting is (1) zwaardere takken, (2) remming van takstrekking (voorkomen slapheid), (3) verkorting van de teeltduur en (4) voorkomen van knopval en knopverdroging. In de lelieteelt wordt geen CO₂ dosering toegepast.

Het fotosyntheseproces –normaliter de motor van de plant– vereist zowel licht als CO₂. Eerder onderzoek heeft aangetoond dat CO₂ doseren *geen* effect heeft op het takgewicht van Oriëntaal lelies en slechts 10% meer takgewicht geeft bij Aziaten en LA-hybriden (Slootweg et al, 2010). Recent onderzoek toont overtuigend aan dat CO₂ doseren tot zo'n 800 ppm de fotosynthese van Oriëntals *wel* aanzienlijk verhoogd (Trouwborst *et al.*, 2013). Hierdoor zou de –merkwaardige– conclusie getrokken kunnen worden dat de fotosynthese dus weinig effect heeft op het takgewicht van lelie. Dat zou dus betekenen dat de voor de tak benodigde energie vrijwel alleen uit de bol komt. Bij tulp is bekend dat vrijwel alle energie uit de bol komt, maar voor lelie is dit gezien de zwaarte van de tak onwaarschijnlijk. Logischer lijkt te zijn dat SON-T belichting functioneert als *assimilatielicht* voor de aanmaak van voldoende suikers voor de tak- en knopontwikkeling. Er is een grens aan de hoeveelheid assimilaten die een lelie nodig heeft om een maximaal takgewicht te bereiken. Omdat het aantal knoppen al vast ligt bij aanvang van de teelt, worden extra aangemaakte suikers mogelijk geïnvesteerd in de bol (=afval in de leliebroei). Als dat zo is, dan heeft CO₂ dosering inderdaad geen zin bij voldoende belichting, maar wél bij lagere lichtniveaus. Daarom ligt aan dit onderzoek de volgende hoofdhypothese ten grondslag:

Bij een suboptimale intensiteit belichting kan met CO₂ dosering eenzelfde takgewicht gerealiseerd worden als bij een optimale lichtintensiteit zonder CO₂ dosering.

Daarnaast heeft SON-T z'n functie als *stuurlicht* (remming lengtegroei en trekduurverkorting). Met een lagere intensiteit belichting ontstaat mogelijk teveel lentegroei en minder stevigheid. Vandaar dat tevens de volgende subhypothese is beproefd:

Belichting met een lagere intensiteit LED-licht van de juiste spectrale samenstelling zou even sterk strekkingsremmend moeten werken als een hogere intensiteit SON-T belichting.

Op basis van literatuuronderzoek lijkt een combinatie van rood en blauw LED licht met een relatief hoog percentage blauw geschikt om de strekking te remmen (zie 1.3). Echter, het ontbreken van verrode golflengten in een dergelijk kleurenspectrum geeft het risico op bloeivertraging (zie 1.4). Vandaar dat ook deze subhypothese is beproefd:

Belichting met gecombineerd rood/blauw LED-licht kan bij lelie bloeivertraging geven, hetgeen is te voorkomen door gebruik van een kleurenspectrum dat fytochroom A activeert.

Tevens wordt beproefd of eenzelfde kwaliteit haalbaar is bij 4 uur minder assimilatielicht zonder CO₂ dosering. Minder daglengte zou de trekduur wel kunnen verlengen. Dit kan mogelijk gecompenseerd worden door een lage intensiteit stuurlicht gedurende die 4 uur.

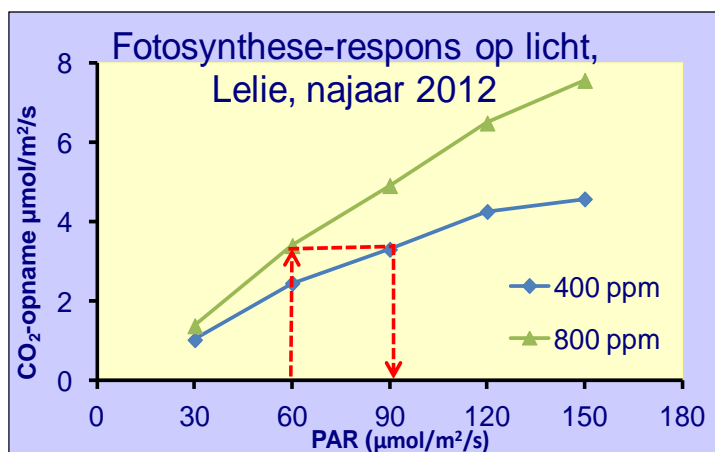
Leeswijzer

Het rapport is als volgt opgebouwd:

- In de volgende paragrafen worden de samenhang tussen CO₂ en assimilatielicht (1.2), het effect van licht op lengtegroei (1.3) en teeltsnelheid (1.4), en vervolgens de doelstellingen (1.5) nader toegelicht.
- Hoofdstuk 2 omschrijft de onderzoeksmethoden.
- Hoofdstuk 3 geeft de resultaten en discussie.
- Hoofdstuk 4 bevat puntsgewijze conclusies.

1.2 Assimilatielicht

Assimilatielicht. Voor fotosynthese is zowel licht als CO₂ nodig. De fotosynthese kan dus verhoogd worden door meer licht en/of meer CO₂ te doseren (zie Figuur 1). Het is energetisch meestal veel zuiniger om aan de suikerbehoefte voor voldoende takgewicht en een goede knopontwikkeling te voldoen met minder belichting plus CO₂ dan met alleen veel belichting. Maar geeft minder belichting dan niet teveel strekking (zie hoofdstuk 1.3)?



Figuur 1. Grafiek lichtrespons Oriëntal Trompet lelie 'Robina' bij normaal (400ppm, blauwe lijn) en verhoogd CO₂-niveau (800 ppm, groene lijn). Met CO₂-dosering geeft 60 μmol/m²s licht (groene lijn) een even hoge fotosynthese-snelheid als 90 μmol/m²/s licht zonder CO₂-dosering (blauwe lijn). De data zijn afkomstig uit het project: 'Meer rendement uit belichting en CO₂-dosering' (Trouwborst et al. 2013a).

1.3 Stuurlicht en stengelstrekking

Stuurlicht met betrekking tot stengelstrekking. Stengelstrekking kan worden tegengegaan door middel van de juiste sturing op de fotoreceptoren. Fotoreceptoren zijn speciale pigmenten in

de plant die gevoelig zijn voor de spectrale samenstelling van licht, en op basis daarvan allerlei processen aansturen, waaronder strekking. Er zijn verschillende klassen fotoreceptoren, waaronder de cryptochromen en de fytochromen. De cryptochromen zijn vooral gevoelig voor licht in het UV en het blauwe golflengtegebied: Deze lichtkleuren zetten de cryptochromen aan tot het remmen van de aanmaak van planthormonen die de strekking stimuleren (zie o.a. Whitelam en Halliday, 2007). De fytochromen zijn sterk gevoelig voor licht in het rode en verrode golflengtegebied. Een hoge rood/verrood verhouding zet de fytochromen ook aan tot het remmen van de aanmaak van strekkingsstimulerende planthormonen. SON-T straalt slechts 5% blauw licht uit en ook niet de meest effectieve golflengten rood licht om het fytochrom met een minimum aan energie maximaal aan te sturen. Door middel van LED's met de juiste golflengten lijkt dus de stuurlichtfunctie van SON-T eenvoudig te verbeteren. Vervanging van een hoge intensiteit SON-T door een lagere intensiteit van het juiste LED-licht zou even sterk strekkingsremmend moeten werken. Het ligt voor de hand om te kiezen voor een combinatie van een aanzienlijk percentage blauwe golflengten en rode golflengten (geen verrood). Zo worden zowel de cryptochromen als de fytochromen gestuurd op remming van de strekking. In eerder onderzoek is ook al aangetoond dat een combinatie van blauw en rood LED-licht de strekking sterker remt dan SON-T licht (zie Figuur 2). De vraag is wel of met het sturen op kortere takken geen verlenging geeft van de trekduur. Zie hiervoor hoofdstuk 1.4.



Figuur 2. Lengterespons van chrysanthe onder invloed van lichtkleur. Foto afkomstig uit onderzoek 'Compacte planten door geïntegreerde groeiregulatie' (van Ieperen en Heuvelink, 2012).

1.4 Stuurlicht en trekduur

Stuurlicht met betrekking tot trekduur. Er is nog een derde aspect dat bij Lelie van belang is: De totale trekduur van bol tot oogstbare plant. Ook hier kan stuurlicht een rol spelen. Lelie is een zogeheten kwantitatieve 'lange-dag plant': door het aanhouden van een lange dag met het juiste lichtspectrum wordt de bloei met zo'n twee á drie weken versneld (Hendriks 1986 en Brooymans *et al.*, 1991). Over het algemeen wordt in de leliebroei een daglengte van 16 uur gehanteerd. Wat betreft kansen voor energiebesparing zijn er een aantal overwegingen:

- a. Vervanging van SON-T door een lagere intensiteit LED-belichting. In 1.2 is uiteengezet dat een lagere intensiteit belichting mogelijk geen verlies aan takgewicht oplevert door CO₂ te doseren. Het LED-licht fungeert hier dus als assimilatielicht. Door de LED-lampen met het juiste kleurenspectrum uit te rusten, zou er zodanig gestuurd moeten kunnen worden dat de trekduur niet langer wordt dan bij SON-T. Zo fungeert het LED-licht tevens als stuurlicht.
- b. Verlaging van het aantal uren belichting met SON-T aangevuld met een lage dosis LED-stuurlicht: Door historische ontwikkelingen wordt momenteel de SON-T lamp ingezet als dagverlenger. Mogelijk kan dit veel energie-efficiënter met een lage dosis stuurlicht, zonder dat de teeltduur langer wordt. Over het algemeen wordt er een daglengte van 16 uur gehanteerd. Om de gewenste teeltversnelling te bereiken, kunnen de laatste uren worden ingevuld door een zeer lage dosis stuurlicht (~10 μmol/m²/s) in plaats van de >85 μmol/m²/s SON-T die nu gangbaar is. Het is nog niet geheel duidelijk of bij het gemis een aantal uren assimilatielicht de takkwaliteit behouden blijft. Berekeningen met het beslismodel voor belichting en kasverwarming (Wildschut en Kok, 2007) wijzen uit dat 4 uur minder belichten gedurende een gemiddeld winterseizoen mogelijk zou moeten zijn zonder kwaliteitsverlies. Dit laatste is essentieel voor inpassing in de praktijk.

In 1.4.1 wordt de theoretische achtergrond van bloeisturing bij Lelie nader toegelicht.

1.4.1 *Achtergronden bloeisturing bij Lelie*

Lelie is een zogenaamde kwantitatieve lange-dag plant: Door een lange dag te geven wordt de bloei versterkt. In dit korte overzicht staan de volgende twee vragen centraal:

- Vraag 1: Hoe werkt bloeisturing bij een lange-dag plant?
- Vraag 2: Wat is een geschikt kleurenspectrum om bloei bij Lelie te vervroegen?

Hoe werkt bloeisturing bij een lange-dag plant?

Uit de literatuur blijkt dat er minstens twee typen lange-dag planten zijn (zie ook Figuur 3):

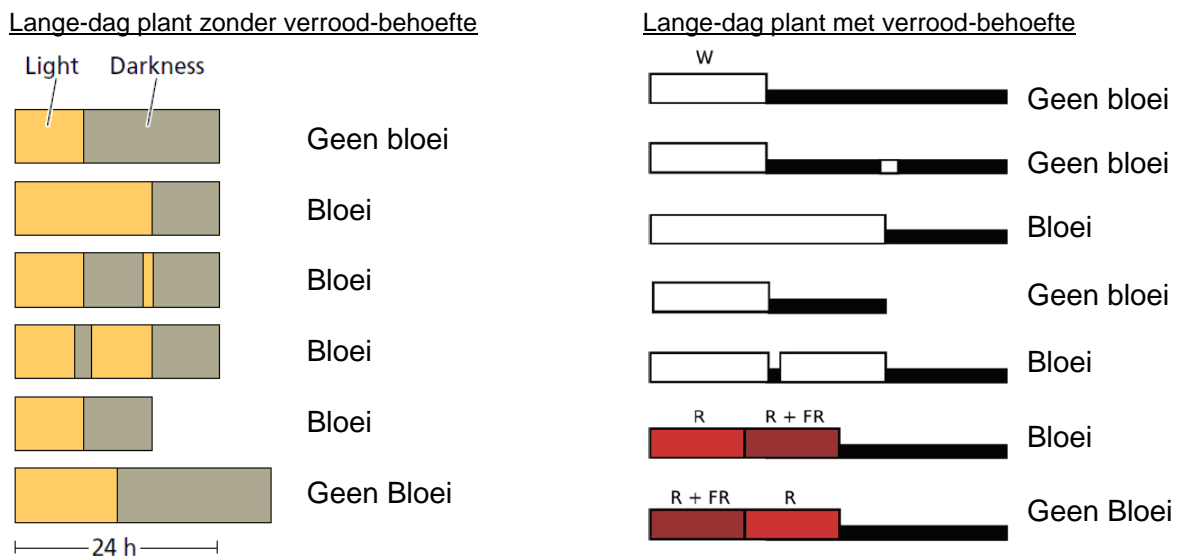
- Lange-dag plant zonder verrood behoefte
- Lange-dag plant met verrood behoefte

Deze verschillen tussen het wel of niet hebben van verrood behoefte lijkt veroorzaakt te worden door verschillende fytochroomsystemen. Bij planten die geen verrood nodig hebben, lijkt bloei gestimuleerd te worden door actief fytochroom B (door rood licht). Bij planten die wel verrood nodig hebben, remt actief fytochroom B de bloei juist, maar stimuleert actief fytochroom A de bloei. Voor meer uitleg over deze begrippen, zie Hogewoning *et al.*, 2013 en Trouwborst *et al.*, 2013b).

