



Energiebesparing met LED belichting in gerbera

Resultaten van 1^{ste} jaar LED onderzoek

Nieves García¹, Kees Weerheim¹, Frank van der Helm², Frank Kempkes¹, Pieter de Visser¹ en Marco de Groot³

Rapport GTB-1389

1. Wageningen UR Glastuinbouw, 2. InHolland, 3. FloriConsult Group

Referaat

In de winter van 2013-2014 is met financiering door *Kas als Energiebron* bij Wageningen UR Glastuinbouw teeltonderzoek gedaan naar mogelijkheden energie te besparen in de teelt van gerbera, cv Kimsey. Onderzocht is de bijdrage van LED belichting, LED tussenbelichting, een lagere intensiteit van de belichtingsinstallatie, en lichtintegratie. Beoogd werd een besparing op elektra van 45% totaal. Door toepassing van LED-belichting is 20% besparing op elektra mogelijk, met een klein productieverlies van 2.3% en een extra warmtebehoefte van 9%. Door te kiezen voor 80 in plaats van 100 μmol kunnen gerberatelers nog eens 20% op energie besparen; dit kostte 3.9% productie zonder op kwaliteit in te leveren. De gestelde PAR som voor lichtintegratie was te hoog waardoor er geen bijdrage aan de besparing kon worden geleverd. Het gebruik van 20 μmol LED tussenbelichting in combinatie met 60 μmol topbelichting (LED of SON-T) resulteerde in aanzienlijk minder productie (ruim 9% minder bloemen, korter, lichter, van kleinere diameter en een lager % droge stof) dan 80 μmol topbelichting.

Abstract

In the winter 2013-2014 Wageningen UR Greenhouse Horticulture conducted studies on energy saving opportunities in the cultivation of gerbera, CV Kimsey. The research was funded by the program *Greenhouse as Energy Source* from the Ministry of Economic Affairs and LTO Glaskracht. The contribution of LED lighting, LED interlighting, a lower intensity of the light installation, and light integration was investigated. An electricity savings of 45% was the target. By using LED lighting a 20% electricity savings are possible in exchange for a small production loss (2.3%) and some additional heat demand (9%). By installing 80 instead of 100 μmol light gerbera growers can save another 20% energy costing only 3.9% production without sacrificing quality. The targeted PAR sum for light integration was too high to contribute to electricity savings. The use of 20 μmol LED interlighting in combination with 60 μmol top light (LED or SON-T) resulted in significantly less production (9%) and lower flower quality: shorter and lighter, smaller diameter and a lower % of dry matter) than 80 μmol top light.

Rapportgegevens

Rapport GTB-1389

Projectnummer: 3242177100



Disclaimer

© 2016 Wageningen UR Glastuinbouw (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek), Postbus 20, 2665 MV Bleiswijk, Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk, T 0317 48 56 06, F 010 522 51 93, E glastuinbouw@wur.nl, www.wageningenUR.nl/glastuinbouw. Wageningen UR Glastuinbouw.

Wageningen UR Glastuinbouw aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Adresgegevens

Wageningen UR Glastuinbouw

Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk
Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk
T +31 (0)317 48 56 06
F +31 (0)10 522 51 93

Inhoud

	Voorwoord	5
	Samenvatting	7
1	Inleiding	9
1.1	Aanleiding	9
1.2	Doelstellingen	9
1.3	Achtergrond en hypothesen	10
1.3.1	Lichtintensiteit en bloemproductie	10
1.3.2	Lichtintegratie	11
1.3.3	Scheutontwikkeling	11
1.4	Samenwerking en projectstructuur	12
2	Materiaal en methoden	13
2.1	Behandelingen	13
2.2	Meetnet en gewaswaarnemingen	15
2.2.1	Klimaatdata	15
2.2.2	Metingen	15
2.2.3	Botrytisgevoeligheid	16
2.3	Monitoring en update groeimodel	17
2.4	Energie berekeningen	17
2.5	Aanvullende praktijkproef: LED kleuren als stuurlicht	17
3	Resultaten	19
3.1	Klimaat	19
3.1.1	Licht	19
3.1.2	Temperatuur, RV en verdamping, CO ₂	21
3.1.2.1	Temperatuur	21
3.1.2.2	Luchtvochtigheid, verdamping en wateropname	23
3.1.2.3	CO ₂ concentratie	24
3.1.3	Planttemperatuur	25
3.2	Productie en kwaliteit	25
3.2.1	Productie	25
3.2.2	Uitgroeiduur	27
3.2.3	Uitwendige kwaliteit (bloemdiameter, lengte, gewicht)	27
3.2.4	Destructieve waarnemingen	28
3.2.5	Houdbaarheid	29
3.3	Fotosynthese	30
3.3.1	Fotosynthese bij toenemende lichtintensiteit	30
3.3.2	Fotosynthese bij toenemende CO ₂ concentratie	30
3.3.3	Invloed van temperatuur op fotosynthese	32
3.4	Energie gebruik en efficiëntie	33
3.4.1	Elektrische efficiëntie belichting	33
3.4.2	Lichtbenuttingsefficiëntie	34
3.4.3	Warmtegebruik	35
3.5	Ziektegevoeligheid	36
3.5.1	Biotoets Botrytis test met lintbloemen.	36
3.5.2	Botrytis test met jong blad en verwonde stengels	37

