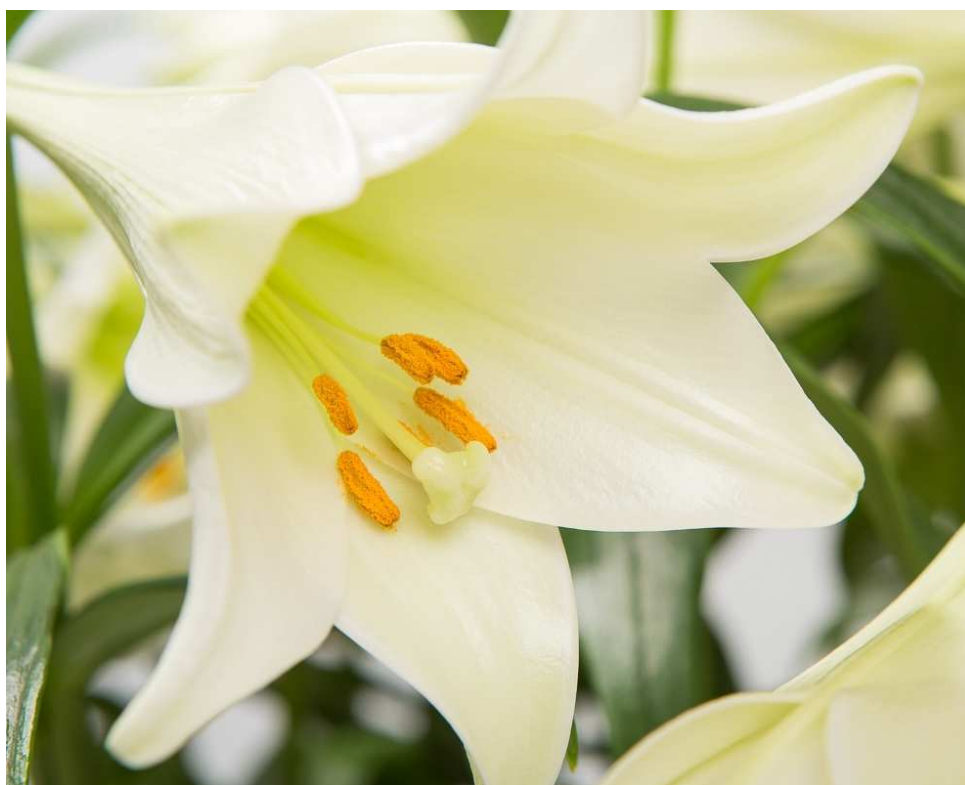


Belichting en CO₂ in de lelieteelt II: een strategie voor energiebesparing



Juni 2015

S.W. Hogewoning, G. Trouwborst (Plant Lighting B.V.)

G. Slootweg, J.T.M. van Aanholt (PPO Lisse)

B.J. Kok, P.H. van Baar, R. van der Burg (DLV-Plant / GreenQ Improvement Center)

A.H.C.M. Schapendonk (Photosyntax B.V.)

C. Rappoldt (Ecocurves B.V.)

Belichting en CO₂ in de lelieteelt II: een strategie voor energiebesparing

Juni 2015

S.W. Hogewoning¹, G. Trouwborst¹, G. Slootweg², J.T.M. van Aanholt², B.J. Kok^{3,4}, P.H. van Baar³, R. van der Burg³, A.H.C.M. Schapendonk⁵ en C. Rappoldt⁶

¹Plant Lighting B.V.

Veilingweg 46
3981 PC Bunnik

²PPO, Bloembollen, Boomkwekerij en Fruit

Professor van Slogterenweg 2
2161 DW Lisse

³GreenQ Improvement Center

Violierenweg 4
2665 MV Bleiswijk

⁴DLV plant

Weeresteinstraat 10
2181 GA Hillegom

⁵Photosyntax B.V.

Englaan 8
6703 EW Wageningen

⁶Ecocurves B.V.

Kamperfoelieweg 17
9753 ER Haren

REFERAAT

S.W. Hogewoning, G. Trouwborst, G. Sloomweg, J.T.M. van Aanholt, B.J. Kok, P.H. van Baar, R. van der Burg, A.H.C.M. Schapendonk en C. Rappoldt. 2015. Belichting en CO₂ in de lelieteelt II: een strategie voor energiebesparing. Plant Lighting B.V., Bunnik. 52p.

Projectnummer programma Kas als Energiebron: 15088



Ministerie van Economische Zaken



© 2015 Plant Lighting B.V.

Dit rapport is tot stand gekomen in samenwerking met het ministerie van Economische Zaken en LTO Glaskracht Nederland 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.

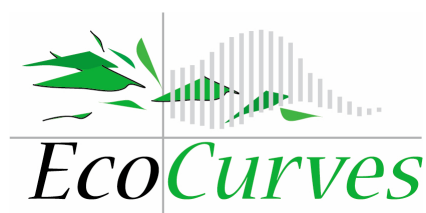
Inhoudsopgave

SAMENWERKENDE PARTIJEN	5
SAMENVATTING	6
DANKWOORD	8
1 INLEIDING EN DOELSTELLINGEN	9
1.1 Inleiding	9
1.2 Aanleiding onderzoek	9
1.3 Onderzoeksvragen	10
1.4 Onderbouwing 'totaalconcept energiebesparing'	11
2 MATERIAAL EN METHODEN	14
2.1 Behandelingen	14
2.2 Plantmateriaal en teelt	16
2.3 Strategie belichting en temperatuur kas 1 en 2 (CO ₂ -proef)	17
2.4 Strategie belichting en temperatuur kas 3 (totaalconcept)	18
2.5 Metingen	20
3 RESULTATEN EN DISCUSSIE	21
3.1 Klimaat 1 ^e en 2 ^e trek	21
3.2 Oogstwaarnemingen 1 ^e en 2 ^e trek	24
4 ENERGIEBESPARING: EFFECTEN AFZONDERLIJKE MAATREGELEN BINNEN HET TOTAALCONCEPT	32
4.1 Inleiding	32
4.2 De basisrun en variaties hierop	32
4.3 Resultaten energie-berekeningen	33
4.4 Gebruik van een energiescherm	35
5 DISCUSSIE EN CONCLUSIES	37
5.1 Effect van assimilatielicht en CO ₂ bij Lelie	37
5.2 Kansen voor energiebesparing in de lelieteelt	38
5.3 Conclusies	41
REFERENTIES	42
BIJLAGE 1 LEAF AREA INDEX LELIETEELT	43
BIJLAGE 2 ACHTERGRONDEN BEREKENINGEN MET EXPLORER	44

Samenwerkende partijen



Ministerie van Economische Zaken



Samenvatting

Inleiding

Moderne lelie-bedrijven belichten veelal met $\pm 90 \mu\text{mol SON-T}$ (6000 tot 8000 lux) gedurende 16 tot 20 uur per dag. Dit vraagt veel energie. In de lelieteelt wordt vrijwel geen CO_2 -dosering toegepast, omdat onderzoek aangetoond heeft dat dit weinig tot geen effect heeft. Echter, de fotosynthese wordt door CO_2 doseren tot 800 à 900 ppm wel aanzienlijk verhoogd (recent onderzoek door Plant Dynamics en Plant Lighting). Om deze reden is in de winter van 2013-2014 bij drie lelie-rassen de volgende hypothese getoetst: *“Bij een suboptimale intensiteit belichting met CO_2 -dosering kan eenzelfde takgewicht gerealiseerd worden als bij een optimale lichtintensiteit zonder CO_2 -dosering”*. Inderdaad bleek dat de lelies bij $60 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ belichting plus CO_2 -dosering gelijk presteerden aan $90 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ zonder CO_2 -dosering. Dit resultaat deed de vraag rijzen of het gewas ook bij $60 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ belichting zonder CO_2 -dosering even goed gepresteerd zou hebben. Als dat zo zou zijn, dan is op basis van bovenstaande hypothese te verwachten dat de intensiteit belichting nog verder omlaag kan, en dat het tekort aan assimilaten-productie met CO_2 -dosering kan worden gecompenseerd.

Aan dit vervolgonderzoek liggen twee onderzoeksvragen ten grondslag:

- Hoeveel kan worden bespaard op belichting door het gebruik van CO_2 -dosering?
- Toetsing ‘totaalconcept energiebesparing’: Kan nog verder gegaan worden met energiebesparing met behoud van voldoende kwaliteit?

Het ‘totaalconcept energiebesparing’ combineert verschillende inzichten uit eerdere lelie-onderzoeken, die allen kunnen bijdragen aan energiebesparing. De vier pijlers daarvan zijn:

1. Een lagere intensiteit belichting compenseren door CO_2 -dosering.
2. Eerder afschakelen belichting bij voldoende daglicht-instraling.
3. 40% armaturen permanent uit gedurende enige weken aan begin en einde van de teelt
4. Temperatuur: Later luchten bij hoge instraling en bij weinig instraling een lagere stooktemperatuur aanhouden. Zo wordt CO_2 beter benut, want hoe meer licht, hoe meer extra fotosynthese door CO_2 . Bovendien kan zo worden bespaard op stookkosten.

Individueel biedt ieder inzicht handvatten voor energiebesparing. Maar juist door het combineren van de verschillende inzichten zou een grote stap op gebied van energiebesparing gemaakt moeten kunnen worden (streefwaarde 50%).

Proefopzet

Er zijn zeven behandelingen uitgevoerd in drie kascompartimenten. Twee kascompartimenten (met en zonder CO_2 -dosering) bevatten drie behandelingen met oplopende lichtintensiteit: 45, 60 en $90 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ SON-T. In de derde kas werd het ‘totaalconcept lelie’ getoetst. De proef met rassen ‘Brindisi’ (LA), ‘Robina’ (OT), ‘Santander’ (Oriëntal) en ‘White Heaven’ (Longiflorum) is tweemaal uitgevoerd met een teeltwissel rondom de kortste dag.

Details van de behandelingen. Er werd belicht tussen 2:00-18:00.

Kas	behandeling	Lichtintensiteit SON-T ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	CO ₂ (ppm)	Verbruik elektra
1	45 μmol SON + 450 ppm CO ₂	45	450	50%
1	60 μmol SON + 450 ppm CO ₂	60	850	67%
1	90 μmol SON + 450 ppm CO ₂	90	850	100%
2	45 μmol SON + 850 ppm CO ₂	45	850	50%
2	60 μmol SON + 850 ppm CO ₂	60	450	67%
2	90 μmol SON + 850 ppm CO ₂	90	450	100%
3	'totaalconcept Lelie'	60	850	~50%
	60 μmol SON + 850 ppm CO ₂			

Samenvattende conclusies

Hoeveel kan worden bespaard op belichting door het gebruik van CO₂-dosering?

- De lelies presteren bij 60 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ belichting plus CO₂ dosering altijd gelijk of iets beter dan onder 90 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ belichting zonder CO₂ dosering.
- De lelies van twee trekken met vier rassen onder 60 μmol belichting zonder CO₂ dosering presteren gelijk (6*) of minder (2*) dan onder 90 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ belichting zonder CO₂ dosering.
- Tijdens de eerste trek kon de belichting verder terug naar 45 μmol , zeker als dit gepaard gaat met CO₂ dosering. Tijdens de tweede trek was dit niet mogelijk.
- De ondergrens qua belichting ten aanzien van de takkwaliteit is dus deels afhankelijk van hoeveel licht die er van buiten komt. Bij de eerste trek was 45 μmol met CO₂-dosering voldoende, bij de tweede trek niet.
- Bovenstaande resultaten hangen nauw samen met de gerealiseerde etmaaltemperatuur van 17°C. Bij een snellere teelt door een hogere etmaaltemperatuur zal ook 45 μmol met CO₂-dosering niet voldoende zijn.

Toetsing 'totaalconcept energiebesparing': Kan nog verder gegaan worden met energiebesparing met behoud van voldoende kwaliteit?

- In grote lijnen werkt het totaalconcept. Wel is de soms iets langere stengellengte en de hogere slap-index t.o.v. kas 2 (met CO₂ dosering, geen totaalconcept) een aandachtspunt.
- Buiten de belichting reduceren van 90 μmol naar 60 μmol met CO₂-dosering om (33% besparing), kan er tot 20% bespaard worden door de belichting af stemmen op het groeistadium, door de S-curve van het gewas te volgen: (1) door de helft van de belichting (40% in de proef) uit te schakelen aan het begin en einde van de teelt (max. 15% besparing) en (2) door het laten verlopen van de daglichtdrempel waarboven de belichting aanschakelt (max. 5%).
- Alle vermindering in belichting leidt tot een verhoging in gasverbruik, dit kan oplopen tot zo'n 2 m³ gas.
- Energiebesparing door lagere setpoints voor temperatuur bleek beperkt (0.3 m³ = 4% besparing op gas).

Dankwoord

Dit rapport bevat de resultaten van het onderzoeksproject 'Energiebesparend teeltconcept lelie: 50% besparing'. Dit project is ondersteund door het programma 'Kas als Energiebron', gefinancierd door het Ministerie van Economische Zaken en het Productschap Tuinbouw. Dit onderzoek is gebaseerd op plantfysiologische 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: De leliëkwekers Fokke Galema (Kwekerij A. Bakker & Zn.), Kees van Paridon (Paauw Lilies), Otto de Ruiter (Connecting Lilies), Kees van Dijk (Bloemkwekerij CPM van Dijk) en Levi Evers (Bredefleur) worden bedankt voor hun positief-kritische bijdrage in de BCO. Fokke Galema zijn we tevens erkentelijk voor het beschikbaar stellen van kas- en klimaatgegevens voor de energie-analyse. Otto de Ruiter wordt bedankt voor het beschikbaar stellen van de foto op de voorkant van dit rapport. Maarten Klein wordt bedankt voor het mede organiseren van dit project. Simone de Vreede wordt bedankt voor uitvoering van een aantal metingen. Jan Barendse (LTO-Groei-service) dank voor het coördineren van de BCO en de open dagen. Als laatste willen we de onderzoekscoördinatoren Dennis Medema en Leo Oprel van het programma Kas als Energiebron bedanken voor hun steun bij de totstandkoming van dit project.

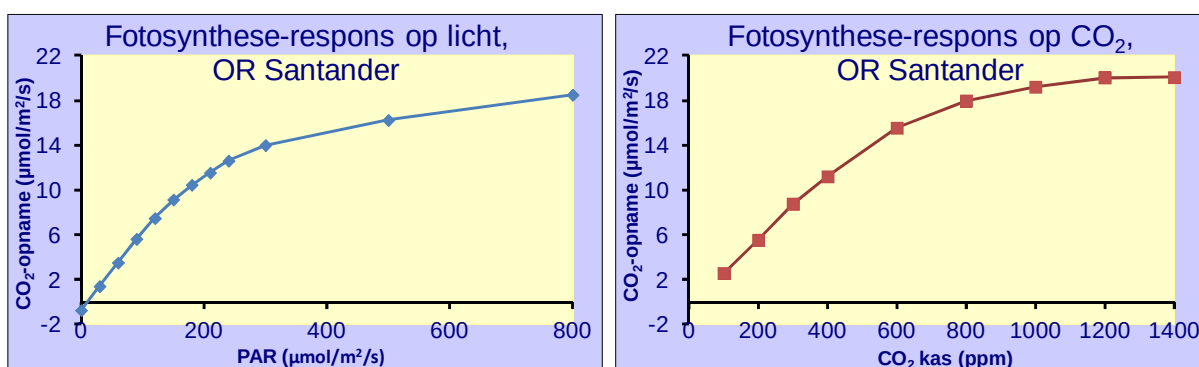
Juni 2015,

Sander Hogewoning

1 Inleiding en doelstellingen

1.1 Inleiding

In Nederland wordt ± 200 hectare lelie belicht in de winter. De moderne bedrijven belichten veelal met $\pm 90 \mu\text{mol SON-T}$ (6000 tot 8000 lux) gedurende 16 tot 20 uur per dag. Dit vraagt veel energie. In de lelieteelt wordt vrijwel geen CO_2 dosering toegepast, omdat onderzoek uit het verleden aangetoond heeft dat de toegevoegde waarde daarvan voor Oriënta lilies nihil is (Slootweg et al, 2010). Hetzelfde onderzoek toonde wel een effect van CO_2 bij Aziaten en LA-hybriden (10% meer takgewicht). Echter, recent onderzoek toont overtuigend aan dat CO_2 doseren tot zo'n 800 ppm de fotosynthese van Oriëntals *wel* aanzienlijk verhoogd (Trouwborst et al. 2013).



Figuur 1. Lichtrespons (links) en CO_2 respons (rechts) van de fotosynthese van een topblad van de Oriënta lolie 'Santander'. De lichtresponscurve is gemeten bij 800 ppm en de CO_2 -responsecurve is gemeten bij 800 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ PAR (metingen februari 2014, Bron: Hogewoning et al. 2014).

1.2 Aanleiding onderzoek

Dit gegeven gaf aanleiding tot de gedachte dat het nut van CO_2 dosering bij lelie afhangt van de overige teeltomstandigheden: In tegenstelling tot tulp levert een leliebol onvoldoende assimilaten om een goede kwaliteit lelie te produceren. Voor lelie is de productie van assimilaten vanuit de fotosynthese dus wel degelijk van belang. Feit is dat een toename van zowel de hoeveelheid licht als van de concentratie CO_2 de fotosynthese-snelheid verhogen, en daarmee de productie van assimilaten (Figuur 1). Omdat lelie een bolgewas is waarbij het aantal knoppen al vastligt in de bol, zit er ook een grens aan de hoeveelheid assimilaten die een lelie nodig heeft om een maximaal takgewicht te bereiken. Dus bij voldoende licht om een maximaal takgewicht te bereiken zal een verhoging van de fotosynthese-snelheid door CO_2 dosering niet leiden tot meer takgewicht of knop. Mogelijk worden de extra aangemaakte suikers dan geïnvesteerd in de bol (=afval in de leliebroei). Als dat zo is, dan heeft CO_2 dosering inderdaad geen zin bij voldoende belichting, maar wél bij lagere lichtniveaus.

Op basis hiervan is vorig jaar (winter 2013-2014) bij drie lelie-rassen (LA 'Brindisi', Oriental 'Santander' en Oriental Trumpet 'Robina') de volgende hypothese getoetst: "Bij een suboptimale

intensiteit belichting kan met CO₂ dosering eenzelfde takgewicht gerealiseerd worden als bij een optimale lichtintensiteit zonder CO₂ dosering.” Uit dit onderzoek bleek inderdaad dat de lelies bij 60 µmol/m²/s belichting plus CO₂ dosering gelijk presteerden aan 90 µmol/m²/s belichting zonder CO₂ dosering (Hogewoning et al. 2014). Dit gegeven biedt de lelieteelt kans voor een flinke besparing op elektriciteit.