Bij Oriëntaal-lelies is aangetoond dat dagverlenging met een gloeilamp een veel groter effect heeft op teeltduurverkorting dan met een spaarlamp (Brooymans *et al.*, 1991). Op basis van de verschillende sturingsmechanismen op de bloei door de fytochromen (zie Trouwborst *et*

al., 2013b), is de verwachting dat dit komt doordat gloeilampen relatief veel, en spaarlampen nauwelijks verrode golflengten uitstralen. Daaruit zou volgen dat Oriëntal-lemies behoren tot de lange-dag planten met verrood behoefte. Mogelijk geldt dit niet voor Aziatische- en Longiflorum-hybriden: De trekduur van die lelie-groepen reageerde in eerder onderzoek niet op dagverlenging (Hendriks, 1986).

Volgens Lagercrantz (2009) hebben de meeste lange-dag planten verrood nodig aan het einde van de lichtperiode, om de lichtperiode als lange-dag te kunnen interpreteren en vervolgens te kunnen bloeien. Deze planten laten een ritme in gevoeligheid voor verrood zien over de dag. Vooral de laatste uren van de lichtperiode gelden als de 'gevoelige periode'. Dit is voor de kwantitatieve lange-dag plant Arabidopsis tot in detail uitgezocht. Hierbij speelt fytochroom A een sleutelrol. Een uitgebreide beschrijving van het werkingsmechanisme is weergegeven in het rapport Stuurlicht bij de tijd (Trouwborst *et al.*, 2013b).



Figuur 3. Bloei bij lange-dag planten bij verschillende dag- en nachtlengtes en nachtonderbrekingen. Bij lange-dag planten zonder verrood behoefte (linkerfiguur) kan een nachtonderbreking bij korte dag toch bloei geven (Bron: Taiz & Zeiger, 2010). Echter lange-dag planten met verrood-behoefte (rechterfiguur) bloeien niet bij nachtonderbreking en als de dag verlengd wordt met rood licht (Bron: Lagercrantz, 2009).

Wat is een geschikt spectrum om bloei bij Lelie te vervroegen?

Op grond van het feit dat Lelie een lange-dag plant is die sneller bloeit bij dagverlenging met gloeilampen, kan worden geconcludeerd dat Lelie een lange-dag plant is met verrood-behoefte. Dit geldt overigens voor Oriëntals en mogelijk niet voor Aziatische- en Longiflorum-hybriden. Preciezer geformuleerd: fytochroom A zal dus aangestuurd moeten worden om de gewenste bloeiversnelling te krijgen. Fytochroom A wordt het beste aangestuurd in de laatste uren van de dag. Om fytochroom A aan te sturen is er een specifieke combinatie van lichtkleuren nodig, met daarin voldoende verrode golflengten. Het risico is aanwezig dat Lelie bij enkele uren relatief veel verrood aan het einde van de dag te

veel kan gaan strekken. Een aantal eigenschappen aan het kleurenspectrum kunnen dit risico verminderen:

1. De PSS (phytochrome stationary state=fytochroombalans) zal zo hoog mogelijk moeten zijn. Bij voorkeur zal de PSS hoger liggen dan die van daglicht (PSS= ± 0.72). Om die hoge PSS te bereiken zal het kleurenspectrum een voldoende aandeel rode golflengten moeten hebben. Zie het rapport " Stuurlicht in de glastuinbouw: kansen voor energiebesparing" (Hogewoning et al, 2013) voor uitleg over het begrip PSS.
2. Het percentage blauw licht moet relatief hoog zijn om stengelstrekking via cryptochroomsturing (zie 1.3) te verminderen.

Op basis van deze eisen is er gezocht naar lampen die geschikt waren om te worden ingezet als (1) gecombineerd assimilatie- en stuurlicht ($\sim 60 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) ter vervanging van SON-T, en (2) als stuurlicht ($<10 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) bij een verminderd aantal uren SON-T belichting. De bijbehorende spectra zijn weergegeven in Figuur 6.

1.5 Doelstellingen

Hoofddoelstelling:

Aantonen of een 33% minder hoge intensiteit belichting door beperkt CO₂ te doseren tot een gelijke assimilatenproductie kan leiden. Dit zou dan moeten resulteren in een gelijk takgewicht en aantal ontwikkelde bloemen. Telers zouden zo fors op elektra voor belichting kunnen besparen.

Nevendoelstellingen:

- Voorkomen van teveel strekking takken bij een 33% lagere intensiteit belichting.
 - Minder licht kan strekking geven (hoog CO₂ leidt soms wel weer tot compactere planten).
 - Door belichting met een combinatie van blauw/rood LED licht wordt getracht compactheid sterker te stimuleren dan met de SON-T belichting.
- Voldoende teeltsnelheid behouden.
 - Minder stralingswarmte LED-licht en blauw/rood kleurenspectrum ter stimulering compactheid zijn mogelijk vertragend voor ontwikkeling en bloei.
 - Met een ander kleurenspectrum LED-licht wordt getracht voldoende teeltsnelheid te behouden.
- Minder belichten met behoud van takgewicht en aantal bloemen zonder CO₂ dosering.
 - Mogelijk is de assimilatenproductie bij 4 uren minder SON-T belichting al voldoende om takgewicht en kwaliteit te behouden.
 - Een mogelijk vertragend effect op trekduur wordt getracht te compenseren door 4 uren SON-T belichting te vervangen door een lage intensiteit stuurlicht ($\sim 10 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$).

2 Materiaal en methoden

2.1 Behandelingen

Op basis van de doelstellingen (zie 1.5) zijn er zes behandelingen uitgevoerd met drie lelierassen per behandeling. De behandelingen zijn twee keer uitgevoerd in de winter van 2013/2014. De eerste trek vond plaats in de periode eind september tot half december en werd direct opgevolgd door de tweede trek. Tabel 1 geeft de details weer van de zes behandelingen.

De controle-behandeling is een teelt met 90 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ SON-T zonder CO_2 -dosering (nr. 1 in Tabel 1). Hier tegenover staat een behandeling met 60 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ SON-T met CO_2 -dosering (nr. 2). Deze behandeling zou moeten resulteren in een gelijke assimilaten-aanmaak als de controle, maar door de lagere lichtintensiteit zouden de takken mogelijk te lang kunnen worden.

Behandeling 3A is gericht op het voorkomen van overmatige strekking: Met een blauw/rood LED-spectrum wordt met een lagere lichtintensiteit (60 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) belicht ten opzichte van de controle (90 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$). Deze behandeling kan (theoretisch gezien) bloeivertragend werken, vandaar dat er ook een LED-behandeling is ingezet die specifiek stuurt op bloeiversnelling (nr. 3B). Door CO_2 dosering zou de lichtintensiteit ook bij deze twee LED behandelingen afdoende moeten zijn voor voldoende assimilaten-aanmaak.

De laatste twee behandelingen zijn toegevoegd om te toetsen of op korte termijn, zonder grote investeringen, bespaart kan worden op branduren SON-T: 4 uur minder SON-T belichting, wel of niet aangevuld met een lage dosis LED-stuurlicht om bloeivertraging te voorkomen (nr. 4A en 4B). De assimilaten-aanmaak zou lager moeten zijn in deze twee behandelingen en er wordt getoetst of dat terug te vinden is in het takgewicht.

Tabel 1. Details van de behandelingen.

	behandeling	Lichtintensiteit ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	CO_2 (ppm)	Dosis Stuurlicht	Verbruik elektra
1	Controle SON-T 90	16 uur * 90	450		100%
2	SON-T 60 + CO_2	16 uur * 60	800		67%
3A	LED blauw/rood	16 uur * 60	800		<67%
3B	LED breedband ('wit')	16 uur * 60	800		<67%
4A	SON-T kort, met stuurlicht	12 uur * 90	450	4 uur ~10 μmol	~77%
4B*	SON-T kort, zonder stuurlicht	12 uur * 90	450		75%

*)Behandeling 4B is alleen uitgevoerd gedurende de eerste trek.

2.2 Plantmateriaal en teelt

In de proef zijn de volgende drie cultivars getoetst:

- 'Santander' (Oriëntal; OR)
- 'Robina' (hybride van Oriëntal en Trompet; OT)
- 'Brindisi' (hybride van Longiflorum en Aziaat; LA)

De herkomst van de bollen in de 1^e trek waren in Nederland geteelde bollen ('Robina' en 'Brindisi') en in Frankrijk geteelde bollen ('Santander'). Voor de 2^e trek zijn Nederlandse bollen gebruikt voor 'Brindisi' en Chileense bollen voor 'Robina' en 'Santander'. Tijdens de eerste trek werden bij Santander en tijdens de tweede trek werden bij alle drie cultivars duidelijke tekenen van PLAM-V geconstateerd. De teelt vond plaats in standaard broeikisten (40 x 60cm) voor lelie. De kisten waren gevuld met bollengrond A, met een pH van 6 en een EC van 0.4. Bollengrond A is een mengsel van Baltisch veen, tuinturf, structuurbark en zand. Toegevoegd is 0.38 kg PG-mix/m³, met een N-P-K samenstelling van 15-10-20 + sporenelementen. Verder is er tijdens de teelt 2^e 25 gram kalksalpeter per m² bemest. Gedurende de teelt is eenmaal ijzer bemest met 5 gram Eddha/m². In Tabel 3 zijn de details van plant- en uitzetdata, sortering en plantdichtheid opgenomen. De bollen zijn na planten zo'n 2-3 weken voorgetrokken bij 9°C. Tijdens de teelt is er water gegeven naar behoefte.

Tabel 2. Plantdata, dichtheid en sortering van de 1^e en 2^e trek.

	Plantdatum (voortrek)	Uitzetdatum kas	Bolmaat	Bolgewicht/ kist (gram)	Plantdichtheid bollen/kist
	1 ^e trek				
LA Brindisi	25-09-2013	07-10-2013	16-18	560-580	10
OT Robina	11-09-2013	27-09-2013	16-18	650-670	8
OR Santander	04-09-2013	20-09-2013	16-18	540-560	8
	2 ^e trek				
LA Brindisi	23-12-2013	09-01-2014	16-18	560-580	10
OT Robina	16-12-2013	18-12-2013	18-20	750-780	8
OR Santander	17-12-2013	18-12-2013	18-20	670-700	8

2.3 Klimaatsturing

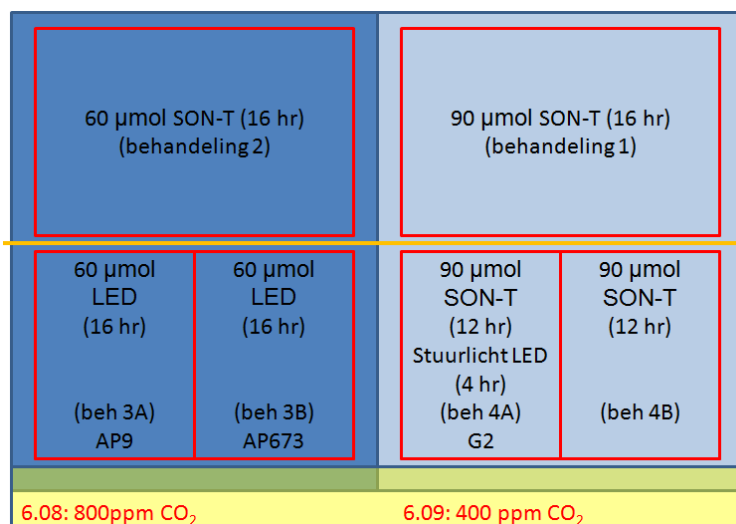
Er werd belicht van 4:00 tot 20:00 uur (16 uur) in de behandelingen 1 t/m 3 (zie Tabel 1). In behandeling 4A&B werd van 4:00 tot 16:00 belicht, waarbij in behandeling 4A van 16:00 tot 20:00 verder werd belicht met stuurlicht (10 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$). De belichting werd afgeschakeld indien meer dan 400W zonnestraling op het kasdek scheen. Dit is een hogere waarde dan gebruikelijk in de praktijk (~200W), vanwege de veel lagere lichttransmissie in de proefkas ten opzichte van een commerciële kas.