Wel deed dit resultaat de vraag rijzen of het gewas ook bij 60 µmol/m²/s belichting zonder CO₂ dosering even goed gepresteerd zou hebben. Als dat al zo zou zijn, dan is op basis van bovenstaande redenering te verwachten de intensiteit belichting nog verder omlaag kan en dat dan het tekort aan productie van assimilaten met CO₂ dosering kan worden gecompenseerd.

1.3 Onderzoeksvragen

Dit onderzoek omvat twee onderzoeksvragen:

1. Hoeveel kan worden bespaard op belichting met CO₂?

Kort samengevat wordt deze vraag beantwoord door twee proefkassen in te richten. In kas 1 wordt geen CO₂ gedoseerd (controle-kas: ~450 ppm CO₂) en in kas 2 wordt wel CO₂ gedoseerd (850 ppm). In beide kassen worden 3 verschillende belichtingsniveau 's gehanteerd: 90, 60 en 45 µmol SON-T. Verdere details staan in Hoofdstuk 2. Hiermee wordt het volgende helder:

- Presteren de lelies bij 60 µmol/m²/s belichting plus CO₂ dosering gelijk aan 90 µmol/m²/s belichting zonder CO₂ dosering? (Bevestiging resultaten winterseizoen '13/'14)
- Zou het kunnen dat 60 µmol ook zonder CO₂ dosering even goed presteert als 90 µmol/m²/s?
- Zo ja, kan dan met CO₂ dosering de belichting nog verder terug?
- Waar ligt qua belichting de ondergrens ten aanzien van takkwaliteit en trekduur?

2. Toetsing 'totaalconcept energiebesparing': Kan nog verder gegaan worden met energiebesparing met behoud van voldoende kwaliteit?

Kort samengevat combineert dit 'totaalconcept energiebesparing' verschillende inzichten uit eerdere lelie-onderzoeken, die allen kunnen bijdragen aan energiebesparing. In kas 3 wordt volgens het 'totaalconcept energiebesparing' geteeld. De vier pijlers daarvan zijn:

1. Een lagere intensiteit belichting compenseren door CO₂-dosering (zie ook vraag 1).
2. Eerder afschakelen belichting bij voldoende daglicht-instraling. Het rendement van belichting duikt namelijk onder de 50% als de daglicht-instraling boven de 120 tot 140W uitkomt (zie Trouwborst et al. 2013). In de praktijk wordt tot 200 à 300W instraling belicht.
3. Gedeelte armaturen permanent uit gedurende enige weken aan het begin en einde van de teelt. Dit bleek te kunnen zonder negatieve gevolgen voor de takkwaliteit (Slootweg en van Aanholt, 2013; zie ook onderbouwing in 1.3).

4. Temperatuur: Later luchten bij hoge instraling en bij weinig instraling een lagere stooktemperatuur aanhouden. Zo wordt CO₂ beter benut, want hoe meer licht, hoe meer extra fotosynthese door CO₂. Bovendien kan zo worden bespaard op stookkosten.

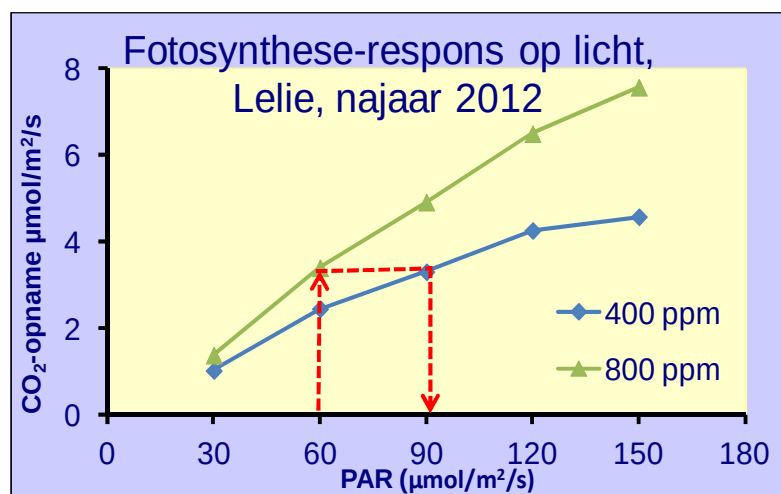
Individueel biedt ieder inzicht handvatten voor energiebesparing. Maar juist door het combineren van de verschillende inzichten zou een grote stap op gebied van energiebesparing gemaakt moeten kunnen worden. Het streven is 50% besparing op elektra met behoud van voldoende takkwaliteit. De energiebesparing is doorerekend met het *Explorer-model* voor de situatie van een commerciële kas.

1.4 Onderbouwing 'totaalconcept energiebesparing'

In hoofdstuk 2.4 staan de details uitgewerkt ten aanzien van de teeltstrategie in kas 3 in het kader van het 'totaalconcept energiebesparing'. Hieronder staat een korte onderbouwing voor elk van de vier pijlers van dit 'totaalconcept energiebesparing'.

Pijler 1: Een lagere intensiteit belichting compenseren door CO₂-dosering

Voor fotosynthese is zowel licht als CO₂ nodig. De fotosynthese kan dus verhoogd worden door meer licht en/of meer CO₂ te doseren (Figuur 1; Figuur 2). 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.



Figuur 2. 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/m²/s 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. 2013).

Pijler 2: Eerder afschakelen belichting bij voldoende instraling

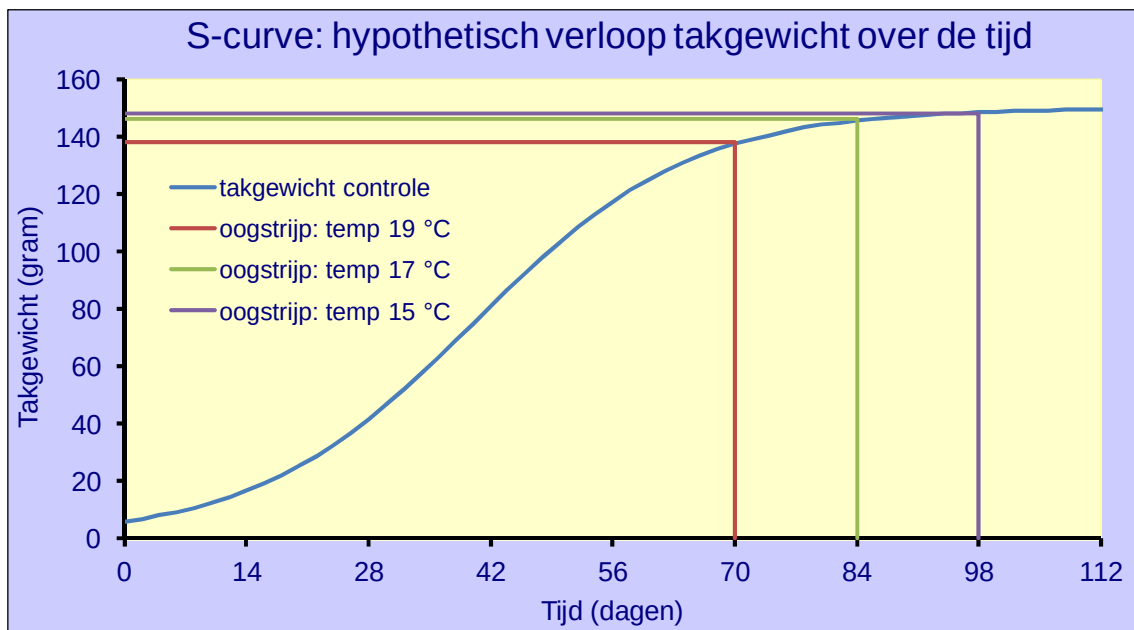
De benutting van licht neemt af naarmate de lichtintensiteit toeneemt (Figuur 1 links). Een lichtintensiteit van 120 tot 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ benut lelie vrijwel volledig, daarboven neemt het rendement snel af. Vanaf 240 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ zakt het rendement snel onder de 50% (zie details in Trouwborst et al 2013). Dat betekent dat het rendement van belichting laag is als er al een aanzienlijke intensiteit daglicht in de kas aanwezig is. Vandaar dat in kas 3 de belichting eerder afgeschakeld wordt: In kas 1 en 2 wordt bij 200W instraling de belichting afgeschakeld, evenals vaak in de praktijk. Dat is $\pm 300 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ in de kas. In kas 3 wordt bij een daglichtdrempel van maximaal 168W afgeschakeld, afhankelijk van het teeltstadium. Zo wordt extra energie bespaard.

Aan het begin en einde van de teelt is de daglichtdrempel in kas 3 nog lager dan 168W, zodat nog extra op energie bespaard kan worden. De daglichtdrempel wordt aan het begin van de teelt stapsgewijs opgevoerd en aan het einde van de teelt stapsgewijs afgebouwd (details in hoofdstuk 2.4). De gedachte hierachter is dat een lelie zich ontwikkelt volgens een zogenaamde 'S-curve' (zie verdere uitleg hieronder en Figuur 3).

Pijler 3: Permanent uitschakelen deel belichting aan begin en einde teelt.

Omdat een lelie zich ontwikkelt volgens een zogenaamde 'S-curve' (Figuur 3) is de behoefte aan assimilaten van het gewas niet gelijk gedurende de gehele teelt. In het begin neemt de biomassa van het gewas slechts langzaam toe, daarna volgt een snelle groei, en vervolgens volgt een periode van bloemontwikkeling waarbij de biomassa van de tak weer langzamer toeneemt. Vooral in de periode van snelle groei is de behoefte van het gewas aan assimilaten relatief groot en wordt dus de hoogste daglichtdrempel gehanteerd (168W). Vanuit deze gedachte lijkt het ook redelijk om niet de gehele teelt met de volle intensiteit bij te belichten. Deze gedachte wordt bevestigd door onderzoek van Slootweg en Van Aanholt (2013). Daarom is de derde pijler van het 'totaalconcept energiebesparing' het uitschakelen van een deel van de belichting gedurende enige weken aan begin en einde teelt.

Hierbij aansluitend de opmerking dat temperatuur een grote invloed heeft op de dagelijkse gewas-behoefte aan assimilaten: Bij een lage temperatuur zal de teelt relatief lang duren en het gewas over de hele teelt gezien meer licht krijgen. In dat geval is een minder hoge fotosynthese-snelheid per dag nodig om de benodigde hoeveelheid assimilaten te produceren voor een maximaal takgewicht. Dit wordt ook duidelijk in Figuur 3. Onder zulke omstandigheden zal CO_2 dosering weinig effect hebben op het takgewicht. Immers, het maximum gewicht wordt dan toch wel bereikt.



Figuur 3. Hypothetisch verloop toename van het takgewicht van lelie in de tijd. De teelttemperatuur bepaalt de ontwikkelingssnelheid van de bloemen. Als de ontwikkelingssnelheid hoog is (rode lijn) en de productie van assimilaten relatief laag, dan zal dat resulteren in oogst van takken die hun maximum gewicht nog niet bereikt hebben. Dat betekent ook dat bij een hogere productie van assimilaten warmer (=sneller) geteeld kan worden, zonder verlies van takgewicht. Let op: Dit is een theoretische benadering die niet gestaafd is met metingen.

Pijler 4: Later luchten bij hoge instraling en bij weinig instraling een lagere stooktemperatuur

Temperatuurintegratie binnen een bandbreedte van 8°C (4° onder of 4° boven de streefwaarde) met een integratie-periode van een week heeft vrijwel geen effect op de kwaliteit (Kok en Van Aanholt, 2004b). Door minder te stoken bij lage instraling, en die lagere temperatuur te compenseren door meer gratis warmte te behouden bij veel instraling, kan worden bespaard op stookkosten. In het 'totaalconcept energiebesparing wordt daarom de stook- en ventilatie-temperatuur afhankelijk gemaakt van de daglicht-instraling (details in hoofdstuk 2.4). Bijkomend voordeel is dat de ramen bij meer instraling langer dicht worden gelaten, waardoor in een praktijksituatie het CO₂ beter in de kas behouden blijft. Zo wordt CO₂ beter benut, want hoe meer licht, hoe meer extra fotosynthese door CO₂. Bovendien neemt de effectiviteit van CO₂ ook nog eens toe bij hogere temperaturen (Long et al. 1996).

Mogelijk nadeel van deze strategie is een groter verschil tussen dag- en nachttemperatuur (positieve DIF), waardoor strekking kan toenemen en meer slappe takken kunnen ontstaan. Om de negatieve effecten hiervan te beperken wordt de nachttemperatuur gelijk gehouden aan die in kas 1 en 2, en wordt alleen een lagere temperatuur aangehouden op die momenten dat er geen of weinig instraling is en de lampen aan zijn.

2 Materiaal en methoden

2.1 Behandelingen

Op basis van de doelstellingen (zie 1.3) zijn er zeven behandelingen uitgevoerd met vier lelierassen per behandeling. De behandelingen zijn twee keer uitgevoerd in de winter van 2014/2015. De eerste trek vond plaats in de periode eind september tot begin december en werd direct opgevolgd door de tweede trek die doorliep tot half maart. Tabel 1 geeft de details weer van de uitgevoerde behandelingen.

De zeven behandelingen werden uitgevoerd in drie kascompartimenten. Drie behandelingen met oplopende lichtintensiteit van 45, 60 en 90 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ SON-T lagen in een controlekas waar geen CO_2 werd gedoseerd. Hier tegenover was een kascompartiment met dezelfde oplopende lichtintensiteit waar CO_2 werd gedoseerd tussen de 800-900 ppm (Figuur 5). Door deze behandelingen kon worden getoetst of door CO_2 -dosering daadwerkelijk de lichtintensiteit SON-T verminderd kan worden zonder kwaliteitsverlies.

In het derde kascompartiment werd CO_2 gedoseerd en maximaal 60 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ SON-T gegeven. In dit compartiment werd het 'totaalconcept Lelie' getoetst. Hierbij werd getracht zoveel mogelijk energie te besparen. De volgende maatregelen werden hiervoor uitgevoerd:

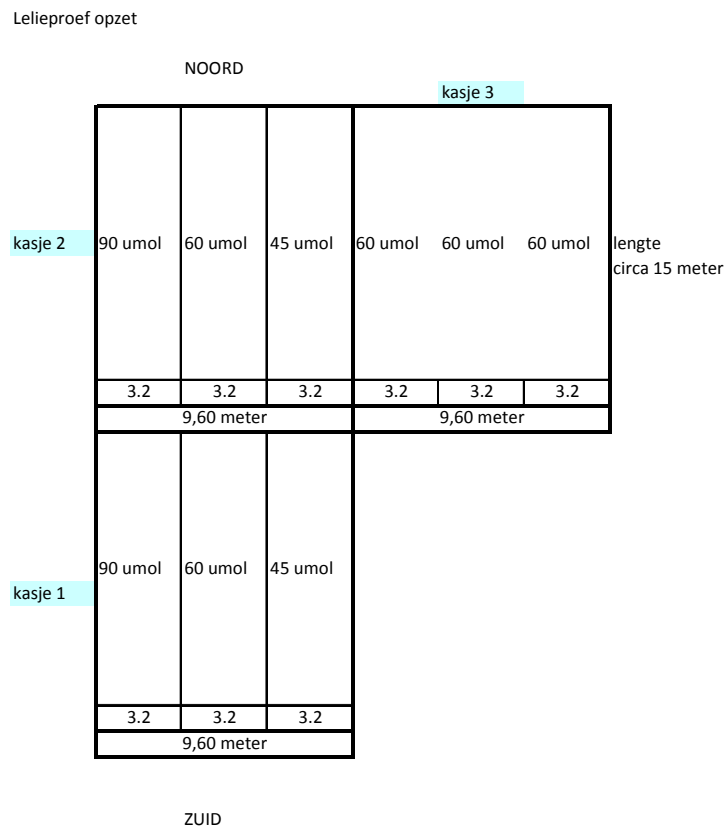
1. Minder belichten maar wel CO_2 -doseren
2. Eerder afschakelen belichting bij voldoende daglicht-instraling
3. 40% armaturen permanent uit gedurende enige weken aan begin en einde van de teelt
4. Temperatuur: Later luchten bij hoge instraling en bij weinig instraling een lagere stooktemperatuur aanhouden. Hierdoor meer effect van CO_2 bij veel zon en mogelijk kortere trekduur mits de gemiddelde teelttemperatuur stijgt.

Tabel 1. Details van de behandelingen. Er werd in principe 16 uur belicht van 2:00-18:00. In kas 3 werd er een hogere en variabele daglichtdrempel gehanteerd afhankelijk van de teeltfase. Tevens werd de lichtintensiteit aan het begin en einde van de teelt verlaagd.

Kas	behandeling	Lichtintensiteit SON-T ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	CO_2 (ppm)	Verbruik elektra
1	45 μmol SON + 450 ppm CO_2	45	450	50%
1	60 μmol SON + 450 ppm CO_2	60	850	67%
1	90 μmol SON + 450 ppm CO_2	90	850	100%
2	45 μmol SON + 850 ppm CO_2	45	850	50%
2	60 μmol SON + 850 ppm CO_2	60	450	67%
2	90 μmol SON + 850 ppm CO_2	90	450	100%
3	'Totaalconcept Lelie'	60	850	~50%*
	60 μmol SON + 850 ppm CO_2			

**)Verbruik elektra hangt hier af van de exacte aan- en afschakelmomenten van de lampen en het aantal teeltdagen waarop 40% van de armaturen permanent was uitgeschakeld. Zie ook Tabel 6 en Tabel 17.*

De zeven behandelingen zijn uitgevoerd in drie aangrenzende kascompartimenten van 144m² bij Improvement Centre te Bleiswijk (Figuur 4). In compartiment 10.1 werd geen CO₂ gedoseerd, hier werden de eerste drie behandelingen uitgevoerd. In de twee andere compartimenten werd 800-900 ppm CO₂ gedoseerd. In compartiment 10.2 werden de tweede drie behandelingen uitgevoerd. In compartiment 10.3 werd het ‘totaalconcept Lelie’ uitgevoerd.



Figuur 4. Plattegrond met de uitgevoerde behandelingen. In compartiment 1 (linksonder) werd geen CO₂ gedoseerd. Compartiment 2 en 3 (links- en rechtsboven) hadden 850ppm als setpoint voor CO₂-dosering. In kas 3 werd het totaalconcept Lelie beproefd.

De verschillende lichtintensiteiten binnen dezelfde kas in kas één en kas twee werden gerealiseerd door gebruik te maken van verschillende typen armaturen en reflectoren Zie Foto 1) . De geplande belichting resulteerde in respectievelijk 90, 60 en 45 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. De controlemetingen aan het lichtniveau zijn uitgevoerd volgens het lichtmeetprotocol van Dueck en Pot (2010).

2.2 Plantmateriaal en teelt

In de proef zijn de volgende vier cultivars getoetst:

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

Voor de 1^e trek zijn Nederlandse bollen gebruikt van de cultivars 'Robina', 'Santander' en 'Brindisi' en Franse bollen van 'White Heaven' gebruikt. Voor de 2^e trek zijn Nederlandse bollen gebruikt voor 'Brindisi', Franse bollen voor 'White Heaven', Chileense bollen voor 'Santander' en Nieuw Zeelandse bollen voor 'Robina'. Alle bollen hadden de ziftmaat 16-18.

Tijdens de 1^e trek werden bij 'Brindisi' en 'Santander' en tijdens de 2^e trek bij 'Santander' en 'Robina', duidelijke tekenen van PLAM-V geconstateerd. De teelt vond plaats in standaard broeikisten (40 x 60cm) voor lelie. De kisten waren gevuld met kokos met een pH van 5,2 en een EC van 0.7 mS/cm. Toegevoegd is 0.10 kg/m³ bitterzout + 0.20 kg/m³ lalksalpeter. Tijdens de teelt werd water gegeven met een EC van 1.5. In Tabel 2 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	18-9-2014	2-10-2014	16-18	550-570	10
OT Robina	9-9-2014	2-10-2014	16-18	600-625	8
OR Santander	10-9-2014	2-10-2014	16-18	580-600	8
LO White Heaven	9-9-2014	2-10-2014	16-18	400-450	8
2 ^e trek					
LA Brindisi	1-12-2014	10-12-2014*	16-18	560-570	10
OT Robina	2-12-2014	10-12-2014	16-18	610-620	8
OR Santander	2-12-2014	10-12-2014	16-18	540-550	8
LO White Heaven	1-12-2014	10-12-2014	16-18	540-550	10

*vrijdag 19 december is week 1 dag 1 start belichting



Foto 1. Op de voorgrond kas 1 (geen CO₂ dosering) en op de achtergrond kas 2 (wel CO₂ dosering). De meetplanten staan in beide kassen in banen met respectievelijk 90, 60 en 45 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ SON-T bijbelichting, gerealiseerd door gebruik te maken van verschillende lampafstanden en typen reflectoren. De LED-belichting in de naburige kas leverde nauwelijks verhoging van de lichtintensiteit op ter hoogte van de meetplanten en viel niet buiten de fotoperiode van de belichting bij lelie, en was daarom niet verstorend voor de proef.

2.3 Strategie belichting en temperatuur kas 1 en 2 (CO₂-proef)

Gedurende trek 1 en 2 werd er in de kascompartimenten 1 en 2 belicht van 2:00 tot 18:00 uur (16 uur). Overdag werd de belichting afgeschakeld bij 200W buitenstraling (300 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ in de kas rekenend met permanent 70% daglichttransmissie kasdek). In beide kassen werd er gestookt bij 15°C en gelucht bij 17°C.

Alle drie de kassen hadden de volgende kenmerken:

- Bovennet verwarming + ondernet groeibuis verwarming ter hoogte van gaas
- maximum buistemperatuur van het ondernet 35°C. Eerst verwarmen met ondernet en daarna pas met het bovennet.
- CO₂-bemesting via 1 darm per bedde van 4 centimeter vanaf doseerder
- Bemeste grond + watergeven met bassinwater via regenleiding (mest: EC=1.5)
- Energiescherm:
 - o Energiescherm 1.5 uur voor zon onder en 1.5 uur na zon op open, behalve bij licht >40W
 - o Scherm dicht <30W of <7°C), en weer open >40W of >8°C
 - o Vochtlier: Schermen 3% open en dan ramen open
- Geen gevelscherm tussen afdelingen

In de proefkas zonder CO₂ dosering (450 ppm; kas 1) werd gedurende de tweede trek iets meer met de ramen gekierd dan in de proefkas met CO₂ dosering (850 ppm). Dit was nodig om het CO₂ niveau in de kas zonder dosering niet te ver te laten oplopen, hetgeen snel kan gebeuren in een omgeving met proefkassen waarin volop gedoseerd wordt. De temperatuur werd in beide kassen gelijk gehouden door te verwarmen. Door middel van een natte mat op het pad in kas 1 werd per 30 januari de luchtvochtigheid op peil gehouden. Het gerealiseerde klimaat is weergegeven in hoofdstuk 3.1.

2.4 Strategie belichting en temperatuur kas 3 (totaalconcept)

Zoals eerder aangegeven berust de beoogde energie-energiebesparing op de volgende vier onderdelen, nu in meer detail toegelicht:

1. Minder belichten maar wel CO₂-doserend: 60 µmol SON met 850 ppm CO₂ in plaats van 90 µmol SON met 400-450 ppm.
2. Eerder afschakelen bij voldoende instraling: De groei van Lelie verloopt volgens een S-curve (zie inleiding 1.4). Op basis hiervan is een schema opgesteld aangaande de afschakeling van de belichting op basis van daglicht-instraling, zie Tabel 3 en 4.
3. Halvering belichting aan het begin en einde van de teelt: Aan het begin (alleen trek 2) en het einde van de teelt is de maximale lichtintensiteit met 40% verminderd, zie Tabel 3 en 4.
4. Temperatuur: Later luchten bij hoge instraling en bij weinig instraling minder snel bijstoken: In plaats van te luchten bij 17° mocht de temperatuur overdag, stralingsafhankelijk, oplopen tot 23°C, zie Tabel 5.

In Tabel 3 en 4 staan de gevolgde belichtingsstrategieën gedurende de 1^e en de 2^e trek weergegeven.

Tabel 3. Gevolgde strategie belichting voor het totaalconcept Lelie gedurende de 1^e trek. De belichting in kas 3 is eerder afgeschakeld volgens de S-curve van het gewas.

Weeknr teelt	Trek 1 Afschakelen bij ... W straling buiten
1 (02 okt-9 okt, dus 1 week)	53W
2-5 (09 okt-05 nov, dus 4 weken)	168W
6-7 (05 nov-19 nov, dus 2 weken)	126W Nb. 11 november: 40% armaturen uit
8-9 (19 nov-8 dec, dus 2.5 weken)	42W; Oogstperiode 21 nov-08 dec

*2 oktober startte de belichting, 30 november was de gemiddelde oogstdatum

Tabel 4. Gevolgde strategie belichting voor het totaalconcept Lelie gedurende de 2^e trek. De belichting in kas 3 is eerder afgeschakeld volgens de S-curve van het gewas.

Weeknr teelt	Trek 2 Afschakelen bij ... W straling buiten
0 (10 dec-19 dec)	Geen belichting, 15 graden in kas
1-2 (19 dec-29dec)	53W en 40% armaturen uit
2-3 (29 dec-7 jan)	126W en per 31 dec alle armaturen aan
3-7 (7 jan-vr 6 feb)	168W
8 (6 feb-9feb)	147W
8-9 (9feb-19 feb)	126W en per 9 feb 40% armaturen uit 9 feb: Schermen overdag om pieken weg te halen: bij 500W instraling 19 feb: Schermen: kas 10.1 en 10.2 schermen vanaf 300W instraling (doek weer open vanaf 275W). Kas 10.3 schermen vanaf 375W instraling (doek weer open vanaf 325W).
10-13 (20 feb-16 mrt)	42W; oogstperiode 18 feb-16mrt

*19 december startte de belichting, 4 maart was de gemiddelde oogstdatum

Tabel 5 geeft de gevolgde strategie voor de kastemperatuur weer. In de nacht is bewust de temperatuur minimaal 15 °C gehouden om niet een te grote positieve DIF te krijgen waardoor er teveel strekking op zou kunnen treden. Overdag lag de minimumtemperatuur op 13°C en de maximumtemperatuur 23°C, afhankelijk van de lichtintensiteit in de kas (Tabel 5).

Tabel 5 Gevolgde strategie temperatuur voor het totaalconcept Lelie.

Lichtintensiteit in kas ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)*	Stook-temperatuur °C	Ventilatie-temperatuur °C
0 (nacht; 18:00-2:00)	15	17
< 70	13 (15 begin 2 ^e trek, later 14)**	17
70 – 150	14 (15 begin 2 ^e trek)**	17
150 – 200	15	18
200 – 250	16	19,5
250 – 300	16	21
> 300	17	23

*De stook- en ventilatietemperatuur is gerealiseerd via een vloeiend verband tussen lichtintensiteit in de kas en temperatuur-setpoint. Dus bijvoorbeeld het ventilatie-setpoint lineair stijgend tussen 17 en 23°C voor een lichtintensiteit tussen 150 en 300 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ in de kas. Bij de omrekening van de lichtintensiteit in de kas naar straling op de Kipp-Solari is gecorrigeerd voor lamplicht aan of uit in de kas, hetgeen afhankelijk was van de verschillende daglichtdrempels die gehanteerd werden in de verschillende teeltweken zoals weergegeven in Tabel 3 en 4.

**Aan het begin van de tweede trek is 15°C als minimum aangehouden in kas 3 i.p.v. de 13°C gedurende de 1^e trek. Dit om de etmaaltemperatuur niet beneden die van kas 1 en 2 te laten komen. Op 7 januari is de stooktemperatuur bij <70 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ in de kas weer verlaagd tot 14°C.

2.5 Metingen

Aan het einde van iedere trek is aan 6 kisten (afhankelijk van ras $6 \times 8 = 48$ of $6 \times 10 = 60$ takken) per lelieras per behandeling het volgende gemeten: taklengte, versgewicht, aantal goede knoppen, aantal verdroogde knoppen, en knoplengte. Tevens is van 2 kisten per behandeling het vers- en drooggewicht bepaald van de takken en van 3 kisten het vers- en drooggewicht van de bollen. Hieruit is ook het percentage drooggewicht berekend. Er zijn geen metingen aan randplanten verricht. Alle oogstparameters zijn getoetst op statistisch significante verschillen tussen de behandelingen waarbij de kist fungeerde als experimentele eenheid.

Van 10 takken per lelieras per behandeling is de naoogstkwaliteit 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

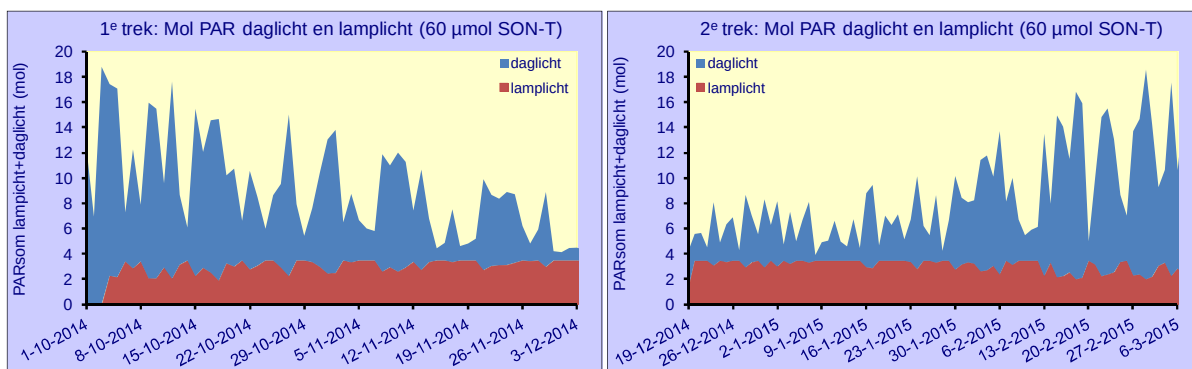
3.1 Klimaat 1^e en 2^e trek

De kasperiode van de eerste trek vond plaats in de periode begin oktober tot begin december 2014. De kasperiode van de tweede trek volgde daar direct op en liep tot half maart 2015. 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 5). Over beide gemiddelde trekduren is voor de periode dat er belicht werd de totale som aan daglicht en lamplicht berekend (Tabel 6). Het aandeel belichting van de totale lichtsom was gedurende de 1^e trek 25% tot 40%, afhankelijk van de intensiteit belichting bij de verschillende behandelingen. Gedurende de tweede trek lag het aandeel belichting hoger: 30% tot 47% terwijl de PARsom daglicht vergelijkbaar was. Dit kwam doordat er tijdens de tweede trek gemiddeld 84 dagen zijn belicht ten opzichte van 59 dagen tijdens de eerste trek.

Tabel 6. 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.

Kas	Behandeling	Daglicht (mol/m ² /dag)	Lamplicht (mol/m ² /dag)	Aandeel belichting
1^e trek: periode 2 oktober (start belichting) tot 30 november 2014 (gem. oogstdatum)				
gemiddelde periode 59 kasdagen				
1,2	SON-T 45 µmol	398	131	25%
1,2	SON-T 60 µmol	398	175	31%
1,2	SON-T 90 µmol	398	262	40%
3	Totaalconcept SON-T 60 µmol*	398	134	25%
2^e trek; periode 19 december 2014 (start belichting) tot 4 maart 2015 (gem. oogstdatum)				
Gemiddelde periode 84 kasdagen				
1,2	SON-T 45	404	176	30%
1,2,3	SON-T 60	404	234	37%
1,2	SON-T 90	404	352	47%
3	Totaalconcept SON-T 60 µmol*	404	176	30%

*Bij het totaalconcept in kas 3 werd er eerder afgeschakeld (lagere daglichtdrempel) en aan het begin en einde van de teelt de lichtintensiteit verminderd.



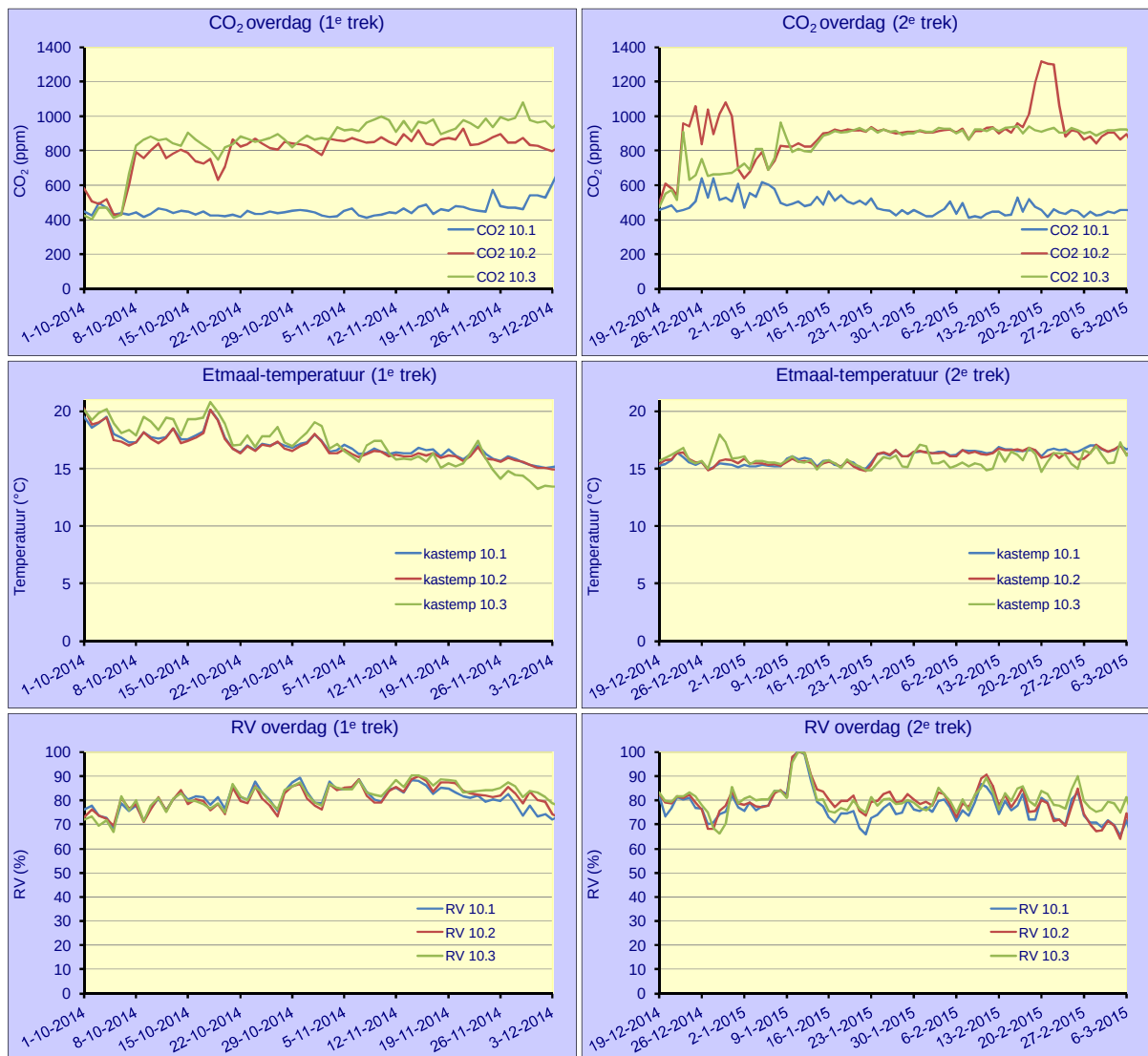
Figuur 5. Aandeel daglicht/lamplicht in mol/m²/dag gedurende de 1^e en de 2^e trek. Het is duidelijk zichtbaar dat gedurende de 1^e trek het aandeel daglicht relatief hoog was in de eerste helft van de trek, terwijl gedurende de 2^e trek juist in de tweede helft van de trek het aandeel daglicht relatief hoog was.

Het gerealiseerde CO₂-gehalte van de kas zonder CO₂-dosering lag tussen de 400 en 500 ppm (Figuur 6 boven). Het CO₂-gehalte bij de kassen met CO₂-dosering lag tussen de 800-900 ppm. Aan het begin van de 2^e trek was het CO₂-gehalte te laag in kas 3 en te hoog in kas 1, rond 7 januari was dit weer op orde. De etmaaltemperatuur was nagenoeg gelijk in alle drie de kassen (Figuur 6 midden; Tabel 8), maar lag tijdens de tweede trek gemiddeld 1°C lager dan gedurende de 1^e trek. De gemiddelde RV was ook nagenoeg gelijk voor alle kassen, behalve dat de RV iets lager was in kas 1 (laag CO₂) gedurende een periode van enige weken in januari tijdens de 2^e trek (Figuur 6 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 (45, 60 en 90 µmol/m²/s). Tabel 7 laat zien dat onder de hoogste lichtintensiteit het gewas altijd iets warmer was dan onder een lagere lichtintensiteit. Dit verschil kon oplopen tot 1°C. Een lagere gewastemperatuur kan resulteren in een vertraging van de plantontwikkeling en dus een langere trekduur. In hoofdstuk 3.2.2 wordt ingegaan op de gerealiseerde trekduur.