De proefkassen hadden gevelschermen die een half uur na zonsopkomst en een half uur voor zonsondergang gesloten werden. Dit om invloed van belichting in naburige kassen op de proefbehandelingen te voorkomen. Het energiescherm werd gesloten vanaf 16.00 uur bij een buitentemperatuur lager dan 10°C en een instraling lager dan 75 Watt/m². Het scherm werd 1 uur na zonsopkomst weer geopend. In de proefvakken waar geen SON-T belichting was koelde het gewas aan het einde van de middag bij open scherm soms te snel af, aldus de begeleidende leliekwekers.

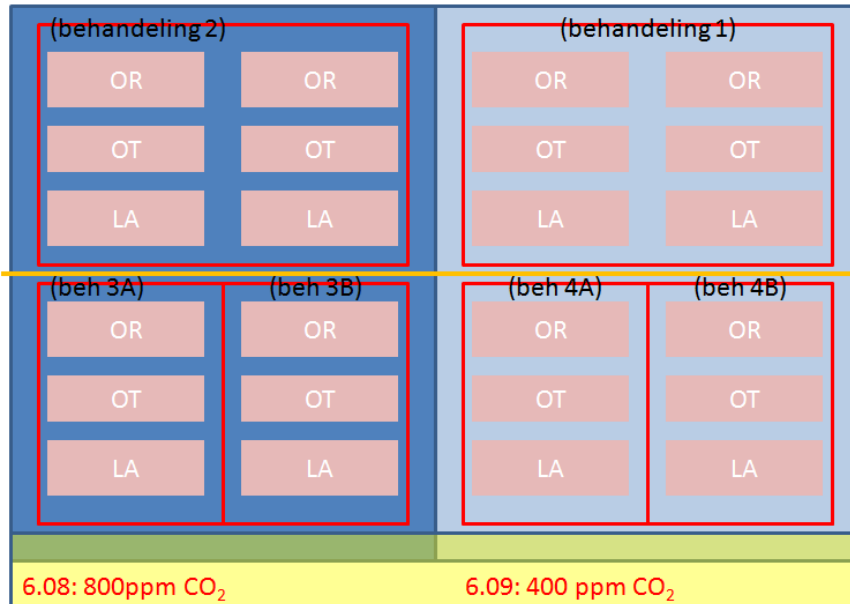
In de proefkas zonder CO₂ dosering (450 ppm) werd iets meer met de ramen gekierd dan in de proefkas met CO₂ dosering (800 ppm). Dit was nodig om het CO₂ niveau in de kas zonder dosering niet te ver te laten oplopen, wat al snel gebeurd in een omgeving met proefkassen waarin volop gedoseerd wordt. De temperatuur werd in beide kassen gelijk gehouden door te verwarmen. De luchtvochtigheid werd gecontroleerd door de luchtbevochtiging en was 70 tot 80% gedurende het grootste gedeelte van de twee teelten. Het gerealiseerde klimaat is weergegeven in hoofdstuk 3.1.

2.4 Plattegrond en gebruikte lichtspectra

De zes behandelingen zijn uitgevoerd in twee aangrenzende kascompartimenten van 144m² bij WUR glastuinbouw te Bleiswijk. In het ene compartiment werd geen CO₂ gedoseerd, hier werden de behandelingen 1 en 4A en 4B uitgevoerd. In het andere compartiment werd tot 800 ppm CO₂ gedoseerd, hier werden de behandelingen 2, 3A en 3B uitgevoerd. Figuur 4 en 5 laten respectievelijk de behandelingsplattegrond zien en de plattegrond met de positie van de rassen.



Figuur 4. Plattegrond met de uitgevoerde behandelingen. Compartiment 6.08 (links) had als setpoint 800ppm CO₂ en de lichtintensiteit was 60 μmol/m²/s SON-T of LED. Compartiment 6.09 (rechts) had als setpoint 400ppm CO₂ en 90 μmol/m²/s SON-T. De nummers van de behandelingen staan tussen haakjes weergegeven. Tevens staat het typenummer van de LED-lampen van Valoya vermeld. Door middel van wit plastic werd voorkomen dat er spectrale beïnvloeding was tussen de voor en de achterkant van de compartimenten (weergegeven met de oranje streep)

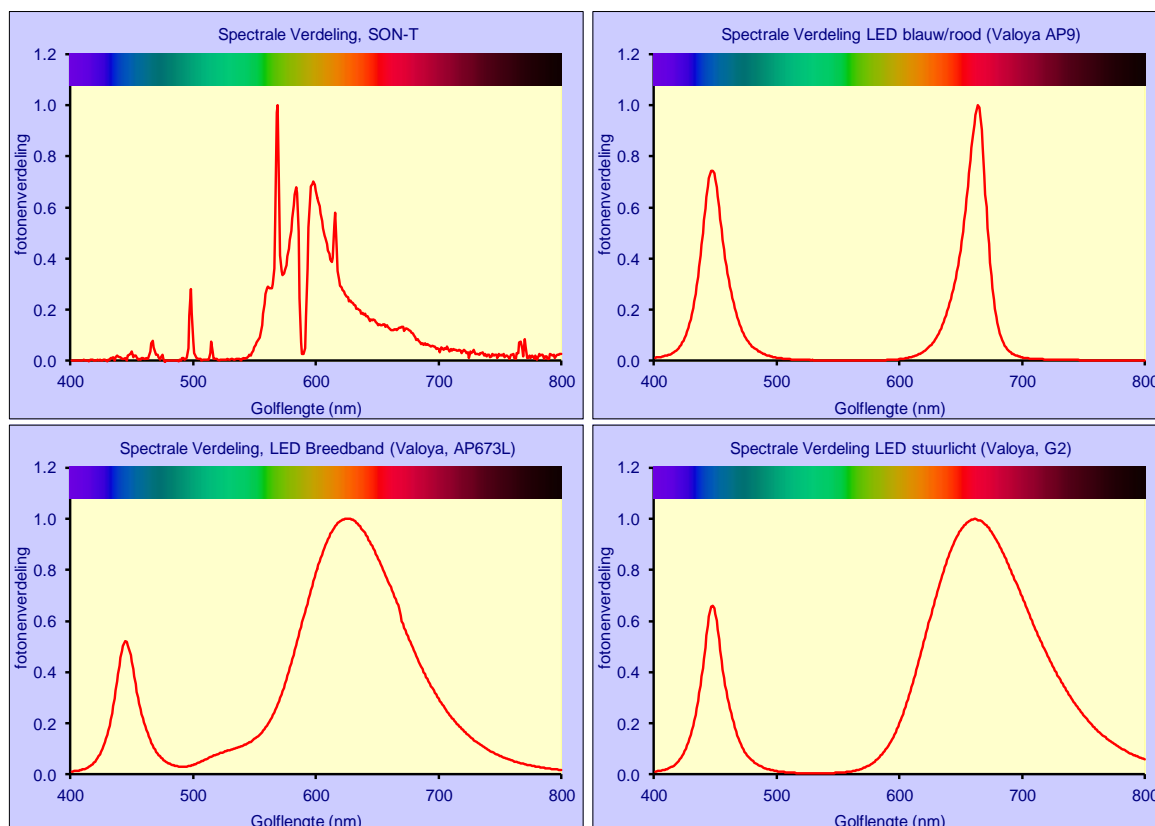


Figuur 5. Plattegrond met de rassen. OR=Oriëntal 'Santander', OT=Oriëntal Trompet 'Robina' en LA= Longiflorum Aziaat 'Brindisi'.

Figuur 6 geeft de spectrale samenstelling weer van de gebruikte lampen in de proef. De drie soorten LED-lampen werden door het Finse bedrijf Valoya geleverd:

- Sturing op compactheid (60 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$):
 - LED blauw/rood (Valoya AP9). Het percentage blauw licht (43%) is veel hoger dan in standaard blauw/rode LED armaturen.
- Sturing op bloeiversnelling:
 - LED breedband 'wit' (60 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$; Valoya AP673L). Er zou voldoende verrood aanwezig moeten zijn om fytochroom A aan te sturen, zodat deze lampen een functie hebben als assimilatie- en stuurlicht in één.
 - LED stuurlicht (10 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$; Valoya G2); Er zou voldoende verrood aanwezig moeten zijn om fytochroom A aan te sturen. Deze lampen zijn niet geschikt als assimilatielicht in kassen.

De geplande 90 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ belichting resulteerde in 93 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ en de geplande 60 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ resulteerde in 64 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. De controle-metingen aan het lichtniveau zijn uitgevoerd volgens het lichtmeetprotocol van Dueck en Pot (2010).



Figuur 6. Spectrale samenstelling van SON-T (behandeling 1, 2, 4A, 4B), LED blauw/rood (Valoya AP9; behandeling 3A) LED breedband 'wit' (Valoya AP673L; behandeling 3B), en LED stuurlicht (Valoya G2; behandeling 4A).

2.5 Metingen

Gedurende de beide teelt is de gewastemperatuur gemeten met een infrarood thermometer. De respons van de fotosynthese van de bladeren op verschillende lichtintensiteiten en CO₂ concentraties is gemeten met een LI-COR-6400 draagbare fotosynthesemeter. Metingen zijn verricht aan volgroeide bladeren bovenin het gewas. Dat zijn de bladeren die het meest licht opvangen en daarmee ook relatief het meeste bijdragen aan de assimilaten-productie. De overige relevante details over de fotosynthese-metingen zijn vermeld bij de resultaten (3.2).

Aan het einde van iedere trek is aan 50 takken per lelieras per behandeling het volgende gemeten: taklengte, versgewicht, aantal goede knoppen, aantal verdroogde knoppen, en knoplengte. Tevens is van minimaal 20 takken het vers en drooggewicht bepaald van de bol en de tak. Hieruit is ook het percentage drooggewicht berekend. Er zijn geen metingen aan randplanten verricht.

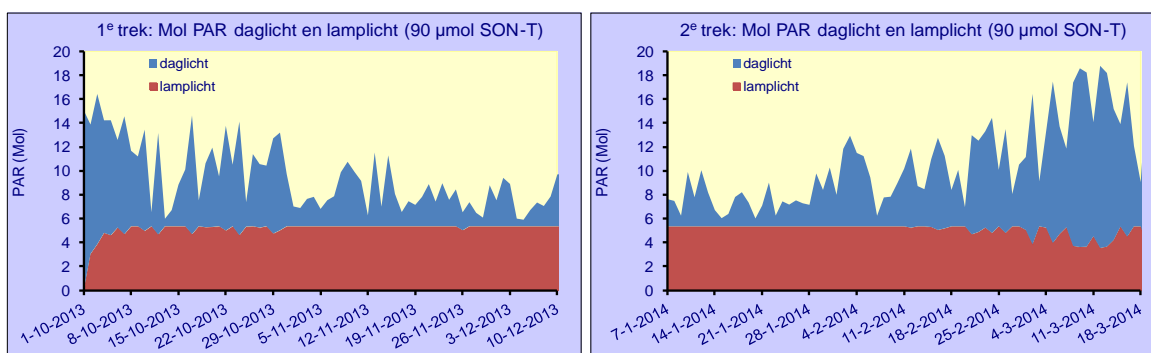
Van 10 takken per lelieras per behandeling is de naogstkwaliiteit gemeten: Eerst zijn de takken gedurende 4 uur voorgewaterd bij 20°C en daarna 20 uur ingehoesd en droog bewaard in een doos bij 2°C (telersfase), vervolgens zijn ze gedurende 4 dagen ingehoesd in een doos droog bewaard bij 9°C (transportfase), vervolgens zijn de takken aangesneden (2cm

van de steel af) en gedurende 24 uur ingehoesd in water gezet bij 20°C (winkelfase). In de daarop volgende 'consumentenfase' zijn de takken weer aangesneden en in een uitbloeiruimte van 20°C op een vaas geplaatst. In beide teelten waren er per lelieras per behandeling twee vazen met ieder 5 takken. De vazen waren gevuld met kraanwater zonder houdbaarheidsmiddel. Het aantal bloeidagen en de bladvergeling zijn geregistreerd.

3 Resultaten en discussie

3.1 Klimaat 1^e en 2^e trek

De kasperiode van de eerste trek vond plaats in de periode eind september tot half december 2013. De kasperiode van de tweede trek volgde daar direct op. Gedurende de eerste trek was er dus veel natuurlijk daglicht in de beginperiode van de teelt en gedurende de tweede trek was dit juist andersom (Figuur 7). Over beide trekduren is de totale som aan daglicht en lamplicht berekend (Tabel 3). Het aandeel belichting van de totale lichtsom was gedurende de 1^e trek 47% tot 56%, afhankelijk van de intensiteit belichting bij de verschillende behandelingen. Gedurende de tweede trek lag het aandeel belichting lager: 37% tot 46%. De totale lichtsom lag gedurende de 2^e trek ongeveer 15% hoger dan gedurende eerste trek.