Tabel 7. Metingen van bladtemperatuur bij de verschillende behandelingen met niet of nauwelijks invloed van daglicht (metingen november n=18 en februari n=30-40). Let op: De verschillen in gewastemperatuur per etmaal zijn veel lager, omdat er geen verschil te verwachten is als de lampen uit zijn, en een veel kleiner verschil naarmate de daglicht-instraling groter is.

Ras	Planttemperatuur (°C) SON-T 45 µmol	Planttemperatuur (°C) SON-T 60 µmol	Planttemperatuur (°C) SON-T 90 µmol
1 ^e trek (25 november gemeten)			
Robina	15.4	15.4	16.3
Santander	16.1	15.6	16.2
White Heaven	14.9	15.5	16.3
2 ^e trek (gemeten op 19 februari)			
Brindisi	15.5	15.6	15.8
Robina	15.4	15.8	15.9
Santander	15.8	16.1	16.5
White Heaven	15.4	15.9	16.2



Figuur 6. Het CO₂-gehalte (boven) de etmaaltemperatuur (midden) en de RV (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 10.2 en 10.3 werd er 800-900 ppm CO₂ gedoseerd, in compartiment 10.1 werd er geen CO₂ gedoseerd.

Tabel 8. Gemiddelde ruimtetemperatuur tijdens de eerste en de tweede trek.

Kas	Behandeling	Gemiddelde ruimte-temperatuur (°C)	Gemiddelde ruimte-temperatuur (°C)
		1 ^e trek: 59 kasdagen	2 ^e trek: 84 kasdagen
1	SON-T 45-90 µmol 450 ppm CO ₂	17.1	16.0
2	SON-T 45-90 µmol 850 ppm CO ₂	16.9	16.0
3	Totaalconcept SONT-T 60 µmol 850 ppm CO ₂	17.3	15.8

3.2 Oogstwaarnemingen 1^e en 2^e trek

De oogstwaarnemingen zijn gegroepeerd rondom effecten van belichting en CO₂ op:

- takgewicht (3.2.1)
- trekduur (3.2.2)
- taklengte en stevigheid (3.2.3)
- Bloemkwaliteit en vaasleven (3.2.4)

3.2.1 Effect van belichting en CO₂-dosering op takgewicht

Tabel 9 geeft het takgewicht en het % drooggewicht voor de eerste en de tweede trek weer.

Tabel 9. Takgewicht (gram) en drooggewicht (%) per ras van de 1^e en 2^e trek. Verschillende letters (a, b, c) geven statistisch significante verschillen tussen de gemiddelden aan (Fisher's LSD, $\alpha < 0.05$; n=6 kisten).

Behandeling	Santander		Robina		Brindisi		W. Heaven			
1 ^e trek	45µmol-450ppm CO ₂	134 ^a	12.1 ^a	165 ^a	11.4 ^a	173 ^a	8.1 ^a	170 ^a	8.5 ^a	
	60µmol-450ppm CO ₂	140 ^{ab}	12.1 ^a	173 ^{ab}	11.3 ^a	172 ^a	8.7 ^{ab}	182 ^{ab}	8.8 ^{ab}	
	90µmol-450ppm CO ₂	145 ^b	13.2 ^a	180 ^b	12.7 ^c	172 ^a	9.3 ^b	181 ^{ab}	10.1 ^c	
	45µmol-850ppm CO ₂	144 ^{ab}	12.4 ^a	181 ^b	11.9 ^{ab}	178 ^{ab}	9.1 ^{ab}	176 ^{ab}	9.0 ^{ab}	
	60µmol-850ppm CO ₂	149 ^{bc}	12.8 ^a	184 ^b	12.2 ^{bc}	178 ^{ab}	9.1 ^{ab}	196 ^{cd}	9.1 ^b	
	90µmol-850ppm CO ₂	149 ^{bc}	13.1 ^a	183 ^b	12.3 ^{bc}	185 ^{bc}	9.8 ^b	206 ^d	10.3 ^c	
	Totaalconcept	155 ^c	12.8 ^a	184 ^b	11.9 ^{ab}	191 ^c	9.0 ^{ab}	188 ^{bc}	8.7 ^{ab}	
	LSD	10	1.2	12	0.7	10	1.2	13	0.6	
	2 ^e trek	45µmol-450ppm CO ₂	148 ^a	12.5 ^a	144 ^a	12.5 ^a	174 ^a	8.9 ^{ab}	171 ^a	9.3 ^a
		60µmol-450ppm CO ₂	158 ^b	13.4 ^b	157 ^{bc}	13.7 ^{ab}	185 ^{ab}	8.8 ^a	180 ^{ab}	9.7 ^a
90µmol-450ppm CO ₂		159 ^{bc}	13.2 ^{ab}	146 ^{ab}	14.9 ^b	198 ^c	9.2 ^{bc}	173 ^a	10.3 ^b	
45µmol-850ppm CO ₂		158 ^b	13.8 ^b	145 ^a	13.2 ^{ab}	186 ^b	9.4 ^{cd}	182 ^{ab}	10.5 ^b	
60µmol-850ppm CO ₂		167 ^{cd}	13.8 ^b	162 ^c	14.1 ^{ab}	204 ^c	9.7 ^d	213 ^d	10.4 ^b	
90µmol-850ppm CO ₂		172 ^d	14.7 ^c	160 ^c	15.1 ^b	203 ^c	9.7 ^d	186 ^b	11.0 ^c	
Totaalconcept		160 ^{bc}	13.5 ^b	167 ^c	13.2 ^{ab}	202 ^c	9.5 ^{cd}	201 ^c	9.6 ^a	
LSD		8.7	0.67	11.4	1.88	11.2	0.37	11.2	0.41	

Enkele opvallende zaken in Tabel 9 worden benoemd:

- Gedurende de eerste trek is voor drie van de vier rassen (Brindisi niet) het patroon te zien dat meer licht bij 450 ppm de tak zwaarder maakt. Wordt er echter 850 ppm CO₂ gedoseerd, dan zijn bij een gelijke lichtintensiteit als bij de 450 ppm behandeling de takken altijd zwaarder. Tevens heeft bij 850 ppm CO₂ meer licht niet of nauwelijks nog toegevoegde waarde voor het takgewicht, behalve voor White Heaven.
- Gedurende de tweede trek is voor Brindisi en Santander dezelfde lijn eruit te halen als gedurende de eerste trek: meer licht bij 450 ppm CO₂ geeft een zwaardere tak. 850 ppm CO₂ geeft bij een gelijke lichtintensiteit zwaardere takken, maar de respons op licht is

verzaadigend: Oftewel 90 μmol PAR voegt niets meer toe ten opzichte van 60 μmol PAR bij 850 ppm CO_2 .

- Robina en White Heaven laten bij de tweede trek een iets diffuser beeld zien: Meer CO_2 geeft bij een gelijke lichtintensiteit een zwaardere tak. Echter, zowel met als zonder CO_2 -dosering geeft 60 μmol PAR een zwaardere tak dan 90 μmol PAR. Dat is onlogisch. In drie van de vier gevallen is het verschil overigens niet significant. Tevens ligt in die gevallen het % drogestof bij 90 μmol hoger. Als het versgewicht gecorrigeerd wordt voor de verschillen in drooggewicht, dan komt juist 90 μmol weer wat hoger uit dan 60 μmol PAR, behalve voor White Heaven bij 850 ppm.
- In het algemeen is de trend dat zowel een hogere intensiteit belichting als CO_2 dosering het % drogestof van de takken verhogen. Dit zal ook gevolgen hebben voor de stevigheid (zie ook 3.2.3).
- Het totaalconcept levert tijdens de eerste en de tweede trek takgewichten op die vergelijkbaar zijn met 60-90 μmol bij 850ppm CO_2 .

Tabel 10. Drooggewicht (gram) van de bollen per ras van de 1^e en 2^e trek. Verschillende letters (a, b, c, d) geven statistisch significante verschillen tussen de gemiddelden aan (Fisher's LSD, $\alpha < 0.05$; $n = 2$ kisten).

Behandeling	Santander	Robina	Brindisi	W. Heaven
1^e trek				
45 μmol -450ppm CO_2	8.6 ^a	4.9 ^a	2.6 ^a	3.5 ^a
60 μmol -450ppm CO_2	8.5 ^a	5.2 ^a	3.2 ^{ab}	4.0 ^a
90 μmol -450ppm CO_2	10.5 ^{bc}	8.1 ^{bc}	5.0 ^{cd}	5.2 ^b
45 μmol -850ppm CO_2	9.9 ^{ab}	7.1 ^b	3.4 ^{ab}	4.2 ^a
60 μmol -850ppm CO_2	10.4 ^b	7.2 ^b	4.1 ^{bcd}	5.3 ^b
90 μmol -850ppm CO_2	12.0 ^c	9.6 ^c	5.0 ^d	6.3 ^c
Totaalconcept	11.1 ^{bc}	8.1 ^{bc}	3.8 ^{bc}	5.5 ^{bc}
LSD	1.6	1.7	1.2	0.9
2^e trek				
45 μmol -450ppm CO_2	5.0 ^a	9.4 ^a	2.9 ^a	3.5 ^a
60 μmol -450ppm CO_2	7.1 ^{bc}	14.6 ^b	3.7 ^{bc}	4.1 ^{ab}
90 μmol -450ppm CO_2	7.1 ^{bc}	12.2 ^b	4.1 ^{cd}	4.2 ^{ab}
45 μmol -850ppm CO_2	7.5 ^{bc}	13.3 ^b	3.4 ^{ab}	3.9 ^{ab}
60 μmol -850ppm CO_2	8.2 ^{cd}	14.4 ^b	4.7 ^d	4.4 ^{bc}
90 μmol -850ppm CO_2	9.7 ^d	14.3 ^b	5.5 ^e	5.1 ^c
Totaalconcept	6.3 ^{ab}	13.2 ^b	4.4 ^{cd}	4.0 ^{ab}
LSD	1.7	2.6	0.7	0.7

Tabel 10 geeft het drooggewicht van de bollen weer. Ook hier valt de trend op dat in beide trekken bij toenemende lichtintensiteit de bollen zwaarder zijn en dat onder verhoogd CO_2 het bolgewicht nog zwaarder is. Naarmate er dus meer assimilaten beschikbaar zijn (door meer licht en CO_2 -dosering) zijn dus de bollen óf minder leeggezogen óf al weer meer gevuld. Het

gewicht van de bollen bij het totaalconcept in kas 3 ligt in de meeste gevallen rond de waarden zoals ook gemeten onder 60-90 μmol bij 850ppm CO_2 , of soms iets lager.

3.2.2 Effect van belichting en CO_2 -dosering op trekduur

De trekduren (Tabel 11) verschilden tijdens de eerste en de tweede trek per ras maximaal drie dagen, waarbij een hoger lichtniveau SON-T meestal iets sneller was dan een lager lichtniveau. Waarschijnlijk is de iets hogere planttemperatuur hiervan de oorzaak (Tabel 7). De trekduren bij het totaalconcept lagen meestal tussen die van de andere behandelingen in. Alleen tijdens de tweede trek waren in de totaalconcept-behandeling Santander en Robina gemiddeld drie dagen trager.

Er dient opgemerkt te worden dat kleine verschillen in trekduur (1 of 2 dagen) ook gerelateerd kunnen zijn aan het moment van oogsten. Er is namelijk op maandag, woensdag en vrijdag geoogst. De keuze om bijvoorbeeld voor of na het weekend te oogsten kan kleine verschillen geven die niets met de werkelijke trekduur te maken hebben. De verschillen zijn klein, en alleen lichtintensiteit geeft een consistent patroon van enige versnelling in teelt.

De trekduur was voor alle rassen tijdens de eerste trek fors korter dan tijdens de tweede trek terwijl de gemiddelde kasttemperatuur maar 1°C verschilde (Tabel 8). De voortrek van eerste trek is echter bij een hogere temperatuur uitgevoerd dan van de tweede trek.

Tabel 11. Trekduur per ras van de 1^e en 2^e trek. Verschillende letters (a, b, c, d) geven statistisch significante verschillen tussen de gemiddelden aan (Fisher's LSD, $\alpha < 0.05$; $n=6$ kisten).

Behandeling	Santander	Robina	Brindisi	W. Heaven
1^e trek				
45 μmol -450ppm CO_2	88 ^b	84 ^{bc}	67 ^c	87 ^c
60 μmol -450ppm CO_2	87 ^b	84 ^{ab}	66 ^c	86 ^{ab}
90 μmol -450ppm CO_2	86 ^a	83 ^a	64 ^{ab}	86 ^{ab}
45 μmol -850ppm CO_2	89 ^c	86 ^d	66 ^c	88 ^d
60 μmol -850ppm CO_2	89 ^c	86 ^d	64 ^b	86 ^b
90 μmol -850ppm CO_2	89 ^d	83 ^a	65 ^b	85 ^a
Totaalconcept	88 ^b	85 ^c	64 ^a	87 ^c
LSD	0.6	0.8	0.6	0.7
2^e trek				
45 μmol -450ppm CO_2	99 ^a	93 ^{bc}	86 ^c	98 ^d
60 μmol -450ppm CO_2	99 ^{ab}	91 ^a	84 ^b	97 ^{bc}
90 μmol -450ppm CO_2	98 ^a	93 ^b	84 ^b	96 ^{ab}
45 μmol -850ppm CO_2	100 ^c	95 ^d	84 ^b	98 ^d
60 μmol -850ppm CO_2	100 ^c	93 ^b	84 ^b	97 ^c
90 μmol -850ppm CO_2	99 ^{bc}	94 ^{cd}	84 ^b	98 ^d
Totaalconcept	102 ^d	96 ^e	84 ^a	96 ^a
LSD	0.5	0.9	0.3	0.6

3.2.3 Effect van belichting en CO₂-dosering op strekking en stevigheid

De taklengtes onder de verschillende behandelingen (Tabel 12) laten de trend zien dat een hogere lichtintensiteit, 0 tot 8% kortere takken oplevert. De taklengtes onder het totaalconcept lagen in dezelfde range als de andere behandelingen met 60 µmol belichting, alleen White Heaven was in respectievelijk trek 1 en 2 een 4 en 10 cm langer.

Doordat het in het compartiment waar het totaalconcept uitgevoerd werd, overdag warmer mocht worden voordat er werd gelucht, kon de gemiddelde dagtemperatuur hoger worden dan bij de andere behandelingen. Er is bewust voor gekozen om de nachttemperatuur gelijk te houden met de andere behandelingen want een positievere DIF (DIF=verschil in dag-nachttemperatuur) kan resulteren in langere takken bij lelie (Kok en van Aanholt, 2004a). De teelttemperatuur mocht in de vroege ochtend wel wegzakken. In de literatuur wordt dit als DROP benoemd (zie referenties in Dieleman et al. 2005), dat juist wel taklengte verkortend kan werken.

Tabel 12. Taklengte (cm) per ras van de 1^e en 2^e trek. Verschillende letters (a, b, c) geven statistisch significante verschillen tussen de gemiddelden aan (Fisher's LSD, $\alpha < 0.05$; n=6 kisten).

Behandeling	Santander	Robina	Brindisi	W. Heaven
1^e trek				
45µmol-450ppm CO ₂	88 ^{bc}	112 ^{bc}	102 ^d	105 ^c
60µmol-450ppm CO ₂	87 ^b	111 ^b	97 ^{ab}	102 ^b
90µmol-450ppm CO ₂	81 ^a	107 ^a	96 ^a	97 ^a
45µmol-850ppm CO ₂	91 ^d	116 ^d	100 ^c	104 ^{bc}
60µmol-850ppm CO ₂	88 ^b	115 ^d	99 ^{bc}	104 ^{bc}
90µmol-850ppm CO ₂	85 ^b	107 ^a	97 ^{ab}	105 ^c
Totaalconcept	90 ^{cd}	114 ^{cd}	106 ^e	108 ^d
LSD	3	3	2	3
2^e trek				
45µmol-450ppm CO ₂	94 ^{cd}	119 ^{bc}	106 ^c	111 ^b
60µmol-450ppm CO ₂	88 ^b	116 ^{bc}	102 ^b	106 ^a
90µmol-450ppm CO ₂	85 ^a	108 ^a	100 ^{ab}	105 ^a
45µmol-850ppm CO ₂	96 ^e	118 ^{bc}	109 ^d	113 ^{bc}
60µmol-850ppm CO ₂	94 ^{de}	120 ^{bc}	107 ^{cd}	115 ^c
90µmol-850ppm CO ₂	94 ^{de}	116 ^b	100 ^a	107 ^a
Totaalconcept	92 ^c	120 ^c	111 ^e	120 ^d
LSD	2.3	4.1	2.2	2.4

Doordat takken bij meer licht zwaarder (Tabel 9) en korter (Tabel 12) zijn, ligt het voor de hand dat het gewicht per cm bij meer licht toeneemt (Tabel 13). Er zijn geen opvallende waarden voor wat betreft het gewicht/cm voor het totaalconcept.

Het percentage slappe takken was bij de eerste trek zeer laag voor Santander, Robina en White Heaven. Bij Brindisi werd een duidelijk verhoogd percentage slappe takken waargenomen in de behandeling 45 μmol PAR zonder CO_2 -dosering (18%). Met CO_2 dosering was dit percentage veel lager (5%).

Tijdens de tweede trek was er een heel hoog percentage slappe taken onder 45 μmol zonder CO_2 -dosering (30 tot 47%). Het percentage slappe takken bij 60 μmol zonder CO_2 dosering was nog steeds hoog (23-24%, behalve bij Robina slechts 4%) en vergelijkbaar met de score van de behandeling 45 μmol met CO_2 . Ook 90 μmol zonder CO_2 gaf nog een aanzienlijk percentage slappe takken bij Brindisi en White Heaven (19%). Vanaf 60 μmol met CO_2 waren er nauwelijks slappe takken. CO_2 dosering blijkt dus een zeer positief effect te hebben op de stevigheid van de takken. Het hogere percentage drooggewicht van de stengel bij CO_2 dosering (Tabel 9) zal hieraan bijgedragen hebben. Het percentage slappe takken onder bij het totaalconcept was in grote lijnen vergelijkbaar met de behandeling met 45 μmol met CO_2 . Overigens is de meetmethode voor bepaling van de slapindex een 'strengere methode': Takken die als 'slap' zijn gekwalificeerd zullen in de praktijk nog niet altijd als 'slap' gekeurd worden (vermindering A1-kwaliteit).

Tabel 13. Gewicht/cm & slapindex* (%) per ras van de 1^e en 2^e trek. Verschillende letters (a, b, c, d) geven statistisch significante verschillen tussen de gemiddelden aan (Fisher's LSD, $\alpha < 0.05$; n=6 kisten).