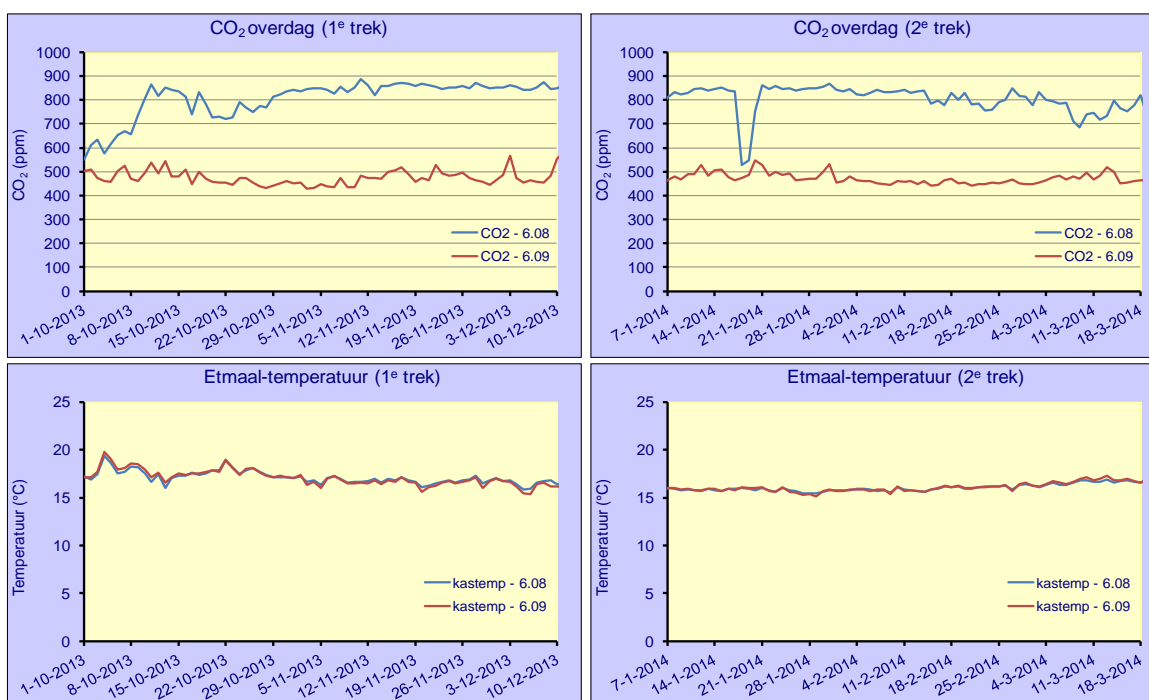
Figuur 7. Aandeel daglicht/lamplicht gedurende de 1^e en de 2^e trek. Het is duidelijk zichtbaar dat gedurende de 1^e trek het aandeel daglicht relatief hoog was in de eerste helft van de trek, terwijl gedurende de 2^e trek juist in de tweede helft van de trek het aandeel daglicht relatief hoog was.

Het gerealiseerde CO₂-gehalte van de kas zonder CO₂-dosering lag tussen de 450 en 500 ppm (Figuur 8 boven). Het CO₂-gehalte bij de kas met CO₂-dosering lag iets boven de 800 ppm. De etmaaltemperatuur was nagenoeg gelijk in beide kasafdelingen (Figuur 8 onder).

Doordat SON-T lampen een forse hoeveelheid stralingswarmte uitstralen, viel te verwachten dat de blad- en koptemperatuur konden verschillen tussen de behandelingen. Immers, de intensiteit van de SON-T lampen was verschillend (60 en 90 µmol/m²/s) en de LED-lampen geven alleen convectie-warmte af en geen stralingswarmte. Tabel 4 laat zien dat de koptemperatuur onder SON-T 60 ongeveer 0,5 °C hoger was dan bij de LED behandelingen (behandeling 2 t.o.v. 3AB). De laatste vier uur de lampen uit doen, resulteerde in een verlaging van de koptemperatuur van 2 °C (behandeling 1 t.o.v. 4A). Het gemeten verschil in temperatuur tussen SON-T 60 en SON-T 90 is niet representatief, omdat hier de klimaatregeling van de twee proefkassen doorheen speelt (zie plattegrond Figuur 4).

Tabel 3. Aandeel daglicht en lamplicht gedurende de 1^e en de 2^e trek. Onderstaande berekening is gebaseerd op de gemeten lamplichtintensiteiten en de berekende daglichtintensiteit in de kas op basis van de Kipp-solarimeter. De totale lichtsom lag gedurende de 2^e trek zo'n 15% hoger dan gedurende de eerste trek.

nr	Behandeling	Daglicht (mol)	Lamplicht (mol)	Aandeel belichting
1^e trek: periode 2 oktober tot 16 december 2013				
1	Controle SON-T 90	311.6	393.1	55.8%
2	SON-T 60 + CO ₂	311.6	273.1	46.7%
3A	LED blauw/rood	311.6	273.1	46.7%
3B	LED breedband ('wit')	311.6	273.1	46.7%
4A	SON-T kort + LED stuurlicht	311.6	317.2	50.5%
4B	SON-T kort zonder stuurlicht	311.6	306.3	49.6%
2^e trek; periode 7 januari tot 22 maart 2014				
1	Controle SON-T 90	437.4	378.4	46.4%
2	SON-T 60 + CO ₂	437.4	260.4	37.3%
3A	LED blauw/rood	437.4	260.4	37.3%
3B	LED breedband ('wit')	437.4	260.4	37.3%
4A	SON-T kort + LED stuurlicht	437.4	288.7	39.8%



Figuur 8. Het CO₂-gehalte (boven) en de etmaaltemperatuur (onder) in de kas gedurende de 1^e en de 2^e trek. De ruimtetemperatuur lag gedurende de 2^e trek gemiddeld 1°C lager dan gedurende de 1^e trek. In compartiment 6.08 werd er 800 ppm CO₂ gedoseerd, in compartiment 6.09 werd er geen CO₂ gedoseerd.

Tabel 4. Metingen van de koptemperatuur bij de verschillende behandelingen met niet of nauwelijks invloed van daglicht. De metingen zijn verricht met een IR-handthermometer gericht op de kop van de lelies waar niet of nauwelijks verdamping is. In verband met de twee verschillende kascompartimenten met ieder een eigen klimaatregeling is een goede vergelijking van de temperatuur alleen mogelijk binnen een compartiment (metingen februari, n=24).

nr	behandeling	Kasnummer	8:00 uur (scherm dicht)	17:00 uur (scherm open, half bewolkt)
1	Controle SON-T 90	6.09	15.6	16.6
2	SON-T 60 + CO ₂	6.08	15.5	15.7
3A	LED blauw/rood + CO ₂	6.08	15.1	15.1
3B	LED breedband ('wit') + CO ₂	6.08	15.1	15.2
4A	SON-T kort + LED stuurlicht	6.09		14.7

Tabel 5 hieronder laat een momentopname zien van de bladtemperatuur onder invloed van de belichting. Opvallend is dat LA Brindisi onder alle behandelingen een 1 tot 2°C lagere bladtemperatuur had dan Robina en Santander. Dit duidt op een hogere verdamping van dit ras ten opzichte van de andere rassen. De hogere verdamping van dit ras werd ook gesignaleerd bij de fotosynthese-metingen. De verschillen tussen SON-T 60 en SON-T 90 zouden simpelweg te wijten kunnen zijn aan het feit dat de behandeling in verschillende kascompartimenten stonden met ieder een eigen klimaatregeling. De bladtemperatuur van de beide LED-behandelingen (behandeling 3AB) lag ongeveer 1° lager dan die onder SON-T 60 (behandeling 2). De laatste vier uur de lampen uit doen, resulteerde in een verlaging van de bladtemperatuur van 2 °C (behandeling 1 t.o.v. 4A).

Een lagere kop- en bladtemperatuur kunnen resulteren in een vertraging van de plantontwikkeling. Dat resulteert in een langere trekduur. In hoofdstuk 3.3.3 wordt het effect van de verschillen in kop- en bladtemperatuur op de gerealiseerde trekduur besproken.

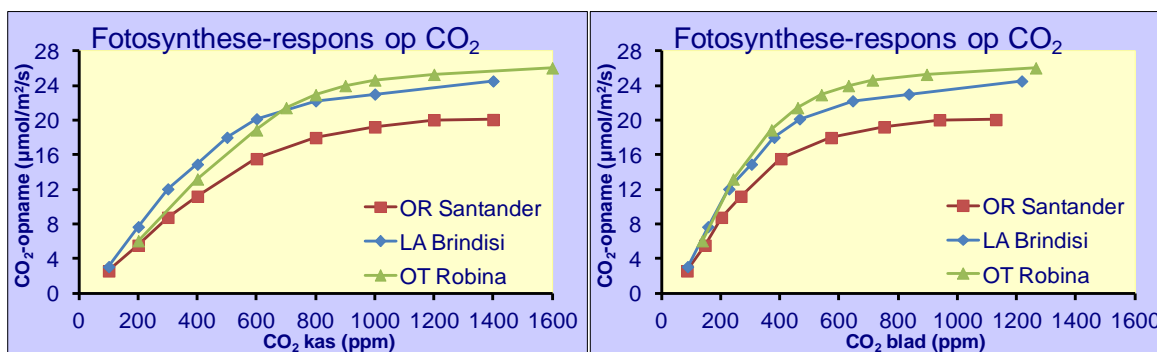
Tabel 5. Metingen van de bladtemperatuur bij de verschillende behandelingen, uitgesplitst per ras zonder invloed van daglicht. In verband met de twee verschillende kascompartimenten met ieder een eigen klimaatregeling is een goede vergelijking van de temperatuur alleen mogelijk binnen een compartiment (metingen maart, na 18:00 uur, energiescherm open; n=10).

nr	behandeling	LA Brindisi	OT Robina	OR Santander
1	Controle SON-T 90	16.9	18.9	18.5
2	SON-T 60 + CO ₂	17.8	19.1	18.7
3A	LED blauw/rood + CO ₂	16.7	18.0	17.8
3B	LED breedband ('wit') + CO ₂	16.3	17.8	17.8
4A	SON-T kort + LED stuurlicht	15.7	16.7	16.5

3.2 Fotosynthese-metingen

3.2.1 CO₂-respons van de fotosynthese

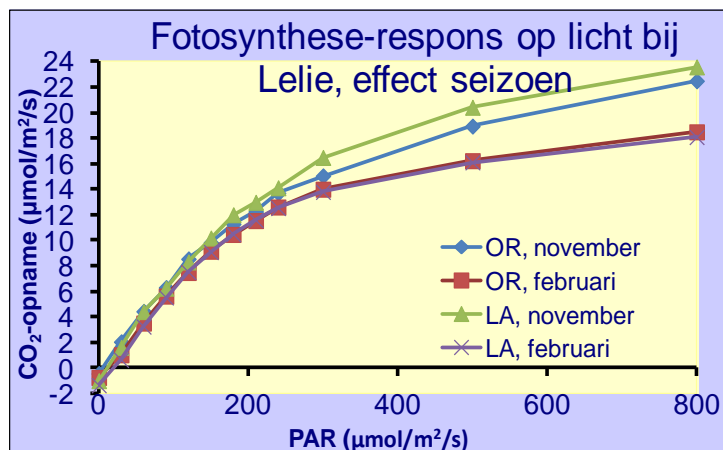
Met fotosynthese-metingen is nagegaan of er op bladniveau inderdaad meer CO₂ wordt opgenomen bij een verhoogde CO₂ concentratie rondom het blad. Meer netto CO₂ opname betekent dat er meer suikers worden geproduceerd. De focus van deze metingen lag op de rassen LA Brindisi en OR Santander. Het ras OT Robina is uitgebreid gemeten tijdens het project 'Meer Rendement uit licht en CO₂' (Trouwborst *et al.* 2013). Figuur 9 laat de CO₂-respons zien van de verschillende rassen. Bij alle rassen is duidelijk te zien dat CO₂ een groot positief effect heeft op de fotosynthese-snelheid. De gemeten verschillen tussen de rassen hebben allerlei oorzaken door de verschillende meetperioden en doen hier verder niet ter zake.



Figuur 9. Respons van de CO₂ opname door de bladeren op de CO₂ concentratie van de kaslucht (links) en de CO₂ concentratie binnenin het blad. Er is gemeten aan bladeren van de drie verschillende rassen. LA Brindisi is gemeten tijdens de eerste trek (november 2013), OR Santander is gemeten tijdens de tweede trek (februari 2014). OT Robina is gemeten tijdens de wintermetingen (februari 2013) gedurende het project 'Meer rendement uit belichting en CO₂-dosering'. Het lichtniveau in de meetcuvette was in alle gevallen 800 µmol/m²/s. De boodschap is dat alle rassen reageren op de CO₂ concentratie; de verschillen tussen de rassen hebben allerlei oorzaken door de verschillende meetperioden en doen hier verder niet ter zake.

3.2.2 Seizoenseffect op de fotosynthese-capaciteit?

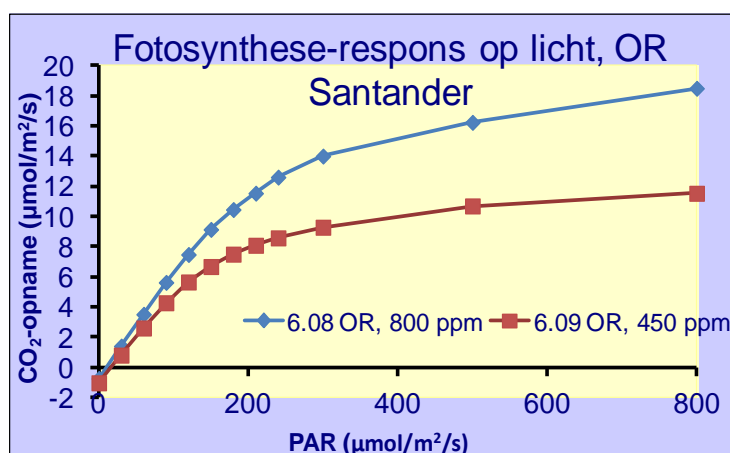
De 'voorgeschiedenis' gedurende de trekperiode van vooral het lichtniveau in de dagen en weken voordat de fotosynthese metingen plaats vinden, kan een effect hebben op de gemeten lichtrespons (Trouwborst *et al.* 2011). Door een voorgeschiedenis met veel licht kunnen bladeren over het algemeen makkelijker meer licht verwerken en worden er hogere fotosynthese-snelheden bereikt. Uit Figuur 10 blijkt dat dit ook voor Lelie het geval is. Boven de 240 µmol/m²/s beginnen de lijnen fors uit elkaar te lopen waarbij de planten uit de 1^e trek veel hogere fotosynthese-snelheden bij verzadigend lichtniveau bereiken dan planten gedurende de 2^e trek. Dit verschil is enigszins kunstmatig, omdat lichtintensiteiten van boven de 300 µmol/m²/s, zoals ingesteld in de meetcuvette, in de kas maar beperkt voorkwamen.



Figuur 10. Seizoenseffect op de lichtrespons van OR Santander en LA Brindisi: Er is verschil tussen de 1^e trek (november 2013) en de 2^e trek (februari 2014). De metingen zijn uitgevoerd bij 800 ppm CO₂.

3.2.3 Lichtrespons bij een verschillend CO₂-niveau.

De fotosynthese-snelheden van de drie Lelie-rassen zijn bij 800 ppm CO₂ fors hoger dan bij 450 ppm CO₂. Bij de lagere lichtniveaus tot zo'n 180 µmol/m²/s was de procentuele toename door verhoogd CO₂ zo'n 35%, bij de hogere lichtniveaus stijgt dit percentage tot ruim 50% (Figuur 11).



Figuur 11. Lichtrespons van de fotosynthese-snelheid van OR Santander opgegroeid bij 800 of 450 ppm CO₂. De rassen OT Robina en LA Brindisi lieten hetzelfde patroon zien (data: februari 2014). Bij lichtniveaus <180 µmol/m²/s was de procentuele toename door verhoogd CO₂ ±35%, bij hogere lichtniveaus stijgt dit percentage tot ruim 50%.

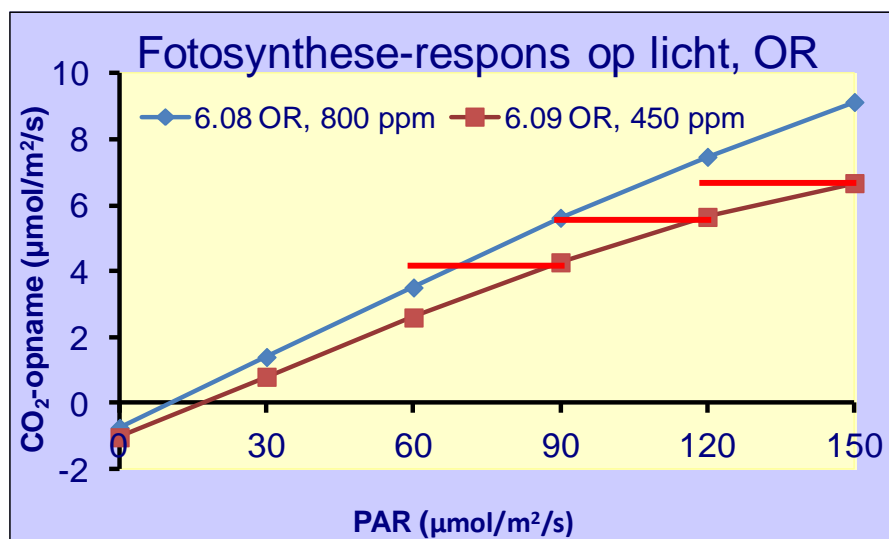
3.2.4 Minder licht met CO₂ of meer licht zonder CO₂?

Figuur 1 (inleiding) liet zien dat 60 µmol/m²/s licht bij 800 ppm CO₂ resulteerde in een vergelijkbare CO₂ opname als 90 µmol/m²/s licht bij 400 ppm CO₂. Dit effect is opnieuw gemeten (Figuur 12). Uit deze figuur blijkt dat gedurende de uren belichting zonder daglicht

het gemis van 30 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ licht niet volledig wordt gecompenseerd door de toevoeging van CO_2 . Er zijn twee oorzaken voor dit afwijkende resultaat ten opzichte van dat in Figuur 1:

- Bij de metingen achter Figuur 1 is er gemeten bij 400 ppm CO_2 , en in de huidige proef bij 450 ppm CO_2 . Dit verkleint de toename in fotosynthese-snelheid bij 800 ppm CO_2 .
- De huidmondjesgeleidbaarheid verschilde een factor 2 tot 3: Tijdens de metingen achter Figuur 1 was de huidmondjes-opening limiterend voor de fotosynthese, waardoor het relatieve effect van een verhoogde CO_2 -concentratie wordt versterkt.

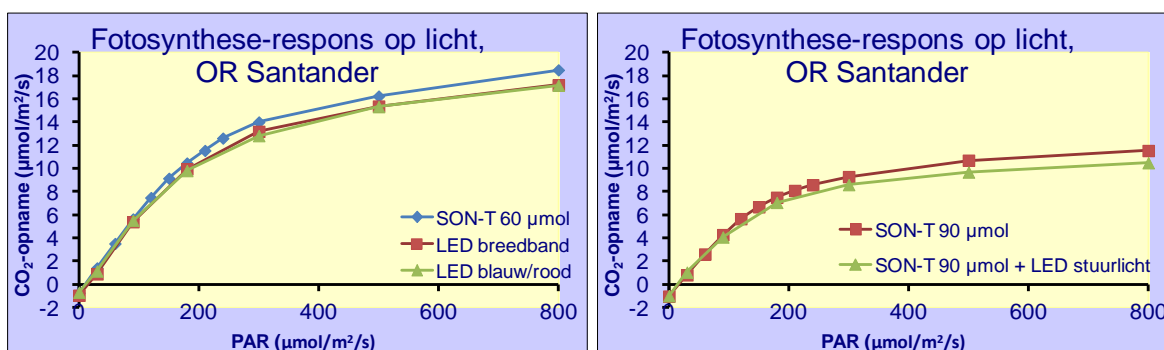
De vraag die overblijft is of behandeling 2 (60 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ SON-T + CO_2) dan toch geen assimilaten tekort komt. Dit is niet het geval, omdat door het hoge CO_2 -gehalte overdag ook de benutting van het daglicht met minstens 35% toeneemt. Figuur 12 laat zien dat er al bij 30 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ daglicht bovenop de belichting een vrijwel gelijke CO_2 -opname is: Vergelijk $60+30=90$ $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ licht bij 800 ppm CO_2 met $90+30=120$ $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ licht bij 450 ppm CO_2 . Bij de hogere intensiteiten van daglicht + lamplicht is de CO_2 -behandeling dus juist in het voordeel. Het aandeel daglicht gedurende de eerste trek was ruim 50% en gedurende de 2^e trek ruim 60% (Tabel 3), dus er kan van uit worden gegaan dat de assimilatenbalans in de 2e trek gunstiger is voor de CO_2 -behandeling dan in de 1e trek. Dit blijkt ook uit de oogstgegevens (Tabel 6 en 7). Overigens is een hoge daglicht-instraling niet altijd in het voordeel van de benutting van het CO_2 : Als de ramen open moeten worden wordt het immers onhaalbaar (en wellicht ook onverstandig) om een hoge CO_2 concentratie in de kaslucht te handhaven.



Figuur 12. Lichtrespons van de fotosynthese-snelheid van OR Santander bij 450 en 800 ppm CO_2 . Deze figuur laat zien dat bladeren bij een lichtniveau van 60 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ bij 800 ppm CO_2 iets minder presteren dan bladeren bij 90 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ licht en 450 ppm CO_2 . Dus gedurende de uren belichting zonder daglicht is de CO_2 dosering niet afdoende om de lagere intensiteit belichting volledig te compenseren. Echter, de combinatie van lamplicht en daglicht laat al snel de balans ten voordele van de CO_2 -behandeling uitslaan (zie rode lijnen). Data februari 2014.

3.2.5 Spectraal effect op de fotosynthese-capaciteit?

Uit eerder onderzoek is bekend dat het kleurspectrum van licht een grote invloed kan hebben op de fotosynthesesnelheid van een blad bij verzadigend licht (Hogewoning *et al.* 2010). De gebruikte lampen verschilden in het kleurspectrum dat ze uitstraalden (zie spectra in Figuur 6). Daarom is lichtrespons van de fotosynthese ook vergeleken voor bladeren ontwikkeld onder 60 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ SON-T (behandeling 2), LED R/B (behandeling 3A) en LED breedband (behandeling 3B). Zoals te zien in Figuur 13 zijn hier geen opvallende verschillen waargenomen.



Figuur 13. Lichtrespons van de fotosynthese-snelheid van OR Santander opgegroeid onder belichtingsarmaturen met verschillende kleurspectra. Links: Effect van 60 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ SON-T, LED breedband ('wit') en LED blauw/rood gemeten bij 800 ppm CO₂. Rechts: Effect van 90 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ SON-T met en zonder LED stuurlicht gemeten bij 450 ppm CO₂ (data februari 2014).

3.2.6 Conclusies fotosynthesemetingen

De volgende deelconclusies kunnen getrokken worden:

- Bij alle onderzochte rassen is er een fors effect van CO₂ op de fotosynthese
- De lichtrespons ligt bij 800 ppm CO₂ 35 tot 50% hoger dan bij 450 ppm CO₂.
- Gedurende de daglichtloze uren, ligt de fotosynthese iets lager bij 60 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ + 800 ppm CO₂ dan bij 90 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ + 450 ppm CO₂: Er vindt in die uren dus geen volledige compensatie van het lagere belichtingsniveau door CO₂ dosering plaats.
- Echter, door het hoge CO₂ overdag, stijgt de lichtbenutting van het daglicht ook met ruim 35%. Hierdoor is er wel degelijk een voldoende positief effect van CO₂ op de assimilatenproductie per etmaal om minder lamplicht te kunnen compenseren.
- Er is geen opvallend effect van de verschillende kleurspectra (SON-T, LED R/B, LED breedband 'wit') op de lichtrespons van de fotosynthese waargenomen.

3.3 Oogstwaarnemingen 1^e en 2^e trek

De oogstwaarnemingen zijn gegroepeerd rondom de drie hoofddoelen:

- Minder belichten met behoud van takgewicht (3.3.1)
- Sturing op taklengte (3.3.2)
- Sturing op trekduur (3.3.3)

3.3.1 *Minder belichten met behoud van takgewicht (voldoende assimilaten)?*

De hoofdvraag van dit onderzoek was of er door middel van CO₂-dosering met een lagere intensiteit belicht kon worden zonder in te leveren op takgewicht. Dit blijkt voor de drie onderzochte rassen inderdaad het geval. Het takgewicht verschilde niet significant tussen SON-T 90 en SON-T 60 + CO₂ (Tabel 6&7). De stevigheid (gewicht/cm) verschilde ook niet of nauwelijks per behandeling (Tabel 6&7); het gewicht per cm was hooguit 5% hoger voor SON-T 90, doordat de takken daar iets korter waren.

De behandelingen waar er korter belicht werd (4A en 4B) zonder dat er voor het verlies van licht gecompenseerd werd door een hoger CO₂-gehalte, hadden tijdens de 1^e trek een gelijk takgewicht vergeleken met de controle, maar waren consequent iets minder stevig: Het gewicht/cm was lager (Tabel 6). Tevens was de trend dat deze behandelingen het laagste percentage drogestof (% DW) hadden, het laagste bolgewicht en de laagste totale hoeveelheid drogestof (tak + bol). Dit duidt erop dat deze behandeling een tekort had aan assimilaten, zodat ofwel de bol wat meer 'leeggezogen' werd, ofwel dat er geen assimilaten over waren om de bol weer opnieuw te vullen.