Behandeling	Santander		Robina		Brindisi		W. Heaven	
1 ^e trek								
45μmol-450ppm CO ₂	1.5 ^a	4 ^{ab}	1.5 ^a	2 ^a	1.7 ^a	18 ^b	1.6 ^a	0
60μmol-450ppm CO ₂	1.6 ^a	6 ^b	1.6 ^{ab}	0 ^a	1.8 ^{ab}	7 ^a	1.8 ^{cd}	0
90μmol-450ppm CO ₂	1.8 ^c	0 ^a	1.7 ^{cd}	0 ^a	1.8 ^b	3 ^a	1.9 ^d	0
45μmol-850ppm CO ₂	1.6 ^a	2 ^{ab}	1.5 ^{ab}	0 ^a	1.8 ^b	5 ^a	1.7 ^{ab}	0
60μmol-850ppm CO ₂	1.7 ^b	0 ^a	1.6 ^{bc}	2 ^a	1.8 ^b	0 ^a	1.9 ^{de}	0
90μmol-850ppm CO ₂	1.8 ^{bc}	0 ^a	1.7 ^d	0 ^a	1.9 ^c	0 ^a	2.0 ^e	0
Totaalconcept	1.7 ^{bc}	0 ^a	1.6 ^{bc}	0 ^a	1.8 ^{bc}	3 ^a	1.7 ^{bc}	0
LSD	0.1	5	0.1	3	0.1	8	0.1	0
2 ^e trek								
45μmol-450ppm CO ₂	1.6 ^a	40 ^c	1.2 ^a	30 ^b	1.6 ^a	47 ^c	1.6 ^a	47 ^c
60μmol-450ppm CO ₂	1.8 ^b	23 ^b	1.3 ^{ab}	4.2 ^a	1.8 ^b	24 ^b	1.8 ^b	24 ^b
90μmol-450ppm CO ₂	1.9 ^c	0 ^a	1.6 ^{ab}	8.3 ^a	2.0 ^{cd}	19 ^b	2.0 ^{cd}	19 ^b
45μmol-850ppm CO ₂	1.6 ^a	21 ^b	1.2 ^a	11 ^a	1.7 ^a	25 ^b	1.7 ^a	25 ^b
60μmol-850ppm CO ₂	1.8 ^b	6.3 ^a	1.3 ^{ab}	0 ^a	1.9 ^c	1.7 ^a	1.9 ^c	1.7 ^a
90μmol-850ppm CO ₂	1.8 ^{bc}	0 ^a	1.4 ^{ab}	2.1 ^a	2.0 ^d	1.7 ^a	2.0 ^d	1.7 ^a
Totaalconcept	1.7 ^b	10 ^{ab}	1.5 ^b	10 ^a	1.8 ^{cd}	22 ^b	1.8 ^{cd}	22 ^b
LSD	0.07	13	0.1819	11	0.091	13	0.091	0.13

De slapindex wordt gemeten volgens de Van Aanholt-methode: de mate van buiging door de tak 90cm vanaf de bloem horizontaal vast te houden, wordt gescoord als 0 (stevig) of 1 (slap). NB een hogere slapindex valt niet één op één samen met vermindering van A1-kwaliteit.

3.2.4 Bloemkwaliteit en Vaasleven

Na oogst van de takken is van iedere tak ook het aantal goede en verdroogde knoppen geteld. Het aantal goede knoppen en het aantal verdroogde knoppen verschilde niet of nauwelijks tussen de behandelingen, en er is ook geen logische trend voor behandelingseffecten (Tabel 14).

Tabel 14. Aantal goede & verdroogde knoppen per ras van de 1^e en 2^e trek. Verschillende letters (a, b) geven statistisch significante verschillen tussen de gemiddelden aan (Fisher's LSD, $\alpha < 0.05$; $n = 6$ kisten).

Behandeling	Santander		Robina		Brindisi		W. Heaven		
1 ^e trek	45µmol-450ppm CO ₂	3.7 ^a	0.3 ^a	3.8 ^a	1.3 ^{bc}	4.8 ^a	0.3 ^{ab}	2.8 ^{ab}	0.0 ^a
	60µmol-450ppm CO ₂	4.1 ^b	0.3 ^a	4.0 ^a	1.3 ^b	4.7 ^a	0.3 ^{ab}	2.9 ^{ab}	0.2 ^{ab}
	90µmol-450ppm CO ₂	3.8 ^{ab}	0.2 ^a	3.7 ^a	1.5 ^c	4.6 ^a	0.4 ^b	2.6 ^a	0.2 ^b
	45µmol-850ppm CO ₂	3.9 ^{ab}	0.3 ^a	3.9 ^a	1.0 ^a	4.7 ^a	0.2 ^{ab}	2.7 ^{ab}	0.1 ^{ab}
	60µmol-850ppm CO ₂	3.8 ^{ab}	0.2 ^a	4.0 ^a	1.2 ^{ab}	4.8 ^a	0.3 ^{ab}	2.7 ^{ab}	0.1 ^{ab}
	90µmol-850ppm CO ₂	3.9 ^{ab}	0.2 ^a	3.9 ^a	1.4 ^{bc}	4.8 ^a	0.3 ^{ab}	2.9 ^b	0.1 ^a
	Totaalconcept	4.0 ^b	0.3 ^a	3.7 ^a	1.3 ^b	4.7 ^a	0.2 ^a	2.8 ^{ab}	0.1 ^{ab}
	LSD	0.3	0.2	0.3	0.2	0.3	0.2	0.3	0.1
	2 ^e trek	45µmol-450ppm CO ₂	3.4 ^a	0.1 ^a	2.1 ^a	0.9 ^a	4.7 ^a	0.4 ^a	3.5 ^b
60µmol-450ppm CO ₂		3.3 ^a	0.2 ^{ab}	2.5 ^{ab}	1.0 ^a	4.8 ^{ab}	0.5 ^a	3.3 ^{ab}	0
90µmol-450ppm CO ₂		3.4 ^a	0.1 ^a	2.5 ^{ab}	1.0 ^a	5.0 ^b	0.5 ^a	3.2 ^a	0
45µmol-850ppm CO ₂		3.4 ^a	0.1 ^{ab}	2.4 ^{ab}	0.9 ^a	4.8 ^{ab}	0.5 ^a	3.3 ^{ab}	0
60µmol-850ppm CO ₂		3.4 ^a	0.1 ^{ab}	2.6 ^b	0.9 ^a	4.7 ^{ab}	0.5 ^a	3.4 ^{ab}	0
90µmol-850ppm CO ₂		3.4 ^a	0.3 ^b	2.6 ^b	0.9 ^a	4.6 ^a	0.4 ^a	3.2 ^a	0
Totaalconcept		3.5 ^a	0.2 ^{ab}	2.4 ^{ab}	1.0 ^a	4.7 ^a	0.4 ^a	3.2 ^a	0
LSD		0.24	0.14	0.38	0.13	0.25	0.2	0.23	0

Van 10 takken per behandeling is na de oogst en een transportsimulatie van zes dagen het vaasleven getoetst (2 vazen, met elk 5 takken). 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 en het aantal dagen tot 50% geel blad verschilde niet of nauwelijks tussen de behandelingen (Tabel 15). Soms lagen het vaasleven en het aantal dagen tot 50% geel blad van de behandelingen met 45 µmol PAR iets lager.

Tabel 15. Vaasleven in bloeidagen en aantal dagen tot 50% geel blad na transportsimulatie, weergegeven per ras voor de 1^e en de 2^e trek. Verschillende letters (a, b, c, d) geven statistisch significante verschillen tussen de gemiddelden aan (Fisher's LSD, $\alpha < 0.05$; $n = 10$ takken).

Behandeling	Santander		Robina		Brindisi		W. Heaven		
1 ^e trek	45µmol-450ppm CO ₂	14.7 ^a	6.4 ^a	13.4 ^a	8.1 ^a	13.4 ^a	5.4 ^{ab}	14.1 ^a	6.5 ^{abc}
	60µmol-450ppm CO ₂	14.3 ^a	7.1 ^{ab}	14.3 ^{ab}	10.3 ^{abc}	12.5 ^a	5.4 ^{ab}	14.7 ^{abc}	7.1 ^{bcd}
	90µmol-450ppm CO ₂	14.3 ^a	8.2 ^{ab}	14.7 ^b	11.5 ^{bc}	13.3 ^a	5.9 ^b	15.5 ^c	7.5 ^d
	45µmol-850ppm CO ₂	14.1 ^a	7.4 ^{ab}	15.1 ^b	9.7 ^{ab}	13.5 ^a	5.0 ^{ab}	14.4 ^{ab}	7.2 ^{cd}
	60µmol-850ppm CO ₂	14.1 ^a	8.7 ^b	15.3 ^b	11.3 ^{bc}	13.3 ^a	4.8 ^{ab}	14.0 ^a	6.4 ^{ab}
	90µmol-850ppm CO ₂	13.6 ^a	7.4 ^{ab}	15.0 ^b	12.8 ^c	13.4 ^a	4.8 ^{ab}	15.4 ^c	6.1 ^a
	Totaalconcept	14.1 ^a	7.3 ^{ab}	15.2 ^b	11.2 ^{bc}	15.3 ^b	4.2 ^a	15.1 ^{bc}	7.2 ^{cd}
	LSD	2.3	1.9	1.0	2.9	1.2	1.5	0.9	0.8
	2 ^e trek	45µmol-450ppm CO ₂	13.8 ^a	8.8 ^{bc}	14.7 ^{ab}	10.4 ^{ab}	13.5 ^a	7.2 ^{bc}	13.1 ^a
60µmol-450ppm CO ₂		13.2 ^a	8.6 ^{bc}	15.4 ^{bc}	12.3 ^{bc}	13.4 ^a	7.0 ^{bc}	14.1 ^b	6.5 ^{bc}
90µmol-450ppm CO ₂		13.6 ^a	9.6 ^c	15.9 ^{cd}	12.8 ^c	14.0 ^a	7.4 ^c	13.9 ^{ab}	7.2 ^c
45µmol-850ppm CO ₂		14.6 ^a	9.1 ^{bc}	14.6 ^a	9.5 ^a	13.7 ^a	5.4 ^a	13.4 ^{ab}	5.6 ^{ab}
60µmol-850ppm CO ₂		14.4 ^a	6.3 ^a	15.2 ^{abc}	11.8 ^{bc}	13.8 ^a	5.5 ^a	13.1 ^a	5.3 ^a
90µmol-850ppm CO ₂		14.4 ^a	8.0 ^b	16.3 ^d	11.8 ^{bc}	13.6 ^a	5.8 ^a	13.3 ^{ab}	5.9 ^{ab}
Totaalconcept		14.1 ^a	8.0 ^b	15.1 ^{ab}	11.3 ^{ab}	13.8 ^a	6.2 ^{ab}	13.7 ^{ab}	6.6 ^{bc}
LSD		1.7	1.5	0.76	2.1	0.8	1.0	0.9	1.1

* Er zijn voor de houdbaarheid steeds takken met een gelijk aantal knoppen gebruikt. Santander is geselecteerd op 3 bloemen per tak, Robina op bloemen 3 per tak, Brindisi op 5 knoppen per tak, en White Heaven op 3 bloemen per tak.



Foto 2. Opstelling toetsing vaasleven (Brindisi).

Er zat in de tweede trek papierblad in Santander (Tabel 16). Uitzondering was Kas 1 (450 ppm CO₂). Mogelijk is dit gerelateerd aan de lagere RV in Kas 1 gedurende een periode in januari (Figuur 6), want in deze periode zijn de meeste bladeren ontwikkeld. Een hoge RV staat erom bekend papierblad te kunnen veroorzaken (Kok en Van Aanholt, 2006).

Tabel 16. Dagen tot openen eerste bloem en percentage papierblad bij de tweede trek van Santander. Bij de andere drie rassen werden er op dit gebied geen verschillen aangetroffen.

	Dagen tot eerste bloem open	Percentage papierblad
45µmol-450ppm CO ₂	1.9 ^{abc}	0.0 ^a
60µmol-450ppm CO ₂	0.6 ^a	0.0 ^a
90µmol-450ppm CO ₂	0.9 ^{ab}	0.0 ^a
45µmol-850ppm CO ₂	2.3 ^{bc}	80 ^{bc}
60µmol-850ppm CO ₂	1.4 ^{abc}	100 ^c
90µmol-850ppm CO ₂	1.0 ^{ab}	90 ^c
Totaalconcept	2.6 ^c	50 ^b
LSD	1.4	40

4 Energiebesparing: effecten afzonderlijke maatregelen binnen het totaalconcept

4.1 Inleiding

Het doel van de uitgevoerde energieberekeningen¹ was het kwantificeren van de afzonderlijke effecten van de vier besparingspijlars die in Kas 3 gezamenlijk zijn uitgevoerd:

1. Een lagere intensiteit belichting compenseren door CO₂-dosering.
2. Eerder afschakelen belichting bij voldoende daglicht-instraling.
3. 40% armaturen permanent uit gedurende enige weken aan begin en einde teelt.
4. Temperatuur: Later luchten bij hoge instraling en bij weinig instraling een lagere stooktemperatuur aanhouden.

Om deze afzonderlijke bijdragen aan de totale energiebesparing goed te kunnen berekenen is binnen het Explorer kasklimaat model een virtuele kas gebouwd, met de specificaties van afdeling 8 en 9 in het kassencomplex van Kwekerij Bakker in Heerhugowaard. De reden hiervoor is dat berekeningen van het energieverbruik voor de situatie van een praktijkkas voor telers relevanter zijn dan berekeningen voor een experimentele kas, zoals op het Improvement Center. De simulaties van het energieverbruik en de fotosynthese zijn uitgevoerd met tijdstappen van 5 minuten.

4.2 De basisrun en variaties hierop

Er is gekozen om het energieverbruik te simuleren voor een gemiddelde teeltduur van 12 weken. Die 12 weken representeren de teelt van een 'gemiddeld ras' in de winter (Nb. teelt ras 'Brindisi' duurt in werkelijkheid korter, maar bijvoorbeeld 'Santander' weer langer). De teelt van 12 weken is gesimuleerd voor twee verschillende startdata: de eerste teelt startte in week 47 van 2014 en liep tot en met week 6 van 2015. De tweede teelt startte in week 50 en liep tot en met week 9 van 2015. De weersgegevens, afkomstig van Kwekerij Bakker (Heerhugowaard), zijn aangevuld met KNMI gegevens van de luchtvochtigheid buiten de kas. De scenario berekeningen zijn gemaakt ten opzichte van een zogenaamde "basisrun", die model staat voor een 'standaard teelt' waarop in deze proef ook de teelt in Kas 1 gebaseerd is.

¹ Dit hoofdstuk is een samenvatting van de uitgebreidere rapportage van Ecocurves en Photosyntax. Meer achtergrondinformatie in Bijlage 2. Verdere analyses zijn te vinden in: Rappoldt en Schapendonk, 2015. Scenario analyses energieverbruik Lelie, Berekeningen met Explorer Kasklimaat. EcoCurves, Haren en Photosyntax, Wageningen, 30p.

Deze basisrun is als volgt samengesteld:

- Assimilatiebelichting van 90 μmol tussen 2:00 en 18:00 uur.
- Een daglichtdrempel van 200Wm^{-2} ; bij meer instraling werd belichting afgeschakeld.
- Setpoints voor verwarmen en ventileren van respectievelijk 15°C en 17°C .
- Ventilatie bij een vochtdeficit beneden 2.0 gm^{-3} , wat ongeveer overeenkomt met een RV van 85% bij 15°C .
- Een LAI met een lineair verloop tussen 0.5 in de eerste week en 4.8 in de 7^e week en stabiel 5.0 vanaf de 8^e week (zie Tabel 20 in Bijlage).
- De gebruikte fotosynthese parameters zijn gemiddelden van de rassen Santander, Brindisi en Robina, gebaseerd op metingen uit het lelieonderzoek 2013-2014, zie Hogewoning *et al.* 2014).

De belangrijkste variaties op de basisrun zijn de teeltmaatregelen die in Kas 3 werden gehanteerd. De wijzigingen ten opzichte van het basis-scenario waren:

- 60 μmol PAR in plaats van 90 μmol PAR, tussen 2:00 en 18:00 uur.
- Stoken volgens Tabel 5 (hoofdstuk 2).
- Lampen uit volgens Tabel 4 (hoofdstuk 2).
- Uitschakelen van 40% van de lampen in de eerste 12 dagen en de laatste 3 weken van de teelt.
- De combinatie van bovenstaande maatregelen.

Als maat voor de gewasgroei is de netto assimilatiesnelheid berekend met een geschat tijdsafhankelijk verloop van de LAI (Tabel 20). De reden voor gebruik van een LAI tabel is dat er geen gedetailleerd gewasgroeimodel voor lelie beschikbaar was. Dat heeft tot gevolg dat de consequenties van de verschillende maatregelen voor assimilatenverdeling en morfologie niet berekend worden. Het gaat hier dus zuiver om het energiegebruik en de totale assimilatie, uiteraard wel berekend bij de het geschatte verloop van de LAI.

4.3 Resultaten energie-berekeningen

Het berekende gasgebruik in de eerste gesimuleerde teelt van week 47 in 2014 tot en met week 6 in 2015 bedroeg 7.2 m^3 . Voor de tweede gesimuleerde teelt van week 50 in 2014 tot en met week 9 in 2015 was dat 6.9 m^3 . Vanwege deze kleine verschillen worden alleen de resultaten van de eerste gesimuleerde teelt getoond. In

Tabel 17 en Tabel 18 zijn deze resultaten samengevat. De getallen zijn weergegeven voor de gehele teelt (Tabel 17) en voor twee afzonderlijke fases: een fase met lage LAI (<2.5) in de eerste 4 weken en een fase met een hoge LAI (>2.5) gedurende de laatste 8 weken van de teelt (Tabel 18).

Steeds is in de bovenste regel het resultaat weergegeven voor een teelt zonder belichting. De regel daaronder geeft de basisrun weer ('praktijkteelt' zoals in Kas 1). De regels daaronder

geven de afzonderlijke effecten, en het gecombineerde effect, van de vier pijlers voor energiebesparing weer. De eerste kolom geeft de berekende assimilatie weer. Meer of minder assimilaten hoeven zich overigens niet één op één te vertalen in eenzelfde verschil in takgewicht, omdat de assimilatenverdeling tussen bovengrondse en ondergrondse delen niet bekend is. Belichting met 90 μmol levert in 12 weken tijd ruim een verdubbeling van de assimilatie ten opzichte van een onbelichte teelt. Een onbelichte lelieteelt zou in de praktijk uiteraard bij een lagere temperatuur worden geteeld en dus veel langer duren, en daardoor ook meer plantgewicht produceren. In overeenstemming met de proef, berekent het model dat het productieverlies door de verminderde intensiteit of uren belichting grotendeels gecompenseerd wordt door de CO_2 dosering. De volgende kolommen geven de warmte-input in megajoules (MJ) of kuubs gas (m^3) en de verbruikte electra (kWh) weer. De laatste kolom bevat de berekende verliezen van CO_2 wanneer we ervan uitgaan dat de concentratie altijd op 800 ppm wordt gehouden, ook tijdens ventilatie. Hierdoor gaat relatief veel CO_2 verloren via ventilatie, maar het is wel de waarde waarbij het effect op de groei maximaal is.