Bij de 2^e trek kwam opnieuw de trend naar voren dat deze behandeling een lager gewicht/cm en een lager percentage drogestof in tak en bol had dan de controle, echter dit was meestal niet statistisch significant (Tabel 7). Verder presteerde deze behandeling niet slechter dan de controle. Waarschijnlijk hangt dit samen met de 15% hogere lichtsom van het daglicht gedurende de 2^e trek (Tabel 3) en een iets langere trekduur. Omdat deze behandeling trager was (tot 8 dagen bij OR 'Santander' in de 2e trek), is er dus ook langer de tijd geweest om te groeien. Op trekduur wordt in 3.3.3 verder op ingegaan.

De behandelingen met LED blauw/rood en LED breedband ('wit') waren op het gebied van gewicht en gewicht/cm in grote lijnen vergelijkbaar met SON-T 60. Het gewicht van de Oriëntals was in de 2e trek wat hoger onder LED blauw/rood, hetgeen waarschijnlijk te relateren is aan de veel langere trekduur bij deze behandeling (zie 3.3.3).

Conclusies minder belichten met behoud van takgewicht:

- 33% lagere intensiteit belichten + CO₂=gelijk gewicht en gewicht/cm.
- Kortere belichten= gelijk takgewicht maar kleiner gewicht/cm.
 - Ook lager % DW tak en bolgewicht. DW bol kleiner, bol meer 'leeggezogen'.
 - Als niveau daglicht stijgt, dan kunnen deze verschillen wegvallen.
- LED: geen opvallende verschillen.

Tabel 6. Oogstwaarnemingen 1^e trek: LA Brindisi, OT Robina en OR Santander. Verschillende letters (a, b, c) geven statistisch significante verschillen tussen de gemiddelden aan (Fisher's LSD, $\alpha < 0.05$; $n=50$).

Nr	Behandeling	Trekduur (dagen)	Lengte (cm)	Gewicht (g)	Gewicht/cm	DW bol (g)	% DW tak	% DW bol	% DW bol / DW totaal
LA Brindisi									
1	SON-T 90	75 a	100 a	172 a	1.72 b	3.1 b	8.3 c	16.5 c	17 a
2	SON-T 60 + CO ₂	75 a	102 b	174 a	1.70 b	3.0 b	7.8 b	15.2 abc	18 ab
3A	LED blauw/rood + CO ₂	77 b	103 b	178 a	1.73 b	3.0 b	8.4 c	16.3 bc	17 a
3B	LED breedband ('wit') + CO ₂	76 a	102 ab	180 a	1.76 b	4.0 c	9.0 d	19.2 d	20 b
4A	SON-T 90 (12u) + LED Stuurlicht	78 c	107 c	174 a	1.63 a	2.5 ab	7.7 b	14.8 ab	17 a
4B	SON-T 90 (12u)	79 d	110 d	173 a	1.58 a	2.2 a	7.2 a	14.3 a	15 a
Oriëntal Trompet Robina									
1	SON-T 90	87 a	125 a	181 a	1.44 b	10.5 ab	11.8 abc	19.9 a	33 a
2	SON-T 60 + CO ₂	87 a	128 a	179 a	1.40 ab	11.5 b	12.3 cd	20.7 ab	34 a
3A	LED blauw/rood + CO ₂	96 d	136 c	186 a	1.36 a	11.8 b	11.9 bc	22.2 b	36 a
3B	LED breedband ('wit') + CO ₂	89 b	127 a	182 a	1.39 ab	12.3 b	12.8 d	22.4 b	35 a
4A	SON-T 90 (12u) + LED Stuurlicht	90 b	131 b	178 a	1.35 a	9.1 a	11.5 ab	19.4 a	32 a
4B	SON-T 90 (12u)	93 c	135 c	180 a	1.33 a	10.0 ab	11.1 a	20.2 ab	33 a
Oriëntal Santander									
1	SON-T 90	94 b	94 a	161 a	1.71 d	5.0 a	11.0 a	15.2 a	22 a
2	SON-T 60 + CO ₂	93 a	96 bc	157 a	1.62 bc	6.4 b	12.1 b	18.0 b	23 a
3A	LED blauw/rood + CO ₂	104 e	96 bc	162 a	1.67 cd	6.7 b	11.7 b	18.8 bc	29 b
3B	LED breedband ('wit') + CO ₂	97 cd	95 ab	160 a	1.68 cd	7.1 b	12.1 b	19.7 c	27 b
4A	SON-T 90 (12u) + LED Stuurlicht	97 c	98 c	154 a	1.56 ab	4.4 a	10.5 a	14.0 a	22 a
4B	SON-T 90 (12u)	98 d	102 d	159 a	1.55 a	4.4 a	10.4 a	14.8 a	21 a

Tabel 7. Oogstwaarnemingen 2^e trek: LA Brindisi, OT Robina en OR Santander. Verschillende letters (a, b, c) geven statistisch significante verschillen tussen de gemiddelden aan (Fisher's LSD, $\alpha < 0.05$; $n = 50$).

Nr	Behandeling	Trekduur (dagen)	Lengte (cm)	Gewicht (g)	Gewicht/Gewicht/ (cm)	DW bol (g)	% DW tak	% DW bol	% DW bol / DW totaal
LA Brindisi									
1	SON-T 90	83 b	102 a	187 a	1.83 c	2.4 a	9.2 a	19.0 a	12 a
2	SON-T 60 + CO ₂	81 a	105 b	184 a	1.75 ab	3.2 b	9.1 a	21.9 b	16 b
3A	LED blauw/rood + CO ₂	85 c	105 b	187 a	1.78 bc	2.4 a	9.1 a	19.8 ab	12 a
3B	LED breedband ('wit') + CO ₂	85 c	102 a	187 a	1.83 c	2.3 a	9.3 a	19.4 ab	12 a
4A	SON-T 90 (12u) + LED Stuurlicht	85 c	110 c	188 a	1.70 a	2.4 a	8.7 a	18.3 a	13 a
Oriëntal Trompet Robina									
1	SON-T 90	90 a	137 a	188 a	1.36 ns	13.0 b	13.6 b	25.9 b	35 c
2	SON-T 60 + CO ₂	90 a	153 bc	199 ab	1.30 ns	11.3 ab	13.7 b	25.5 b	29 abc
3A	LED blauw/rood + CO ₂	101 c	154 c	209 b	1.35 ns	11.7 ab	13.8 b	24.8 b	28 ab
3B	LED breedband ('wit') + CO ₂	93 b	137 a	186 a	1.35 ns	12.4 b	13.3 b	25.6 b	33 bc
4A	SON-T 90 (12u) + LED Stuurlicht	94 b	150 b	208 b	1.38 ns	9.0 a	12.3 a	22.7 a	26 a
Oriëntal Santander									
1	SON-T 90	97 a	97 a	179 a	1.84 ab	7.5 ab	13.1 b	19.7 a	23 ab
2	SON-T 60 + CO ₂	99 b	104 bc	187 ab	1.79 ab	8.0 ab	12.7 ab	20.1 a	26 b
3A	LED blauw/rood + CO ₂	117 e	106 cd	206 c	1.95 c	7.8 ab	12.6 a	19.3 a	23 ab
3B	LED breedband ('wit') + CO ₂	104 c	103 b	193 b	1.87 bc	8.1 b	12.4 a	19.8 a	25 b
4A	SON-T 90 (12u) + LED Stuurlicht	105 d	106 d	188 ab	1.76 a	6.7 a	12.3 a	18.2 a	22 a

3.3.2 Voorkomen van overmatige strekking?

Een hogere lichtintensiteit remt in het algemeen de stengelstrekking. Vanuit die gedachte werd rekening gehouden met teveel takstrekking bij de behandeling 60 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ SON-T (behandeling 2) ten opzichte van de controle (90 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ SON-T). Daarom is onderzocht of een intensiteit van 60 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ met een blauw/rood LED-spectrum (B/R 43%/ 57%) een sterker sturend effect heeft op compactheid dan het SON-T kleurenspectrum. Op basis van de fysiologische achtergrond en eerder onderzoek is dit te verwachten (zie hoofdstuk 1.3).

Tabel 8 geeft de taklengtes nogmaals weer (evenals Tabel 6 en 7). Hieruit blijkt dat bij LED blauw/rood de taklengtes van LA Brindisi en OR Santander niet korter zijn, en bij OT Robina gedurende de eerste trek zelfs langer zijn dan onder SON-T 60. Dit opvallende effect kan mogelijk verklaard worden doordat dit blauw/rode spectrum sterk vertragend werkte op de trekduur (zie 3.3.3 teeltsnelheid). Hierdoor krijgt een tak langer de tijd om in de lengte te groeien. Bij roos werd iets soortgelijks waargenomen: De toepassing van verrood stuurlicht leidde tot een teeltversnelling en resulteerde in kortere takken met minder bladeren, maar wel met langere internodiën (Trouwborst *et al.*, 2012).

Tabel 8. Taklengte van de 1^e en 2^e trek van Brindisi, Robina en Santander. Verschillende letters (a, b, c) geven statistisch significante verschillen tussen de gemiddelden aan (Fisher's LSD, $\alpha < 0.05$; $n=50$). NB deze tabel bevat dezelfde getallen als tabel 6 en 7.

Nr	Behandeling	1 ^e trek			2 ^e trek		
		Brindisi	Robina	Santander	Brindisi	Robina	Santander
1	SON-T 90	100 a	125 a	94 a	102 a	137 a	97 a
2	SON-T 60 + CO2	102 b	128 a	96 bc	105 b	153 bc	104 bc
3A	LED blauw/rood + CO2	103 b	136 c	96 bc	105 b	154 c	106 cd
3B	LED breedband ('wit') + CO2	102 ab	127 a	95 ab	102 a	137 a	103 b
4A	SON-T 90 (12u) + LED Stuurlicht	107 c	131 b	98 c	110 c	150 b	106 d
4B	SON-T 90 (12u)	110 d	135 c	102 d	-	-	-

De taklengte onder SON-T 60 was gedurende de 1^e trek slechts 2-3 cm langer dan onder SON-T 90. Gedurende de 2^e trek waren Robina en Santander respectievelijk 7 en 13 cm langer. Deze toename in lengte ging echter gepaard met een toename in gewicht, waardoor het gewicht/cm niet lager was (Tabel 7) en de tak dus ook niet minder stevig was.

Opvallend is vooral dat de behandelingen met een kortere belichting (4A & B) bij alle rassen en gedurende beide trekken significant langer waren (8 tot 13 cm) dan SON-T 90. Waarschijnlijk heeft dit te maken met het relatief hoge aandeel verrood in het daglicht gedurende de natuurlijke schemering (Hogewoning *et al.*, 2013). Blom *et al.* (1995) vonden bij

Longiflorum en Aziatische lelies een forse afname van de taklengte als reactie op het afschermen van de avondschemering. Bij de andere behandelingen werd het effect van de natuurlijke schemering op de strekking uitgeschakeld doordat het lamplicht overheersend is. Het stuurlicht ($<10\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) vermindert de strekking iets (4A is korter dan 4B).

Bij de 2^e trek waren de takken van Robina 12 tot 25 cm langer dan bij de eerste trek. Bij Santander waren de takken maximaal 10 cm langer, terwijl de takken van Brindisi nauwelijks langer waren. Een aantal factoren zouden dit verschil in taklengte kunnen verklaren: De lagere intensiteit daglicht gedurende het begin van de tweede trek ten opzichte van het begin van de eerste trek (Figuur 7), en/of de gemiddeld iets lagere temperatuur gedurende de tweede trek en daardoor de langere trekduur (Figuur 8), en/of de andere herkomst van de bollen (zie hoofdstuk 2.2).

Conclusies sturing taklengte:

- LED blauw/rood geselecteerd op sturing compactheid: Geen effect, waarschijnlijk door de langere trekduur (bloeivertraging).
- Kortere belichten (12 in plaats van 16 uur) werkt negatief op compactheid
- LED stuurlicht (4A) vermindert strekking iets ten opzichte van geen stuurlicht (4B), maar het effect is te marginaal voor praktijktoepassing.

3.3.3 *Voldoende teeltsnelheid behouden?*

Bij het op compactheid geselecteerde blauw/rode LED spectrum (behandeling 3A) werd op basis van fysiologische achtergronden rekening gehouden met bloeivertraging bij lelie. Daarom werd ook een behandeling met LED breedband ('wit') toegevoegd: Behandeling 3B. Deze lampen (Valoya AP673L) waren speciaal geselecteerd om de bloei te versnellen, zodat de trekduur verkort wordt. Er werd geen overmatige strekking te verwachten. De trekduur staat weergegeven in Tabel 9. De trekduur onder LED breedband ('wit') was inderdaad fors korter dan onder LED blauw/rood bij Robina en Santander: Bij Santander liep het verschil tussen de twee LED-behandelingen in de tweede trek zelfs op tot 13 dagen! Bij LA Brindisi hadden de verschillende LED-behandelingen juist weinig tot geen effect. Vanuit het verleden is bekend dat de trekduur van Longiflorum- en Aziatische-hybriden niet positief beïnvloed kon worden door gloeilampen (Hendriks, 1986). Het lijkt er dus op dat bij LA-hybriden de bloei niet door het lichtspectrum versneld kan worden.