Tabel 17. Energie-berekeningen met gebruik van gemiddelde fotosynthese parameters van Lelie. Start gesimuleerde teelt in week 47 van 2014. De tabel laat de basisrun zien en daaronder steeds de verschillen ten opzichte van die basisrun.

Teelt van 12 weken	Assimilaten productie (kg droog)	Warmte (MJ)	Warmte (m^3 gas)	Elektra (kwh)	Elektra (MJ)	Verlies CO_2 (kg)
Zonder belichting	0.32	389.9	11.8	0.0	0.0	0.0
Basisrun (90 μmol)	0.80	238.1	7.2	69.2	249.1	0.0
Effecten ten opzichte van deze basisrun (pijlers totaalconcept)						
1. 60 $\mu\text{mol} + \text{CO}_2$ -dosering	-0.05	46.0	1.4	-23.1	-83.2	7.6
60 μmol	-0.15	46.0	1.4	-23.1	-83.2	0.0
CO_2 dosering	0.13	0.0	0.0	0.0	0.0	7.6
2. eerder afschakelen belichting begin en einde teelt (daglichtdrempel)	-0.02	4.0	0.1	-3.2	-11.5	0.0
3. 40% armaturen uit begin en einde teelt	-0.06	16.6	0.5	-10.2	36.7	0.0
4. setpoints temperatuur	0.01	-9.9	-0.3	0.0	0.0	0.0
Combinatie-effect totaalconcept (kas 3)						
	-0.09	51.0	1.5	-31.3	-112.7	7
Gebruik energiescherm overdag bij $\Delta T = 8^\circ\text{C}$ ten opzichte van basisrun						
	0.00	-6.7	-0.2	0.0	0.0	0.0

Onder het kopje "Effecten ten opzichte van basisrun" in Tabel 17, zijn de gevolgen van de verschillende energie-besparende maatregelen vervolgens te zien als een verhoging of verlaging ten opzichte van het cijfer voor de basisrun. De afzonderlijke maatregelen laten het volgende zien:

- Een assimilatiebelichting van 60 μmol in plaats van 90 μmol leidt (uiteraard) tot een 1/3 lager elektriciteitsverbruik (-23.1 kWh), maar ook tot een +1.4 m^3 hoger gasgebruik (= 19%) omdat er minder warmte van de lampen beschikbaar is.

- De variabele daglichtdrempel bespaart 3.2 kWh elektra (= 4.6% besparing) en kost 0.1 m³ gas (=1.4%).
- De vermindering van SON-t aan het begin en einde van de teelt bespaart 10.2 kWh (=14.7%) en kost 0.5 m³ gas (=6.9%).
- De lagere setpoints voor de temperatuur leiden tot een lager gasverbruik (-0.3 m³ = 4%).

Omdat de afzonderlijke effecten van de vier pijlers voor energiebesparing steeds vergeleken worden met de basisrun (90 µmol belichting), is de som van de afzonderlijke effecten niet gelijk aan het gecombineerde effect van de vier pijlers.

De combinatie van bovenstaande maatregelen (Kas 3), laat een zeer aanzienlijke besparing op de elektriciteit zien: -31.3 kWh, oftewel 45%. Dat is iets minder dan de 50% die in de proef zelf is gerealiseerd. Het gasgebruik is 1.5 m³ (=20.8%) hoger dan in de basisrun. De procentuele toename in het gasverbruik is vrij groot als er minder wordt belicht. Dit komt doordat er in een zwaar belichte lelieteelt (90 µmol in de basisrun) met vrij lage temperatuursetpoints relatief weinig gas verbruikt wordt tijdens de twaalf weken trekduur. De totale energiebalans is uiteindelijk 113 MJ besparing aan elektra tegenover 51 MJ extra verbruik aan warmte, dus 62MJ besparing. Op een totaal verbruik van 487 MJ in de basisrun (238.1 MJ warmte + 249 MJ aan elektra) is de totale energiebesparing in MJ dus 12.7%.

4.4 Gebruik van een energiescherm

In de laatste regels van Tabel 17 en 18 zijn ook de resultaten te zien van het gebruik van een transparant energiescherm dat overdag sluit op basis van een temperatuur verschil tussen binnen en buiten van 8°C. Opmerkelijk is dat gebruik van het energiescherm overdag erg weinig besparing oplevert. De verwachting was dat er een groter zou effect zijn op dagen dat er gestookt wordt. Dit heeft ongetwijfeld te maken met de relatief weinig koude winter van 2014-2015. Het effect wordt echter ook verminderd doordat er warmte van de lampen beschikbaar is en doordat er op koude en tegelijk zonnige dagen relatief weinig wordt gestookt vanwege de lage temperatuur setpoints. Er wordt bovendien ook nog vocht geproduceerd onder het scherm waardoor er energie verloren gaat tijdens het noodzakelijke kieren. Daardoor heeft een energiescherm een relatief groter effect bij een weinig verdampend gewas in de eerste 4 weken (-4.6 MJ) ten opzichte van het sterker verdampende gewas in de laatste 8 weken (-2.1 MJ; zie Tabel 18). Dit versterkt het door Ecocurves en Photosyntax eerder gedane pleidooi voor vochtdoorlatende schermen.

Het aantal nuttige schermuren overdag ten opzichte van de basisrun (90µmol PAR) is dus erg klein. Dit suggereert dat de besparing door gebruik van een energiescherm overdag groter is zonder belichting. Dat is met simulaties geverifieerd en dat blijkt inderdaad het geval (geen data in dit rapport opgenomen). Verder is het 's nachts kouder dan overdag en de nachten zijn 's winters nu eenmaal ook veel langer dan de dagen. Dat heeft als gevolg dat het sluiten van een energiescherm 's nachts, *in combinatie met het verduisteringsdoek*, tot een besparing leidt die

aanzienlijk groter is dan wat overdag gehaald kan worden. De maximaal haalbare besparing hangt af van de eigenschappen van het energiedoek, onder andere de transmissie van warmtestraling, en ook van de grootte van de kier die nodig is om vocht af te voeren in de tijd dat de belichting 's nachts aan staat. Een besparing van meer dan 1.0 m³ gas lijkt echter mogelijk.

Tabel 18. Energie-berekeningen zoals in Tabel 17 maar dan uitgesplitst naar een lage LAI (LAI=0.5-2.4) en een hoge LAI (LAI=2.4-5).

Eerste vier weken (LAI=0.5-2.4)	Assimilaten productie (kg droog)	Warmte (MJ)	Warmte (m ³ gas)	Elektra (kwh)	Elektra (MJ)	Verlies CO2 (kg)
zonder belichting	0.06	89.9	2.7	0.0	0.0	0.0
basisrun (90µmol)	0.16	35.2	1.1	23.2	83.5	0.0
effecten ten opzichte van deze basisrun (pijlars totaalconcept)						
1. 60µmol+CO ₂ -dosering	-0.01	14.9	0.5	-7.9		1.3
60 µmol	-0.03	14.9	0.5	-7.9		0.0
CO ₂ dosering	0.03	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3
2. eerder afschakelen belichting begin en einde teelt (daglichtdrempel)	0.00	0.5	0.0	-1.3	-4.7	0.0
3. 40% armaturen uit begin en einde teelt	-0.01	4.4	0.1	-4.0	-14.4	0.0
4. setpoints temperatuur	0.00	-2.9	-0.1	0.0	0.0	0.0
combinatie-effect totaalconcept (maatregelen 1-4, kas 3)						
totaalconcept	-0.02	16	0.5	-11.1	-40.0	0.4
gebruik energiescherm overdag bij ΔT = 8°C ten opzichte van basisrun						
energiescherm	0.00	4.6	-0.1	0.0	0.0	0.0
Laatste 8 weken (LAI=2.4-5)	Assimilaten productie (kg droog)	Warmte (MJ)	Warmte (m ³ gas)	Elektra (kwh)	Elektra (MJ)	Verlies CO2 (kg)
Zonder belichting	0.26	299.9	9.1	0.0	0.0	0.0
Basisrun (90µmol)	0.64	202.9	6.1	45.6	164.2	0.0
Effecten ten opzichte van deze basisrun (pijlars totaalconcept)						
1. 60µmol+CO ₂ -dosering	-0.03	31.1	0.9	-15.2	-54.7	6.3
60 µmol	-0.12	31.1	0.9	-15.2	-54.7	0.0
CO ₂ dosering	0.10	0.0	0.0	0.0	0.0	6.3
2. eerder afschakelen belichting begin en einde teelt (daglichtdrempel)	-0.01	3.5	0.1	-1.8	-6.5	0.0
3. 40% armaturen uit begin en einde teelt	-0.05	12.2	0.4	-6.2	-22.3	0.0
4. setpoints temperatuur	0.01	-7.0	-0.2	0.0	0.0	0.0
Combinatie-effect totaalconcept (kas 3)						
	-0.07	35	1.0	-20.2	-72.7	6.6
Gebruik energiescherm overdag bij ΔT = 8°C ten opzichte van basisrun						
	0.00	-2.1	-0.1	0.0	0.0	0.0

5 Discussie en conclusies

5.1 Effect van assimilatielicht en CO₂ bij Lelie

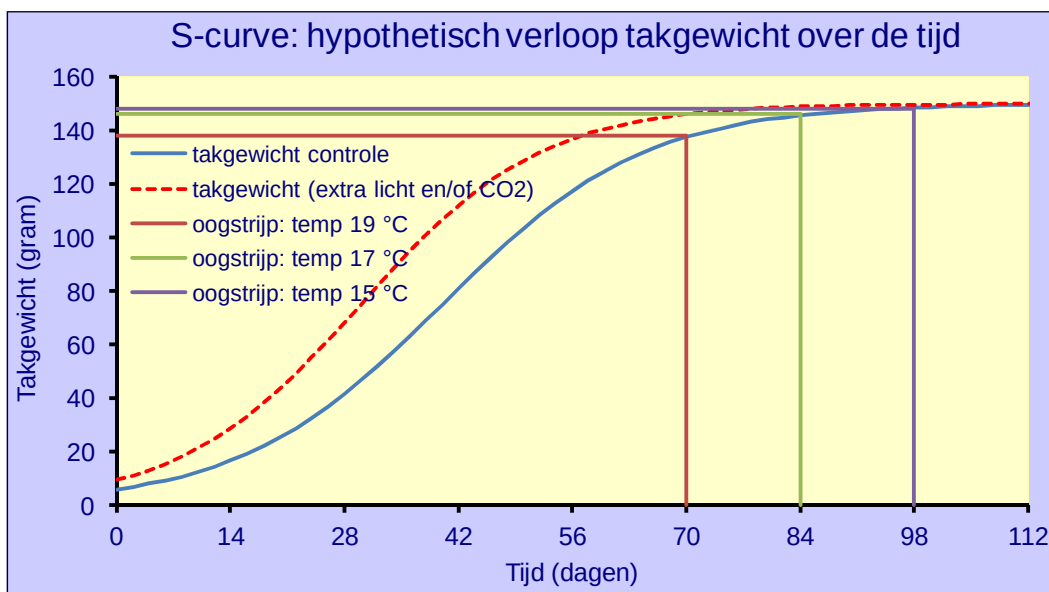
Lelie is een bolgewas waarbij de assimilatenbehoefte gedeeltelijk door de bol voorzien wordt. Tevens heeft lelie een gedetermineerde groei: Er komt maar één tak uit een bol, er is geen mogelijkheid voor zijtakken en ook het maximale aantal knoppen ligt al vast. Daaruit valt te concluderen dat er een 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 (=afval in de leliebroei), en/of mogelijk reguleert de fotosynthese zich terug. In Tabel 10 is ook te zien dat het bolgewicht toeneemt naarmate het aanbod aan assimilaten groter is, hetzij via een hogere intensiteit belichting, hetzij via CO₂ dosering.

De groei van een lelietak verloopt volgens een zogeheten S-curve. Een hypothetisch verloop van de groei over de tijd staat weergegeven als blauwe lijn in Figuur 7 (grotendeels hetzelfde als Figuur 3). De trekduur wordt grotendeels bepaald door de temperatuur. Hieruit volgt dat temperatuur een bepalende factor is of het maximale takgewicht wordt bereikt. Immers, door koud te telen wordt de trekduur verlengt, zodat de tak meer tijd krijgt om te groeien. Hierdoor wordt bij een gegeven assimilatenproductie per dag het maximale takgewicht gemakkelijker bereikt (paarse lijn 15°C teelt). Door juist warm te telen, wordt de trekduur fors verkort, waardoor het maximale takgewicht moeilijker bereikt wordt bij een gegeven assimilatenproductie per dag (rode lijn 19°C). Door meer assimilatielicht en/of CO₂-dosering wordt de assimilatenproductie per dag verhoogd (rood gestreepte S-curve). Dit helpt om bij een hogere teelttemperatuur (in dit voorbeeld 19°C) het maximale takgewicht toch te bereiken.

Figuur 7 biedt ook een verklaringsmodel voor de gevonden resultaten, zoals vermeld in paragraaf 3.2:

- Bij de eerste trek had CO₂-verhoging bij 45 en 60 µmol PAR een duidelijk positief effect op takgewicht (verschil niet altijd significant), maar nauwelijks meer bij 90 µmol PAR bij Santander en Robina (wel bij Brindisi en White Heaven). Als er wél CO₂-gedoseerd werd, had 60 en 90 µmol PAR alleen bij White Heaven overtuigende toegevoegde waarde boven 45 µmol PAR. Bij de andere drie rassen werd onder alle drie de lichtniveaus het maximale takgewicht al bereikt. Het ligt voor de hand dat als de teelttemperatuur hoger was geweest, juist de takken onder een lager lichtniveau en zonder CO₂-dosering lichter waren geweest dan nu is waargenomen.
- Bij de tweede trek werd globaal een zelfde lijn gevonden als bij de eerste trek: het bereiken van een maximaal takgewicht door meer licht en/of verhoogd CO₂-niveau. Het percentage slappe takken was alleen laag bij 90 µmol PAR zonder CO₂-dosering en 60 en 90 µmol PAR met CO₂-dosering.

Het bereiken van een goede takkwaliteit is dus een samenspel tussen de ontwikkelingstijd (bepaald door temperatuur) en de hoeveelheid assimilaten die aangemaakt worden (bepaald door licht en CO₂). Oftewel, de balans tussen assimilatenvraag en aanbod. Bij voldoende snelle aanmaak van assimilaten door extra licht en CO₂-dosering kan dus de teeltsnelheid omhoog. Bij een lage teelttemperatuur komen de voordelen van een verhoogd lichtniveau en/of CO₂-dosering voor de assimilaten-aanmaak dus niet tot uiting. Goed begrip van dit samenspel tussen temperatuursafhankelijke assimilatenvraag en de effecten van licht en CO₂ op assimilatenproductie zijn vereist voor een zo efficiënt mogelijke teelt van een tak die aan de kwaliteitseisen voldoet.



Figuur 7. Hypothetisch verloop toename van het takgewicht van lelie in de tijd (grotendeels zelfde figuur als Figuur 3). De teelttemperatuur bepaalt de ontwikkelingssnelheid van de bloemen. Als de ontwikkelingssnelheid hoog is (rode lijn) en de productie van assimilaten relatief laag, dan zal dat resulteren in oogst van takken die hun maximum gewicht nog niet bereikt hebben. Door belichting en CO₂-dosering kan een snellere groei (rode stippellijn) worden gerealiseerd zonder verlies van takgewicht. Let op: Dit is een theoretische benadering die niet gestaafd is met metingen.

5.2 Kansen voor energiebesparing in de lelieteelt

Op basis van Figuur 7 heeft een kweker twee opties om energie te besparen. Als een teler bij de gangbare, vrij lage temperatuur wil blijven telen, dan kan hij terug in het belichtingsniveau als hij zorgt dat het CO₂-gehalte hoog blijft. Heeft een teler echter momenten waarop er warmte afgelucht wordt, dan kan hij deze warmte beter in de kas houden en er voor zorgen dat er voldoende CO₂ en licht is om toch in een kortere tijd een kwalitatief goede tak te verkrijgen. Teeltduurverkorting bespaart immers ook energie, omdat er dan een kortere tijd gestookt en belicht hoeft te worden.

De energie-analyse zoals gepresenteerd in hoofdstuk 4 is gericht op het blijven telen bij een lagere temperatuur en niet op teeltduurverkorting. Deze analyse heeft duidelijk gemaakt dat iedere vermindering van lamplicht meer gas kost:

- Een assimilatiebelichting van 60 μmol in plaats van 90 μmol leidt tot een 1/3 lager elektriciteitsverbruik (-23.1 kWh), maar ook tot een 1.4 m³ hoger gasgebruik.
- De variabele daglichtdrempel bespaart 3.2 kWh op elektriciteit (= 4.6% besparing) en kost 0.1 m³ gas.
- De vermindering van SON-t aan het begin en einde van de teelt bespaart 10.2 kWh (=14.7%) en kost 0.5 m³ gas.
- De lagere setpoints voor de temperatuur leiden tot een besparing van 0.3 m³ gas.
- De combinatie van bovenstaande maatregelen (Kas 3), bespaart 31.3 kWh (=45%) op elektriciteit, en kost 1.5 m³ gas.

De afweging voor iedere teler is dus: weegt een besparing van 31.3 kWh voor elektra en een toename van 1.5 m³ gas voor een winterteelt van 12 weken, op tegen de kosten van CO₂-dosering.

Het zou interessant zijn om na te gaan hoe energiebesparing via het verminderen van belichting in combinatie met CO₂ dosering bij een relatief lage teelttemperatuur zich verhoudt tot energiebesparing via het verkorten van de teelt door een hogere teelttemperatuur. De vuistregel dat 1°C hogere teelttemperatuur de lelieteelt één week verkort (Wildschut en Kok, 2007), impliceert dat een 2°C hogere teelttemperatuur de trekduur bij een teelt van 12 weken met 16.7% verkort (2/12; Figuur 7), en dus ook aanzienlijk gas en elektra bespaart.

In Bijlage 2 is te zien dat (1) het gebruik van het energie-scherm gedurende de dag slechts beperkt effect heeft en (2) juist de gewasverdamping veel energie kost (het warmteverbruik neemt bijna lineair toe met de toenemende LAI). Het energiezuinig afvoeren van vocht en zelfs mogelijk de gewasverdamping beperken is dus een potentieel punt waarmee energie bespaart kan worden. Juist door CO₂ te doseren wordt de fotosynthese-snelheid niet zo snel beperkt bij een kleinere huidmondjesgeleidbaarheid (remmen verdamping). Wel kan beperking van verdamping fysiologische problemen geven door een verminderde toevoer van immobiele nutriënten.