Dat de trekduur van Robina en Santander onder LED breedband ('wit') 2-5 dagen langer is dan onder SON-T 60 is waarschijnlijk te relateren aan de stralingswarmte van de SON-T die de koeltemperatuur $\pm 0.5^\circ\text{C}$ hoger maakt (zie Tabel 4). Een vuistregel in de Lelieteeelt is dat één graad lagere temperatuur voor een week trekduurverlenging zorgt (lichtmodel lelie van PPO). Het verschil van 2-5 dagen in trekduur zou hiermee verklaard kunnen worden.

Opvallend was dat Robina en Santander bij de behandelingen met een korter aantal uren belichting ook 3-8 dagen trager waren. Hier lag de koptemperatuur gedurende 4 uur lang zo'n 2°C lager dan bij de controle (Tabel 4). Dit veroorzaakt vertraging in trekduur. Vervanging van de 4 uur minder assimilatielicht door 4 uur LED stuurlicht had slechts een gering positief effect op de trekduur, ten opzichte van 4 uur korter belichten zonder stuurlicht (data 1^e trek). Tijdens beide trekduren was LED stuurlicht niet of nauwelijks trager dan LED breedband ('wit'). Dit suggereert dat de vertraging van de trekduur ten opzichte van de controle met een verhoging in (kop)temperatuur gecompenseerd kan worden.

De trekduur van Brindisi onder SON-T 60 was tijdens de 2^e trek zelfs korter dan onder SON-T 90. Mogelijk ligt de oorzaak in het feit dat de bladtemperatuur van dat ras ook hoger lag (zie Tabel 5).

De trekduur was bij de 2^e trek 3 tot 10 dagen langer dan bij de eerste trek. Waarschijnlijk komt dit door de gemiddeld 1°C hogere kasluchttemperatuur gedurende de 1^e trek (Figuur 8). Opmerkelijk is dat waar Brindisi nauwelijks reageert op stuurlicht, dit ras juist het scherpst reageert op een lagere teelttemperatuur.

Tabel 9. Trekduur 1^e en 2^e trek van LA Brindisi, OT Robina en OR Santander. Verschillende letters (a, b, c) geven statistisch significante verschillen tussen de gemiddelden aan (Fisher's LSD, $\alpha < 0.05$; $n=50$). NB deze tabel bevat dezelfde getallen als Tabel 6 en 7.

Nr	Behandeling	1 ^e trek			2 ^e trek		
		Brindisi	Robina	Santander	Brindisi	Robina	Santander
1	SON-T 90	75 a	87 a	94 b	83 b	90 a	97 a
2	SON-T 60 + CO2	75 a	87 a	93 a	81 a	90 a	99 b
3A	LED blauw/rood + CO2	77 b	96 d	104 e	85 c	101 c	117 e
3B	LED breedband ('wit') + CO2	76 a	89 b	97 cd	85 c	93 b	104 c
4A	SON-T 90 (12u) + LED Stuurlicht	78 c	90 b	97 c	85 c	94 b	105 d
4B	SON-T 90 (12u)	79 d	93 c	98 d			

Conclusies sturing teeltsnelheid:

- LED breedband ('wit') geselecteerd op bloeiversnelling: Positief effect bij Oriëntals.
 - Bij Brindisi geen effect! (geldt dat voor alle LA-hybriden?).
 - Brindisi reageert wel het scherpst op temperatuur.
- LED Breedband ('wit') alsnog iets trager dan SON-T: Temperatuurseffect.
- LED blauw/rood resulteert in een veel langere trekduur (tot 13 dagen ten opzichte van LED breedband!)
 - Mogelijk is dit de oorzaak achter de onverwachte toename in lengte bij Robina
- LED stuurlicht wel positief voor trekduur, maar effect te marginaal ten opzichte van de behandeling 4 uur minder belichting zonder stuurlicht voor praktijktoepassing.

3.3.4 Bloemkwaliteit en Vaasleven

Van 10 takken per behandeling is na oogst en transportsimulatie van zes dagen het vaasleven getoetst. De takken stonden in een uitbloei-ruimte met een temperatuur van 20°C en een RV van 60-70%. Iedere vaas bevatte kraanwater zonder verdere toevoegingen. Het aantal bloeidagen verschilde niet of nauwelijks tussen de behandelingen (Tabel 10). Opvallend was wel dat LED blauw/rood bij Robina en Santander resulteerde in een slechter vaasleven: Het aantal dagen totdat 50% van de bladeren geel was, was 3 dagen korter ten opzichte van de controle.

Voor lelie is bekend dat het planthormoon gibberelline bladvergeling tegen gaat en dat suikers juist bladvergeling bevorderen (Kok, 2006; Harkema en Woltering, 2012). Het blauw/rode kleurenspectrum remt via signalen van de fytochromen de gibberelline-productie in planten (Whitelam en Halliday, 2007). Mogelijk biedt dit een verklaring voor de snellere vergeling op de vaas van de lelies opgegroeid onder de LED blauw/rood belichting.



Figuur 14 Opstelling toetsing vaasleven. Te zien is dat de bladeren bij de vazen links (LED blauw/rood) al beginnen te vergelen, terwijl dit bij de vazen rechts (SON-T 90 (12u) + LED Stuurlicht) nog niet te zien is.

Na oogst van de takken is van iedere tak ook het aantal goede en verdroogde knoppen geteld en de knoplengte bepaald. Het aantal knoppen en het aantal verdroogde knoppen verschilde niet of nauwelijks tussen de behandelingen (Tabel 11). De knoplengte verschilde

soms wel wat tussen de behandelingen, maar over de rassen heen kon hier geen patroon in worden gevonden (Tabel 11).

Conclusies bloemkwaliteit en vaasleven:

- Geen verschil aantal goede en verdroogde knoppen.
- Nauwelijks verschil in bloeidagen.
- Opvallend snellere bladvergelting bij Robina en Santander opgegroeid onder LED blauw/rood Mogelijke oorzaak: Gibberelline gaat bladvergelting tegen, LED blauw/rood spectrum staat bekend gibberelline-aanmaak in planten te remmen.

Tabel 10. Vaasleven in bloeidagen en aantal dagen tot 50% geel blad na transportsimulatie. Verschillende letters (a, b, c) geven statistisch significante verschillen tussen de gemiddelden aan (Fisher's LSD, $\alpha < 0.05$; $n=10$).

Nr	Behandeling	OR Brindisi		OT Robina		LA Santander	
		aantal bloei-dagen	aantal dagen tot 50% geel blad	aantal bloei-dagen	aantal dagen tot 50% geel blad	aantal bloei-dagen	aantal dagen tot 50% geel blad
				Data 1^e trek			
1	SON-T 90	13.3 a	4.0 a	12.7 a	8.7 b	13.9 a	8.7 bc
2	SON-T 60 + CO ₂	13.3 a	3.8 a	14.2 ab	8.8 b	13.6 a	7.3 b
3A	LED blauw/rood + CO ₂	14.0 a	4.0 a	12.9 a	5.4 a	12.9 a	5.4 a
3B	LED breedband ('wit') + CO ₂	13.6 a	4.1 a	15.6 b	9.8 b	14.3 a	8.2 bc
4A	SON-T 90 (12u) + LED stuurlicht	13.6 a	6.7 b	13.2 a	9.1 b	14.1 a	10.7 d
4B	SON-T 90 (12u)	12.9 a	7.2 b	13.4 a	8.8 b	14.2 a	9.6 cd
				Data 2^e trek			
1	SON-T 90	14.4 b	8.5 d	13.3 a	8.5 a	13.6 a	11.1 c
2	SON-T 60 + CO ₂	13.5 b	6.9 c	13.1 a	10.7 a	14.4 a	8.4 bc
3A	LED blauw/rood + CO ₂	12.2 a	4.8 a	13.7 a	6.7 a	13.6 a	4.6 a
3B	LED breedband ('wit') + CO ₂	12.4 a	5.1 a	14.3 a	9.6 a	12.4 a	7.2 ab
4A	SON-T 90 (12u) + LED stuurlicht	12.6 a	6.0 b	13.0 a	11.0 a	12.9 a	8.2 b

Tabel 11. Aantal goede en verdroogde knoppen en knoplengte voor de drie rassen. Verschillende letters (a, b, c) geven statistisch significante verschillen tussen de gemiddelden aan (Fisher's LSD, $\alpha < 0.05$; $n=50$).

Nr	Behandeling	Oriëntal Brindisi		Oriëntal Trompet Robina		LA Santander	
		aantal goede knoppen	aantal verdroogde knoppen	knoplengte	aantal goede knoppen	aantal verdroogde knoppen	knoplengte
Data 1^e trek							
1	SON-T 90	5.0 a	0.5 b	9.5 a	3.2 a	0.8 a	11.9 a
2	SON-T 60 + CO ₂	4.9 a	0.3 a	9.6 a	3.3 a	0.7 a	12.1 ab
3A	LED blauw/rood + CO ₂	5.0 a	0.4 ab	9.7 a	3.0 a	0.7 a	12.8 c
3b	LED breedband ('wit') + CO ₂	5.1 a	0.3 a	9.6 a	3.2 a	0.7 a	12.0 a
4A	SON-T 90 (12u) + LED stuurlicht	4.9 a	0.5 b	9.5 a	3.1 a	0.8 a	12.4 b
4B	SON-T 90 (12u)	4.9 a	0.5 b	9.6 a	3.0 a	0.8 a	12.9 c
Data 2^e trek							
1	SON-T 90	5.2 b	0.5 c	9.7 a	2.8 a	1.0 a	12.2 a
2	SON-T 60 + CO ₂	4.8 a	0.2 ab	9.7 a	3.1 a	1.0 a	12.2 a
3A	LED blauw/rood + CO ₂	5.1 ab	0.3 bc	9.6 a	3.2 a	0.9 a	13.4 b
3B	LED breedband ('wit') + CO ₂	5.0 ab	0.1 a	9.5 a	2.9 a	0.9 a	12.3 a
4A	SON-T 90 (12u) + LED Stuurlicht	4.9 ab	0.3 abc	9.8 a	3.3 a	0.9 a	12.4 a
					aantal goede knoppen	aantal verdroogde knoppen	knoplengte
					4.1 ab	0.1 a	11.9 b
					3.8 a	0.3 ab	11.6 a
					4.3 b	0.3 ab	12.0 b
					4.1 ab	0.2 ab	12.4 c
					4.2 b	0.4 b	11.7 ab
					4.2 b	0.2 ab	11.8 ab
					3.6 a	0.3 b	12.2 a
					3.7 a	0.1 ab	12.9 c
					3.8 a	0.1 a	13.5 d
					3.7 a	0.2 ab	13.0 c
					3.7 a	0.0 a	12.6 b

3.4 Discussie

3.4.1 *Effect van CO₂ bij Lelie*

In de lelieteelt is het niet gebruikelijk om CO₂ te doseren. Eerder onderzoek van PPO (Kok en Van Aanholt, 2004; Slootweg *et al.*, 2010) heeft namelijk aangetoond dat er bij Oriëntals geen opbrengstverhoging werd gevonden. Bij Aziaten en LA-hybriden resulteerde CO₂-dosering gemiddeld een 10% zwaardere tak. Op basis van deze resultaten is de conclusie getrokken dat de geringe opbrengstverhoging de aanschaf van een CO₂-doseersysteem ook bij LA-hybriden niet rechtvaardigt (Slootweg *et al.*, 2010). Recent onderzoek door Plant Lighting en Plant Dynamics heeft echter aangetoond dat de fotosynthese van Oriëntals flink toeneemt bij verhoging van de CO₂ concentratie tot ongeveer 900 ppm (Trouwborst *et al.*, 2013). CO₂ dosering verhoogt dus wel de bladfotosynthese, maar niet het takgewicht. Hier lijkt op het eerste gezicht sprake te zijn van tegenstrijdige conclusies. Uit onderstaande analyse blijkt dat dit niet zo hoeft te zijn.

De vraag is welke plantkundige processen aan dit verschil in uitkomst ten grondslag liggen. Lelie is een bolgewas waarbij de assimilatenbehoefte gedeeltelijk door de bol voorzien wordt. Tevens heeft lelie een gedetermineerde groei: Er komt maar één tak uit een bol, er is geen mogelijkheid voor zijtakken en ook het maximale aantal knoppen ligt al vast. Daaruit valt te concluderen dat er een punt is waarop een lelie verzadigd is in de hoeveelheid assimilaten die het kan benutten om een maximaal takgewicht en volledige knopontwikkeling te bereiken. Als de aanmaak van assimilaten hoger is dan de tak kan benutten, dan worden de extra aangemaakte assimilaten waarschijnlijk geïnvesteerd in de bol, en/of mogelijk reguleert de fotosynthese zich terug.