Overwegingen bij aanschaf CO₂-doseringssysteem²

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

² Deze paragraaf komt ook voor in het rapport 'Belichting, CO₂ en stuurlicht in de lelieteelt' door Hogewoning et al. (2014) en is voor de volledigheid opnieuw opgenomen.

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. Hierbij dient er wel rekening mee te worden gehouden dat CO₂ in absolute zijn het meest bijdraagt aan productie als er veel licht is. En dat zijn juist de momenten dat er vaak gelucht wordt en de hoge 'natuurlijke' CO₂ concentraties wellicht wegzakken.

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.

5.3 Conclusies

In onderstaand overzicht worden de conclusies per doelstelling puntsgewijs weergegeven:

Hoeveel kan worden bespaard op belichting met CO₂?

- De lelies presteren bij 60 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ belichting plus CO₂ dosering gelijk of iets beter dan onder 90 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ belichting zonder CO₂ dosering. Dit bevestigt de resultaten van het winterseizoen '13/'14 (Hogewoning *et al.* 2014).
- De lelies van twee trekken met vier rassen onder 60 μmol belichting zonder CO₂ dosering presteren gelijk (6*) of minder (2*) dan onder 90 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ belichting zonder CO₂ dosering.
- Tijdens de eerste trek kon de belichting verder terug naar 45 μmol als dit gepaard gaat met CO₂ dosering, behalve bij White Heaven. Tijdens de tweede trek was dit niet mogelijk: het versgewicht van de takken onder 45 μmol was lager dan onder 60 μmol .
- De ondergrens qua belichting ten aanzien van de takkwaliteit is dus deels afhankelijk van hoeveel licht er van buiten komt. Bij de eerste trek was 45 μmol met CO₂-dosering voldoende (uitzondering White Heaven), bij de tweede trek niet.
- Bovenstaande resultaten hangen nauw samen met de gerealiseerde etmaaltemperatuur van 17°C. Bij een snellere teelt door een hogere etmaaltemperatuur zal ook 45 μmol met CO₂-dosering niet voldoende zijn.

Toetsing 'totaalconcept energiebesparing': Kan nog verder gegaan worden met energiebesparing met behoud van voldoende kwaliteit?

- In grote lijnen werkt het totaalconcept. Wel is de soms iets langere stengellengte en de hogere slap-index t.o.v. kas 2 (met CO₂ dosering, geen totaalconcept) een aandachtspunt. NB een hogere slap-index valt niet één op één samen met vermindering van A1-kwaliteit.
- Buiten de belichting reduceren van 90 μmol naar 60 μmol met CO₂-dosering om (33% besparing), kan er tot 20% bespaard worden door de belichting af stemmen op het groeistadium door de S-curve van het gewas te volgen: (1) door de helft van de belichting (40% in de proef) uit te schakelen aan het begin en einde van de teelt (maximaal 15% besparing) en (2) door het laten verlopen van de daglichtdrempel waarboven de belichting aanschakelt (maximaal 5%).
- Alle vermindering in belichting leidt tot een verhoging in gasverbruik, dit kan oplopen tot zo'n 2 m³ gas.
- Energiebesparing door lagere setpoints voor temperatuur is beperkt (0.3 m³ = 4% besparing op gas), tevens bestaat het gevaar voor een grotere positieve DIF dat een ongewenste stengelstrekking in de hand kan werken.

Referenties

- Dueck T, Pot CS.** 2010. Lichtmeetprotocol Lichtmetingen in onderzoekskassen met LED en SON-T belichting. Wageningen, Wageningen UR Glastuinbouw, 18p.
- Dieleman JA, Raaijmakers E, Meinen E.** 2005. Temperatuuronderzoek bij tomaat, Effect van een tijdelijke temperatuurverlaging (DROP) op groei, ontwikkeling en productie. Wageningen Plant Research International B.V., 58p.
- Hogewoning SW, Trouwborst G, Slootweg G, Van Aanholt JTM, Pot CS, Kok BJ.** 2014. Belichting, CO en stuurlicht in de lelieteelt: een strategie voor energiebesparing. Plant Lighting B.V., Bunnik. 42p.
- Long SP, Osborne CP, Humphries SW.** 1996. Photosynthesis, rising atmospheric carbon dioxide concentration and climate change. In: Breymeyer AL, Hall DO, Melillo JM, Agren GL, eds. Global change: effects on coniferous forest and grasslands. New York: John Wiley and Sons Ltd., 121–159.
- Kok H, Van Aanholt H.** 2006, Papierblad in lelie, Lisse: Praktijkonderzoek plant en omgeving, 50p.
- Kok H, Van Aanholt H.** 2004a. Onderzoek naar aspecten bij leliebroei. Lisse: Praktijkonderzoek plant en omgeving, 92p.
- Kok H, Van Aanholt H.** 2004b. Temperatuurintegratie in Lelie, onderzoek 2000, 2001, 2002. Lisse: Praktijkonderzoek plant en omgeving, 27p.
- Rappoldt C, Schapendonk AHCM.** 2015. Scenario analyses energieverbruik Lelie, Berekeningen met Explorer Kasklimaat. EcoCurves, Haren en Photosyntax, Wageningen, 32p.
- Slootweg G, Kok H, Van Aanholt H.** 2010. CO₂-bemesting Lelie. Lisse: Praktijkonderzoek plant en omgeving, 21p.
- Slootweg G, Kok H,** 2012. Het nieuwe telen in lelie ; 2^e praktijkproef energiezuinig klimaat in de broei van lelie. Lisse: Praktijkonderzoek plant & omgeving, 23p.
- Trouwborst G, Hogewoning SW, Pot CS.** 2013. Meer rendement uit licht en CO₂ bij Lelie. Bunnik: Plant Lighting B.V. & Plant Dynamics B.V., 25p.
- 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.

Bijlage 1 Leaf area index lelieteelt

Om een indruk te krijgen van het uiteindelijke bladoppervlak van een lelieteelt zijn bij de eind oogst van de rassen Santander en White Heaven het aantal bladeren geteld en is de bladoppervlakte bepaald (Tabel 19).

Tabel 19. Aantal bladeren, bladoppervlakte en LAI van Santander en White Heaven bij de eind oogst (n=8).

	Aantal bollen/kist	Aantal bladeren per tak	Bladoppervlakte per tak(cm ²)	LAI (zonder paden)	LAI met paden zoals praktijk 2.9 kist/m ²
Santander	8	36.6	1643	5.5	3.8
White Heaven	10	40.6	1333	5.6	3.9

Tabel 20. Geschat verloop van de LAI over de teeltweken.

	LAI
Week 1	0.5
Week 2	0.8
Week 3	1.6
Week 4	2.4
Week 5	3.2
Week 6	4.0
Week 7	4.8
Week 12	5.0

Bijlage 2 Achtergronden berekeningen met Explorer

Explorer: de virtuele kas

Om energieberekeningen voor de praktijksituatie te maken, is binnen Explorer een virtuele kas gebouwd, met de specificaties van afdeling 8 en 9 in het kascomplex van Kwekerij Bakker in Heerhugowaard. De reden hiervoor is dat berekeningen van het energieverbruik in een praktijkkas voor telers relevanter zijn dan berekeningen voor een experimentele kas, zoals op het Improvement Center. Daar zijn wel de teeltexperimenten gedaan om de effecten van de maatregelen op de productie te bepalen. De simulaties van het energieverbruik en de fotosynthese zijn uitgevoerd met tijdstappen van 5 minuten.

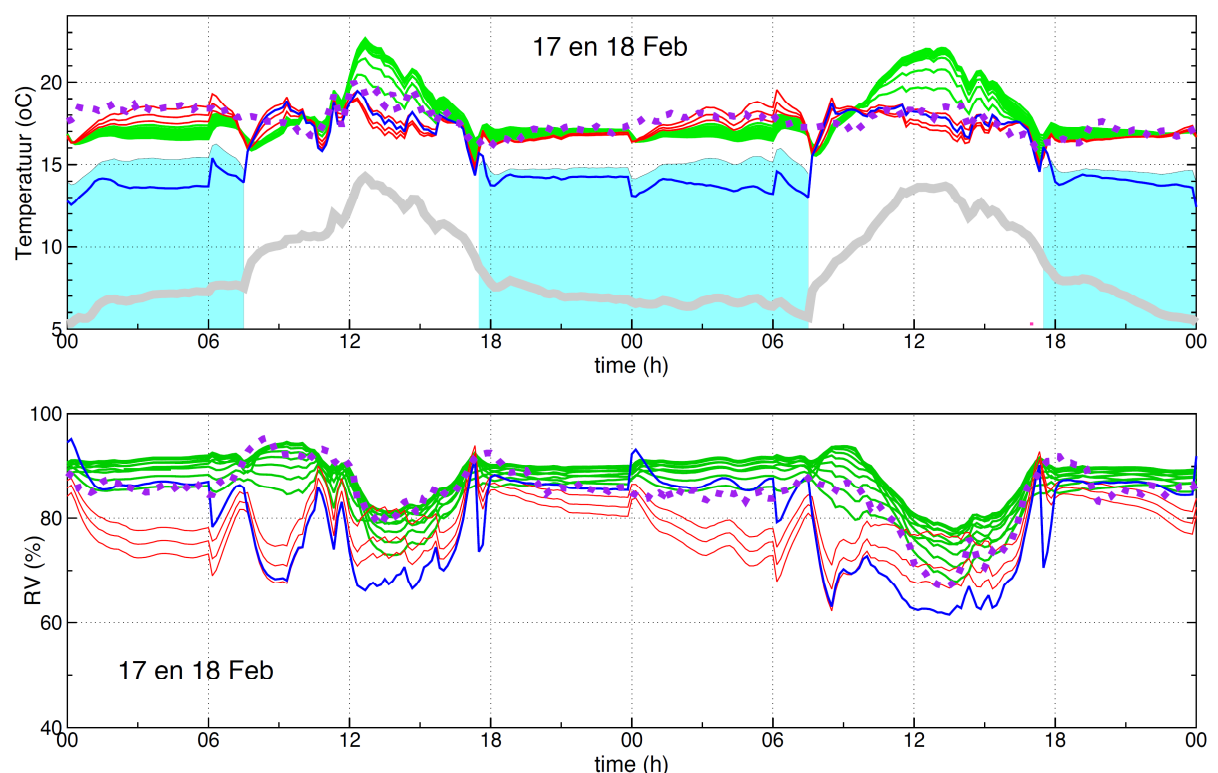
Een virtuele kas omvat alle constructiedelen en de daarbij behorende fysische eigenschappen. De klimaatregeling wordt gestuurd met een klimaatcomputer, waarvan de werking is getoetst aan de hand van een winterteelt bij Kwekerij Bakker. Enkele belangrijke kenmerken van de teelt en de klimaatregeling zijn:

- Plantverband: containers van 6 x 1.25 m. met daarin 24 kratten van 0.4 x 0.6 m. Per krat 14 bollen. In totaal 1280 containers in afdeling 8 en 9. De lelies worden in de kas geplaatst wanneer de scheut een lengte heeft van 10 cm.
- Belichting: SON-T 600 Watt Philips. Afstand tussen rijen 6.4 m en tussen lampen in de rij 2.05 m. Dambord schakelpatroon.
- Verwarming: 51 mm buizen. Er zijn 7 buizen per tralie (6.4 m). Er zijn 2 kappen per tralie.
- Ventilatie via luchtramen. Er zijn 8 ramen per vak (4.5 m). waarvan 3 ventilatieramen om en om aan de loef- en lijzijde
- Doek: het geïnstalleerde doek is een verduisteringsdoek van het merk Phormium. In de nieuwe kas wordt het doek LS Obscura 9950 FR W. Dit is tevens het scherm dat in de virtuele kas is geïnstalleerd. Eigenschappen: 100% polyester. 50% energiebesparing. 99% lichtwering Navraag bij Svenson leert dat er $37.7 \text{ gm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ water door het doek wordt afgevoerd bij een temperatuur 20°C onder het doek bij 80% RV en 10 graden boven het doek bij 80% RV.

Onder het kopje 'Invoergegevens' is een opsomming te zien van de gegevens die gebruikt zijn om de hardware van virtuele leliekas te construeren in samenhang met de planteigenschappen.

Met een model kan in principe het effect van allerlei maatregelen worden doorerekend. We kunnen immers twee situaties vergelijken en daarbij alles gelijk houden, behalve de factoren die we willen onderzoeken. Bij een proef is dat vaak moeilijker vanwege de vele interacties tussen factoren en de ruis in de metingen waardoor kleine verschillen niet goed aan te tonen zijn.

Daar staat natuurlijk tegenover dat we alleen vertrouwen kunnen hebben in de uitkomsten van een modelstudie als model en werkelijkheid ongeveer met elkaar overeenkomen. Om dat na te gaan hebben we met het Explorer kasklimaat model een dataset van Fokke Galema (Kwekerij Bakker) doorgerekend. Net als in een echte kas wordt ook de in virtuele kas het kasklimaat geregeld met een (virtuele) klimaat computer, die deel uitmaakt van het Explorer model. De gebruikte setpoints komen overeen met die in compartiment 8 en 9 van Kwekerij Bakker. In Figuur 8 is het resultaat te zien voor twee dagen in februari 2015. Het verschil tussen de gemeten en gesimuleerde temperatuur bedraagt gemiddeld 0.3°C met een statistische spreiding van 1.1 (standaard afwijking). Voor de RV is het verschil gemiddeld 0.6% met een spreiding van 3.5%. De vergelijking tussen gemeten waarden en gesimuleerde waarden heeft betrekking op de luchttemperatuur in de bovenste bladlagen.



Figuur 8. Simulatie met Explorer Kasklimaat, vergeleken met gemeten temperatuur (bovenste grafiek) en de gemeten RV (onderste grafiek). De gemeten waarden zijn weergegeven als paarse stippen. De dunne groene lijnen zijn de gesimuleerde luchttemperaturen (figuur boven) en RV-waarden (figuur onder) op verschillende hoogtes in het gewas. De dunne rode lijnen zijn temperaturen en RV waarden in de luchtlagen op verschillende hoogtes boven het gewas, verdeeld tussen top van de plant en schermhoogte. De blauwe lijn geeft de waarden voor de kap (boven het scherm) en de dikke grijze lijn is de gesimuleerde temperatuur van het kasdek. De sluiting van het scherm is weergegeven als een groot cyaankleurig vlak. De hoogte van het vlak geeft de gesimuleerde schermtemperatuur weer.

Belangrijk is ook dat het gesimuleerde energiegebruik overeenkomt met het werkelijke energiegebruik van een lelieteelt. Slootweg en Kok (2012) rapporteren een gemiddelde buiswarmte van 42 Wm^{-2} voor een belichte proef in de winter 2011/2012 bij een stooktemperatuur van 15°C . Voor hiermee overeenkomende instellingen simuleert de

Explorer Kasklimaat een gemiddelde buiswarmte van 45.9 Wm^{-2} . Dat komt goed overeen, gegeven het feit dat de proef van Slootweg en Kok (2012) in een andere winter gedaan is en hoogstwaarschijnlijk ook bij een andere LAI.

Resultaten

De berekeningen zijn uitgevoerd met de gemiddelde fotosynthese parameters voor drie rassen, Santander, Brindisi en Robina. In Tabel 21 en Tabel 22 zijn de resultaten samengevat. De getallen zijn weergegeven voor de gehele teelt en voor twee afzonderlijke fases, een fase met lage LAI in de eerste 4 weken en een fase met een hoge LAI gedurende de laatste 8 weken van de teelt (zie Tabel 20).

Steeds is in de bovenste regel het resultaat weergegeven voor een teelt zonder belichting. De regels daaronder geven de basisrun (zie hoofdstuk 4.2 voor uitleg basisrun). Belichting met $90 \mu\text{mol}$ levert ongeveer een verdubbeling van de assimilatie ten opzichte van de onbelichte teelt. Dit wil echter niet zeggen dat er ook een verdubbeling van takgewicht zal zijn. Het gasgebruik in de teelt met week 47 als startdatum is 7.2 m^3 (Tabel 21). Voor de tweede teelt met startweek 50 (Tabel 22) is dat 6.9 m^3 . Die verschillen zijn dus klein. Vergeleken met een onbelichte teelt wordt er meer dan $4.6/4.2 \text{ m}^3$ gas bespaard dankzij de lampwarmte. Op een laag gebruik is de besparing door belichting dus zeer aanzienlijk, namelijk meer dan 40%. Daar staat echter een elektriciteitsverbruik van zo'n $69.2/65.7 \text{ kWh}$ tegenover. Kortom: De basis-belichting van $90 \mu\text{mol}$ geeft een verdubbeling van de assimilatie en 40% minder gasverbruik, ten koste van ongeveer 70 kWh , vergeleken met een onbelichte teelt met eenzelfde trekduur.

De laatste kolom bevat de berekende verliezen van CO_2 wanneer we ervan uitgaan dat de concentratie altijd op 800 ppm wordt gehouden, ook tijdens ventilatie. Hierdoor gaat relatief veel CO_2 verloren via ventilatie, maar het is wel de waarde waarbij het effect op de groei maximaal is.

Onder de kopjes "Effecten ten opzichte van basisrun" in Tabel 21 en 22, zijn de gevolgen van de verschillende maatregelen vervolgens te zien als een verhoging of verlaging ten opzichte van het cijfer voor de basisrun (in de tweede regel). Er zijn ook enkele maatregelen gecombineerd, zoals lichtverlaging naar $60 \mu\text{mol}$ licht en CO_2 dosering.

Tabel 21. Berekeningen met gebruik van gemiddelde fotosynthese parameters. Start teelt in week 47. De tabel laat de basisrun zien en daaronder steeds de verschillen ten opzichte van die basisrun. Het model rekent met een CO₂ effect op de huidmondjes, maar voor lelie staat dit ter discussie (zie tekst onder).