Als bovenstaande redenering juist is, dan heeft CO₂-dosering inderdaad geen zin bij voldoende belichting. In het onderzoek van Slootweg *et al.* (2010) werd CO₂ juist als extra factor toegevoegd. Als door de lichtintensiteit al (grotendeels) voldaan is aan de assimilatenbehoefte van de tak, dan zijn de resultaten uit dat onderzoek logisch: de lelietakken werden door toevoeging van CO₂ niet of nauwelijks zwaarder. Maar bij lagere lichtniveaus zou extra CO₂ dan wel moeten leiden tot de benodigde aanmaak van assimilaten voor een maximaal takgewicht. Uit de huidige proef is deze redenering bevestigd: De lelies opgegroeid bij 60 µmol/m²/s belichting en 800 ppm CO₂ deden qua takgewicht en kwaliteit niet onder voor de lelies opgegroeid bij 90 µmol/m²/s belichting en 450 ppm CO₂. Dit gold voor alle getoetste rassen (LA Brindisi, OT Robina en Oriëntal Santander).

Overigens is de in dit onderzoek toegepaste concentratie van 800 ppm CO₂ niet per definitie de ideale concentratie voor de praktijk: Uit het onderzoek "Meer rendement uit belichting en CO₂ dosering" blijkt dat fotosynthese van lelie duidelijk nog omhoog gaat tot een

concentratie van 900 ppm (zie Trouwborst et al, 2013a). En een lagere dosering tot bijvoorbeeld 600 ppm geeft dan wel geen maximale fotosynthese, maar nog wel een forse verhoging ten opzichte van 400 ppm. Uiteindelijk moet de praktijk de optimale balans berekenen tussen de kosten van CO₂ doseren en de verwachte meeropbrengst.

3.4.2 *Overwegingen bij aanschaf CO₂-doseringssysteem*

Voor plantengroei is niet de dosering van CO₂ (in kg/ha/uur) belangrijk, maar de hoogte van de CO₂-concentratie in de kas en uiteindelijk de concentratie in het blad. Uit de praktijk blijkt dat een aantal lelietelers zonder CO₂-dosering al een vrij hoge concentratie CO₂ in de kas hebben. Deze concentratie kan wel oplopen tot 1000 ppm en komt alleen lager uit als de ramen open zijn (persoonlijke mededeling F. Galema). Het is niet geheel duidelijk waar deze CO₂ uit vrijkomt. Gedeeltelijk kan dit voortkomen uit de potgrond waarin de lelies groeien. Maar gedeeltelijk kan dit ook komen uit de ondergrond van de kas. Bijvoorbeeld als de kas op veengrond staat. Hoe dan ook, in zulke gevallen heeft extra CO₂-dosering dus geen nut! Iedere teler die overweegt om CO₂ te gaan doseren doet er goed aan om het verloop van de CO₂ concentratie in zijn kas eerst enige tijd te monitoren.

Een andere overweging is dat de broei van Lelie een relatief koude teelt is, waardoor de warmtevraag en dus de hoeveelheid CO₂ die vrijkomt uit rookgas lager is dan gewoonlijk in de glastuinbouw. Mogelijk zal er dus externe CO₂ aangekocht moeten worden (OCAP of zuivere CO₂). Het is aan te bevelen om een economische haalbaarheidsstudie naar de combinatie CO₂ en vermindering belichting uit te voeren.

3.4.3 *Direct willen besparen met belichting?*

Op bestaande bedrijven is het niet altijd eenvoudig om de lichtintensiteit van de SON-T belichting te verlagen van 90 naar 60 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. De makkelijkste manier om te besparen is de belichting per dag korter aan te zetten. Op basis van berekeningen met het model van Wildschut en Kok (2007) is gekozen om 4 uur minder te belichten. Deze behandeling resulteerde tijdens de 1^e trek in een iets lagere kwaliteit (minder stevigheid), terwijl de kwaliteit gedurende de 2^e trek niet of nauwelijks onderdeed voor de controle. De takkwaliteit hangt dus mede af van de hoeveelheid buitenlicht dat er gratis bij komt (15% meer buitenlicht gedurende de 2^e trek). In de proef was de lichttransmissie van buiten naar binnen beduidend lager dan gebruikelijk in de praktijk: De proefkas was ingebouwd tussen andere proefkassen en er zijn gevelschermen gebruikt om strooilicht van buurkassen te weren. In de praktijk zal er dus meer daglicht binnenkomen, zodat mogelijk 4 uur minder belichten wel haalbaar is, ook gedurende de periode van de eerste trek. Juist door bij deze behandeling CO₂ toe te voegen zal het assimilatie-niveau verder opgekrikt kunnen worden, zodat de takkwaliteit zal stijgen.

Er zijn wel twee aandachtspunten met betrekking tot korter belichten in relatie tot de trekduur:

1. Er kan op twee manieren korter worden belicht: De natuurlijke dag vervroegen of verlengen. Als de dag vervroegd wordt, dan is er geen stuurlicht nodig in de namiddag, omdat het daglicht ook fytochroom A aanstuurt. Als de dag verlengd wordt gaat Lelie niet 'natuurlijk' de nacht in en wordt de trekduur mogelijk langer. Echter, het SON-T spectrum bevat waarschijnlijk wel genoeg verrood om teeltduurvertraging te voorkomen. Dagverlenging met SON-T zou kunnen resulteren in een kortere tak dan bij dagvervroeging.
2. In de behandeling SON-T 90 (12 uur) werd de koptemperatuur in de namiddag te laag. Hier kan actief op gestuurd worden (stoken en energiescherm) zodat de koptemperatuur niet te laag wordt en zo voor teeltduurvertraging kan zorgen.

Verder is het aan te bevelen om de belichting op tijd af te schakelen bij voldoende instraling van daglicht. Hiervoor kunnen de gegevens over de benutting van het assimilatielicht bij verschillende instralingsniveaus uit het project "Meer rendement uit belichting en CO₂ dosering" worden gebruikt (zie Trouwborst et al, 2013a).

3.4.4 *Overstappen op LED-belichting?*

Deze proef heeft duidelijk laten zien dat het lichtspectrum van de LED-belichting een enorm groot effect heeft op de teeltduur. LED blauw/rood was 7-13 dagen trager dan LED breedband ('wit'). Deze vertraging in bloei onder LED blauw/rood heeft te maken met het feit dat LED blauw/rood niet in staat is om fytochroom A te activeren, terwijl LED breedband dit wel kan. Deze informatie is cruciaal om de overstap naar LED-belichting—als dit economisch haalbaar is—goed te laten verlopen. Zonder aanpassingen SON-T vervangen door LED blauw/rood blijkt bij lelie absoluut af te raden.

4 Conclusies

De conclusies zijn gegroepeerd onder de drie hoofddoelen.

Doel: Minder belichten met behoud van kwaliteit:

- Gelijke prestatie lelietrek bij 60 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ SON-T + CO₂ t.o.v. 90 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ SON-T: Door CO₂-dosering blijkt dus een forse energiebesparing mogelijk!
- SON-T 90 kort (12 uur belicht, geen CO₂ dosering, met of zonder aanvullend stuurlicht): In de eerste trek net wat minder stevige takken en de bollen waren verder leeggezogen; in de 2e trek nauwelijks verschil met de controle.
 - In de praktijk is de kastransmissie hoger en komt dus meer daglicht binnen. De verwachting is dat daardoor de resultaten verbeteren.
 - De kwaliteit valt zeer waarschijnlijk ook verder te verbeteren door CO₂ dosering. Dit is een manier om direct te kunnen besparen op elektriciteit, zonder daarvoor de bestaande belichtingsinstallatie te hoeven aanpassen.

Doel: Voorkomen overmatige strekking:

- LED blauw/rood (behandeling 3A) geeft niet de beoogde lengtereductie en extra takstevigheid. Waarschijnlijk komt dit door de forse bloeivertraging die zich voordeed bij dit lightspectrum (behalve bij de LA Brindisi).

Doel: Voldoende teeltsnelheid behouden:

- Bij de toepassing van LED als groeilicht is het kleurenspectrum cruciaal voor de trekduur (behalve voor LA Brindisi). Standaard rood/blauwe LED's voldoen niet, LED breedband ('wit') leidt wel tot voldoende teeltsnelheid.
- De verlenging van de dag bij de behandeling SON-T 90 kort (12 uur belicht) tot 16 uur met 10 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ LED stuurlicht (behandeling 4A) verkorte de trekduur wel iets, maar het effect lijkt te marginaal voor praktijktoepassing.

Verder viel bij de houdbaarheidsproeven op dat de behandeling LED blauw/rood eerder bladvergelting gaf, mogelijk vanwege minder gibbereline-aanmaak in de plant.

Referenties

- Blom TJ, Tsujita MJ, Roberts GL.** 1995. Far-red at end of day and reduced irradiance affect plant height of Easter and Asiatic hybrid lilies. *Hortscience*, 30: 1009-1012.
- Brooymans EACM, Gude H, Kok BJ.** 1991. Dagverlenging bij Oriental-lelies SL*R-agrolamp en LED kunnen gloeilamp niet verdringen. Bloembollencultuur nr. 24, 1991.
- Dueck T, Pot CS.** 2010. Lichtmeetprotocol Lichtmetingen in onderzoekskassen met LED en SONT belichting. Wageningen, Wageningen UR Glastuinbouw, 18p.
- Harkema H, Woltering EJ.** 2012. Flower life. Ontwikkeling van duurzame bloembehandelingstechnologieën. Wageningen: Wageningen UR Food & Biobased Research, 57.
- Hendriks CHM.** 1986. Dagverlenging bij Lelies, Bloei Orientals kan worden vervroegd. Bloembollencultuur nr. 50, 1986.
- Hogewoning SW, Pot CS, Meinen E, Trouwborst G, Kempkes F.** 2013. Stuurlicht in de glastuinbouw: kansen voor energiebesparing. Wageningen: Wageningen UR glastuinbouw, 41p.
- Hogewoning SW, Trouwborst G, Maljaars H, Poorter H, van Ieperen W, Harbinson J.** 2010. Blue light dose-responses of leaf photosynthesis, morphology, and chemical composition of *Cucumis sativus* grown under different combinations of red and blue light. *J. Exp. Bot.* **61**, 3107-3117.
- Kok H, Van Aanholt H.** 2004. Onderzoek naar aspecten bij leliebroei. Lisse: Praktijkonderzoek plant en omgeving, 92p.
- Kok H.** 2006. Voorbehandeling Lelie met BVB. Lisse: Praktijkonderzoek plant en omgeving, 25p.
- Kok H, Wildschut J.** 2010. LED belichting tijdens het voortrekken van lelie. Lisse: Praktijkonderzoek plant en omgeving, 43p.
- Lagercrantz U.** 2009. At the end of the day: a common molecular mechanism for photoperiod responses in plants? *Journal of experimental botany* **60**, 2501-2515.
- Schapendonk AHCM, Pot CS.** 2008. Fotosynthese Onderzoek bij Lelie in relatie tot CO₂ en licht. Wageningen: Plant Dynamics B.V., 27p.
- Slootweg G, Kok H, Van Aanholt H.** 2010. CO₂-bemesting Lelie. Lisse: Praktijkonderzoek plant en omgeving, 21p.
- Taiz L, Zeiger E.** 2010. Plant Physiology. Sunderland: Sinauer, 782p.
- Trouwborst G, Hogewoning SW, Harbinson J, van Ieperen W.** 2011. Photosynthetic acclimation in relation to nitrogen allocation in cucumber leaves in response to changes in irradiance. *Physiologia Plantarum* **142**, 157-169.
- Trouwborst G, Pot CS, Schapendonk AHCM.** 2012. Knopuitloop bij roos: effecten van stuurlicht en temperatuur. Wageningen: Plant Dynamics B.V., 33.
- Trouwborst G, Hogewoning SW, Pot CS.** 2013a. Meer rendement uit licht en CO₂ bij Lelie. Bunnik: Plant Lighting B.V. & Plant Dynamics B.V., 25p.

- Trouwborst G, Hogewoning SW, Pot CS.** 2013b. Stuurlicht bij de tijd, Deelrapport binnen het project: 'Stuurlicht in de glastuinbouw, kansen voor energiebesparing'. Bunnik: Plant Lighting B.V., 61p
- Van Ieperen W, Heuvelink E.** 2012. Compacte planten door geïntegreerde Groeiregulatie Deelverslag 1: Compacte Planten onder LEDs Kan LED-technologie bijdragen aan verbetering van compactheid bij pot- en perkplanten? Wageningen: Wageningen Universiteit, Leerstoelgroep Tuinbouwketens, 44p.
- Whitelam G, Halliday K.** 2007. *Light and plant development*, Oxford, Blackwell Publishing.
- Wildschut J, Kok H.** 2007. Bedrijfseconomisch beslismodel voor belichting en kasverwarming bij de leliebroei. Energie-efficiënter broeien door een hogere kastemperatuur. Lisse: Praktijkonderzoek plant en omgeving, 24p.