Teelt van 12 weken	Productie (kg droog)	Warmte (MJ)	Warmte (m ³ gas)	Electra (kWh)	Verlies CO ₂ (kg)
Zonder belichting	0.32	389.8	11.8	0.0	0.0
Basisrun (90 μMol)	0.80	238.1	7.2	69.2	0.0
<i>Effecten ten opzichte van basis run</i>					
60 μMol	-0.15	46.0	1.4	-23.1	0.0
CO ₂ doseren	0.13	-17.4	-0.5	0.0	7.6
60 μMol + CO ₂ doseren	-0.05	31.6	1.0	-23.1	6.4
Temperatuur setpoints	0.01	-9.9	-0.3	0.0	0.0
Verloop lichtdrempel	-0.02	4.0	0.1	-3.2	0.0
SONt reductie	-0.06	16.6	0.5	-10.2	0.0
Combinatie effect (kas 3)	-0.09	37.4	1.1	-31.3	7.0
<i>Energiescherm ΔT=8°C ten opzichte van basis run</i>					
Energiescherm	0.00	-6.7	-0.2	0.0	0.0

Eerste 4 weken	Productie (kg droog)	Warmte (MJ)	Warmte (m ³ gas)	Electra (kWh)	Verlies CO ₂ (kg)
Zonder belichting	0.06	89.9	2.7	0.0	0.0
Basisrun (90 μMol)	0.16	35.2	1.1	23.6	0.0
<i>Effecten ten opzichte van basis run</i>					
60 μMol	-0.03	14.9	0.5	-7.9	0.0
CO ₂ doseren	0.03	-1.8	-0.1	0.0	1.3
60 μMol + CO ₂ doseren	-0.01	13.2	0.4	-7.9	0.9
Temperatuur setpoints	0.00	-2.9	-0.1	0.0	0.0
Verloop lichtdrempel	0.00	0.5	0.0	-1.3	0.0
SONt reductie	-0.01	4.4	0.1	-4.0	0.0
Combinatie effect (kas 3)	-0.02	14.4	0.4	-11.1	0.4
<i>Energiescherm ΔT=8°C ten opzichte van basis run</i>					
Energiescherm	0.00	-4.6	-0.1	0.0	0.0

Laatste 8 weken	Productie (kg droog)	Warmte (MJ)	Warmte (m ³ gas)	Electra (kWh)	Verlies CO ₂ (kg)
Zonder belichting	0.26	299.9	9.1	0.0	0.0
Basisrun (90 μMol)	0.64	202.9	6.1	45.6	0.0
<i>Effecten ten opzichte van basis run</i>					
60 μMol	-0.12	31.1	0.9	-15.2	0.0
CO ₂ doseren	0.10	-15.6	-0.5	0.0	6.3
60 μMol + CO ₂ doseren	-0.03	18.4	0.6	-15.2	5.5
Temperatuur setpoints	0.01	-7.0	-0.2	0.0	0.0
Verloop lichtdrempel	-0.01	3.5	0.1	-1.8	0.0
SONt reductie	-0.05	12.2	0.4	-6.2	0.0
Combinatie effect (kas 3)	-0.07	23.0	0.7	-20.2	6.6
<i>Energiescherm ΔT=8°C ten opzichte van basis run</i>					
Energiescherm	0.00	-2.1	-0.1	0.0	0.0

Tabel 22. Berekeningen met gebruik van gemiddelde fotosynthese parameters. Start teelt in week 50. De tabel laat de basisrun zien en daaronder steeds de verschillen ten opzichte van die basisrun. Het model rekent met een CO₂ effect op de huidmondjes, maar voor lelie staat dit ter discussie (zie tekst onder).

Teelt van 12 weken	Productie (kg droog)	Warmte (MJ)	Warmte (m ³ gas)	Electra (kWh)	Verlies CO ₂ (kg)
Zonder belichting	0.44	367.8	11.1	0.0	0.0
Basisrun (90 μMol)	0.89	226.4	6.9	65.7	0.0
<i>Effecten ten opzichte van basis run</i>					
60 μMol	-0.14	40.9	1.2	-21.9	0.0
CO ₂ doseren	0.16	-15.9	-0.5	0.0	6.6
60 μMol + CO ₂ doseren	-0.01	27.5	0.8	-21.9	5.7
Temperatuur setpoints	0.02	-10.6	-0.3	0.0	0.0
Verloop lichtdrempel	-0.02	4.2	0.1	-3.3	0.0
SONt reductie	-0.06	16.8	0.5	-9.8	0.0
Combinatie effect (kas 3)	-0.03	33.3	1.0	-30.1	4.5
<i>Energiescherm ΔT=8°C ten opzichte van basis run</i>					
Energiescherm	0.00	-4.7	-0.1	0.0	0.0

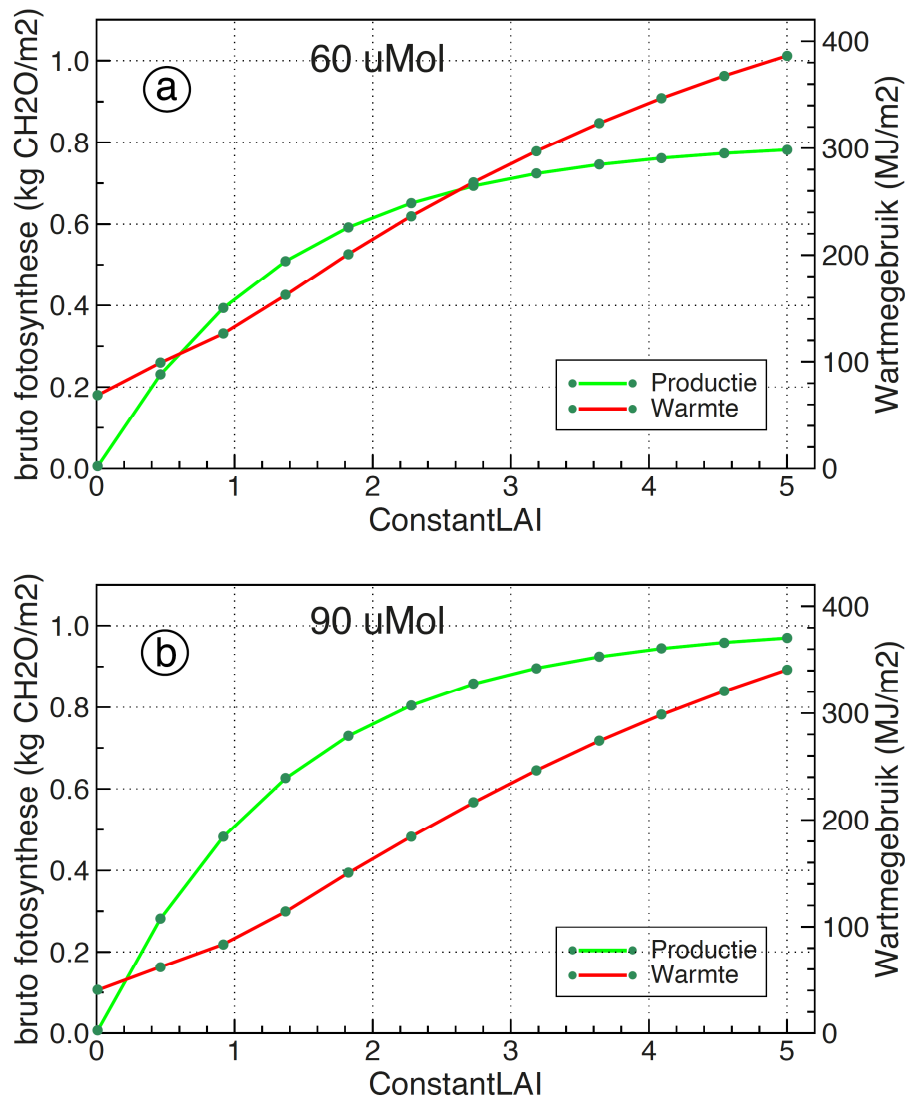
Eerste 4 weken	Productie (kg droog)	Warmte (MJ)	Warmte (m ³ gas)	Electra (kWh)	Verlies CO ₂ (kg)
Zonder belichting	0.06	79.3	2.4	0.0	0.0
Basisrun (90 μMol)	0.16	28.9	0.9	23.5	0.0
<i>Effecten ten opzichte van basis run</i>					
60 μMol	-0.03	11.9	0.4	-7.8	0.0
CO ₂ doseren	0.03	-1.5	0.0	0.0	1.1
60 μMol + CO ₂ doseren	-0.01	10.3	0.3	-7.8	0.7
Temperatuur setpoints	0.00	-2.1	-0.1	0.0	0.0
Verloop lichtdrempel	0.00	0.6	0.0	-1.4	0.0
SONt reductie	-0.01	5.3	0.2	-4.1	0.0
Combinatie effect (kas 3)	-0.02	13.6	0.4	-11.2	0.5
<i>Energiescherm ΔT=8°C ten opzichte van basis run</i>					
Energiescherm	0.00	-1.6	0.0	0.0	0.0

Laatste 8 weken	Productie (kg droog)	Warmte (MJ)	Warmte (m ³ gas)	Electra (kWh)	Verlies CO ₂ (kg)
Zonder belichting	0.38	288.5	8.7	0.0	0.0
Basisrun (90 μMol)	0.73	197.4	6.0	42.2	0.0
<i>Effecten ten opzichte van basis run</i>					
60 μMol	-0.11	29.0	0.9	-14.1	0.0
CO ₂ doseren	0.13	-14.4	-0.4	0.0	5.5
60 μMol + CO ₂ doseren	0.00	17.3	0.5	-14.1	5.0
Temperatuur setpoints	0.02	-8.5	-0.3	0.0	0.0
Verloop lichtdrempel	-0.01	3.7	0.1	-1.9	0.0
SONt reductie	-0.05	11.5	0.3	-5.8	0.0
Combinatie effect (kas 3)	-0.01	19.7	0.6	-18.9	4.0
<i>Energiescherm ΔT=8°C ten opzichte van basis run</i>					
Energiescherm	0.00	-3.0	-0.1	0.0	0.0

De effecten van CO₂ dosering op het energiegebruik zijn nog een punt van discussie. We zijn er in het model vanuit gegaan dat extra CO₂ zowel de assimilatie stimuleert (meer CO₂ in het blad) als de verdamping remt (huidmondjes minder ver open), zoals dat voor C3 gewassen vaak gerapporteerd is. In de simulaties voor 800 ppm CO₂ was de geleidbaarheid van de huidmondjes ongeveer 20% lager dan in de simulaties voor 450 ppm. Deze geringere geleidbaarheid leidde tot ongeveer 5% minder verdamping en daardoor tot een besparing op het gasgebruik van 0.5m³. Er zijn echter metingen gedaan waaruit blijkt dat de huidmondjes van lelie niet reageren op extra CO₂. Dat zou betekenen dat ook de verdamping en het warmtegebruik niet zullen reageren op de extra CO₂ en dat de productie nog wat sterker toeneemt dan dat wij hier berekend hebben. De gevolgen van een verminderde verdamping resulteerden in een energiebesparing van 17.4 MJ in teelt 1 en 15.9 MJ in teelt 2, waarvan 15.6 en 14.4 MJ in de laatste weken van de teelt. Dat komt overeen met 0.5m³ gas. Deze besparing van 0.5 m³ gas zou dus komen te vervallen (In tabel 17 en 18 is dit verdisconteerd). De precieze balans tussen energiebesparing en de extra assimilatie blijft dus nog wat onzeker. Het effect op de productie in Tabel 21 is 0.13 kg op een basis van 0.80 kg, ofwel 16%. Het grootste effect van CO₂-dosering is dus een grotere productie, terwijl de 5% berekende afname in verdamping relatief gering is.

Bladoppervlak, verdamping en energieverbruik.

In Figuur 9 is het effect van bladoppervlak berekend voor de Basisrun met 90 en 60 µmol belichting, en over de 12 weken teeltduur. De figuur is een simpele illustratie van de dominante rol van de LAI in de warmte- en vochthuishouding van de kas. Het energieverbruik is zelfs bijna lineair afhankelijk van de LAI. Dat geldt natuurlijk niet voor de productie die sterk afvlakt met de LAI omdat de lichtonderschepping steeds minder toeneemt.



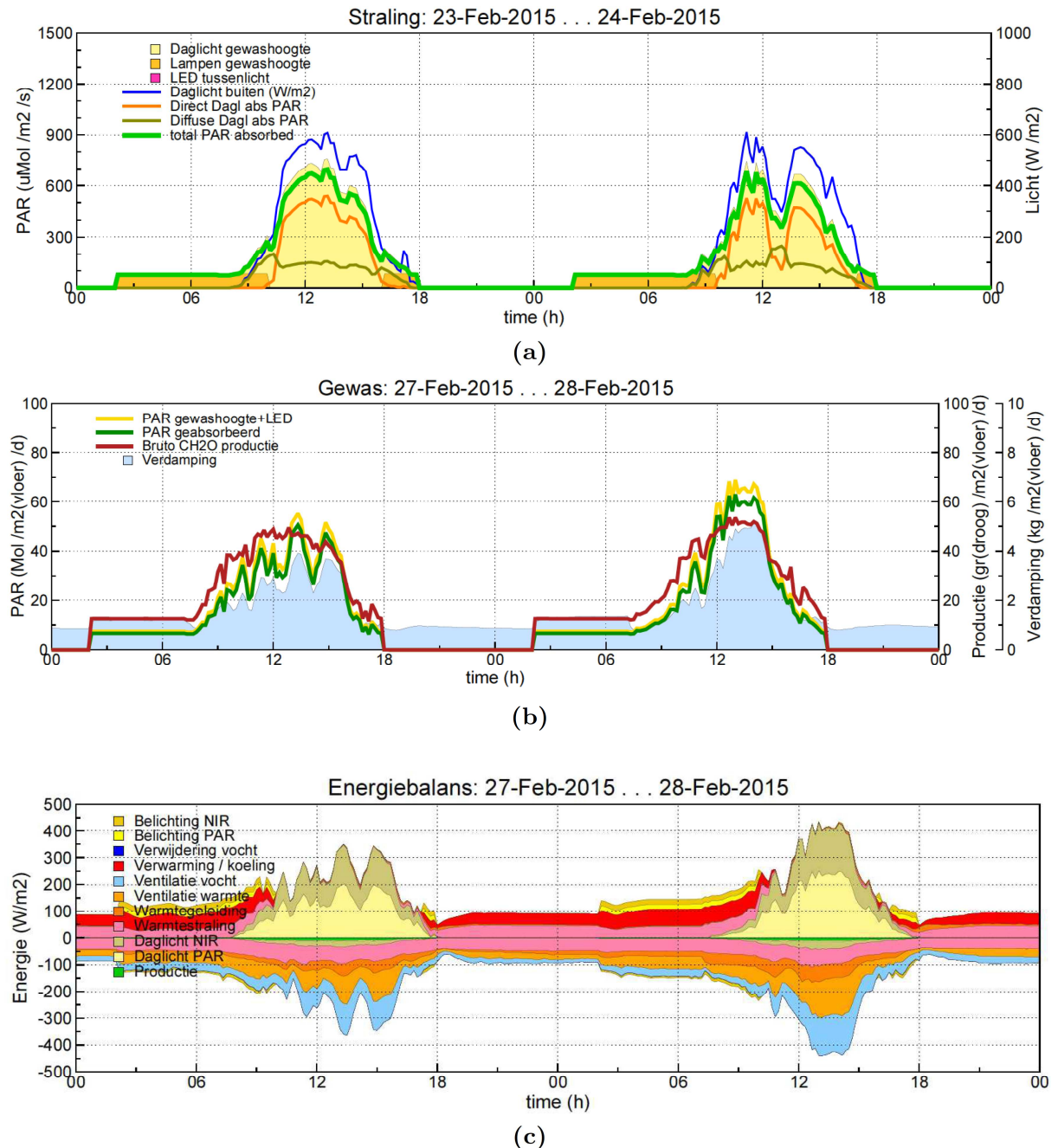
Figuur 9. Gesimuleerde fotosynthese en warmtegebruik als functie van de LAI bij 60 (A) en 90 μmol belichting (B). Elk punt is het resultaat van een 12-wekelijkse simulatie. Hierbij werd de LAI constant gehouden op de aangegeven waarde. Met deze analyse kan heel nauwkeurig worden vastgesteld hoe groot het belang is van de gewasverdamping.

Voorbeeld energiebalans

De Explorer Kasklimaat simuleert met tijdstappen van enkele minuten de gewasverdamping, de assimilatie en de energiebalans van de kas. Voor iedere dag worden daarvan grafieken geproduceerd om snel een indruk te krijgen van de situatie. Figuur 10 voor geeft daarvan een voorbeeld.

In Figuur 10 zien we bij de inkomende energie: inkomende infrarode assimilatiebelichting (NIR), inkomend zichtbare assimilatiebelichting, verwarming, inkomend infrarood daglicht (NIR), inkomend zichtbaar daglicht. Bij de verliezen zien we: energieopslag in het geproduceerde plantmateriaal (kleine groene vlak), gereflecteerd NIR en zichtbaar licht, langgolvlige uitstraling (warmtestraling), convectief warmteverlies (warmtegeleiding) en

latent warmteverlies (vochtafvoer). De totale inkomende energie is gelijk aan het totale verlies. Slechts gedurende korte tijd kan de balans daarvan afwijken, bijvoorbeeld als plotseling de zon gaat schijnen. De temperatuur loopt dan op net zolang tot het verlies weer gelijk is aan de binnenkomende energie (of de ramen gaan open zodat het convectieve verlies toeneemt).



Figuur 10. Overzicht van de energiebalans op 2 dagen met een relatief hoge instraling.

a) verschillende componenten van PAR en de verdeling diffuus-direct. LED niet aanwezig

b) gesimuleerde assimilatie (CH₂O), inkomende PAR, geabsorbeerde PAR en verdamping.

c) Verdeling van inkomende energie (alles boven de 0-lijn) en uitgaande energie (alles onder de 0-lijn).

Invoergegevens

Hieronder een beknopt overzicht van de invoer gegevens van de Explorer Kasklimaat.

Kasparameters (lengtes in meter)

1. Goothoogte
2. Gewashoogte
3. Transmissie kasdek
4. Lamp- en armatuur (merk)/ geïnstalleerd vermogen
5. Aantal lampen per m²
6. Lamphoogte
7. PAR lampen ($\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$)
8. Padbreedte
9. Plantafstand
10. Hoogte groeibuis
11. Buisrail (12x51 mm) lengte per m² kas
12. Oppervlak en hoogte ventilatieramen

Plant parameters

1. Plantdatum en ras
2. Schatting LAI verloop (voor verdampingsberekeningen)

Fotosynthese en licht

1. Fotosynthese response op licht (maart)
2. Fotosynthese respons op CO₂ (steekproef 6 herhalingen, februari)
3. Huidmondjes geleidbaarheid
4. Lichtonderschepping

Buitenweer

1. T buiten
2. RV buiten
3. Windsnelheid
4. Raamstanden
5. Instraling (globale straling buiten in Watt/m²)

Ter verificatie

1. Schermstanden
2. T kas (zoveel mogelijk locaties)
3. T plant
4. RV binnen
5. CO₂ in de kas
6. Ontvochtiging (m³ buitenlucht)
7. Temperatuur ingebrachte lucht
8. Temp buis ondernet
9. Temp buis groeinet