3.6	Aanvullende praktijkproef: LED kleuren als stuurlicht	37
3.7	Integratie data in groeimodel	39
3.7.1	Overeenkomst met metingen van behandeling SON-T 100 μmol	39
3.7.2	Overeenkomst met metingen van behandeling LED 100 μmol	40
3.7.3	Behandelingen met lager niveau assimilatielicht	41
4	Discussie	43
4.1	Samenvatting resultaten	43
4.1.1	LED versus SON-T als lichtbron	43
4.1.2	Invloed tussenbelichting	43
4.1.3	Verlagen lichtintensiteit naar 80 μmol	45
4.2	Resultaten in relatie tot de gestelde energiedoelen	46
4.3	Resultaten in relatie tot de geformuleerde hypothesen	47
4.3.1	Lichtintensiteit en bloemproductie	47
4.3.2	Reactie op stuurlicht	47
4.3.3	Tussenlicht en scheutontwikkeling	48
4.3.4	Na-belichting in de donkerperiode	49
4.3.5	Lichtintegratie	49
4.4	Resultaten beschouwd vanuit later opgedane kennis	50
5	Conclusies	53
	Literatuur	55
	Bijlage 1 Warmtevraag	57
	Bijlage 2 Destructieve plant waarnemingen	59
	Bijlage 3 Overeenkomst groeimodel met proefresultaten	61

Voorwoord

Onderzoek doen is teamwerk.

Dit verslag is zelfs het resultaat van de werkzaamheden van twee teams. Een uitvoerend team en een rapporterend team.

Het uitvoerend team heeft dit onderzoek bedacht, tot uitvoering gebracht en een groot deel van geproduceerde gegevens uitgewerkt. Dit team was onder leiding van Frank van der Helm. Frank besloot halverwege 2014 leraar te worden op een instelling voor Hoger Onderwijs. Een aanwinst voor de school en een verlies voor het onderzoek. Frank rondde al zijn taken voor of na vertrek af. Met één uitzondering: aan het schrijven van dit rapport kwam hij niet meer toe.

Zijn niet afgeronde taak is door ons, met twee winters achterstand en met veel plezier afgerond.

Intussen is het onderzoek om een energiezuinige teelt van gerbera mogelijk te maken nog twee winters verder, en daar zijn veel extra stappen in gemaakt. De waarde van de hier gepresenteerde resultaten is er niet minder geworden; de kennis die met dit onderzoek is gegenereerd leeft nog goed bij de telers en adviseurs die nu nog zitting hebben in de Begeleiding Commissie van het op dit moment lopend onderzoek.

We willen graag een aantal mensen bedanken voor hun bijdrage: onze ex-collega Frank, de telers van de Begeleidingscommissie, de adviseurs van de Flori Consult Groep, de coördinatoren van het programma Kas als Energiebron voor het geduld waarmee ze op deze afronding hebben gewacht, en alle collega's die een bijdrage hebben geleverd aan dit product: Frank Kempkes voor de energieberekeningen; Mary Warmenhoven voor de fotosynthese metingen; Rob Pret en Piet Koornneef voor de kastechniek; Ben Kaashoek voor de klimaatsensoren; Nico van Mourik en Peter Lagas voor de gewaswaarnemingen; Gerard van der Broek, Kees Scheffers en Fred van Leeuwen voor de gewasverzorging, en Jantineke Hofland-Zijlstra en Rob van der Broek voor de weerbaarheids toetsen.

We wensen u veel leesplezier.

Nieves García, Kees Weerheim.

Samenvatting

In de winter van 2013-2014 (september 2013 tot april 2014) is door Wageningen UR Glastuinbouw onderzoek gedaan naar mogelijkheden om energie te besparen in de teelt van gerbera, door gebruik te maken van de energiebesparingscomponenten LED belichting, LED tussenbelichting, een lagere belichtingsintensiteit van de installatie, en lichtintegratie. Beoogd werd een besparing op elektra van in totaal 45%, waarmee de verwachte besparing op het totaal energieverbruik (warmte plus elektra) 12.5% was. Het onderzoek is gefinancierd vanuit Kas als Energiebron; een samenwerking van LTO glaskracht en het ministerie van EZ. Voor de proef zijn twee kasafdelingen gebruikt van Wageningen UR Glastuinbouw: een met LED- en de andere met SON-T-belichting. Het gebruikte gerbera ras is Kimsey.

In de praktijk is er een tendens naar "verzwaring" van de belichtingsinstallaties van het eerste uur, die bij gerbera veelal een intensiteit van $55-70 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ hebben. Telers die hun lampen vervangen kiezen voor 1000 watt lampen. Het gemiddelde belichtingsniveau van telers verschuift daarmee van ongeveer 80 naar $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Het is alleen niet bekend hoeveel die extra hoeveelheid licht ook aan extra kwaliteit of productie oplevert. In het onderzoek is er daarom in beide kassen, met SON-T of LED belichting, de invloed van verhoging van de lichtintensiteit van 80 naar $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ bekeken.

Ook is er gekeken naar het effect van $60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ topbelichting, SON-T of LED, in combinatie met $20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ belichting met rood en blauwe LED lampen tussen het gewas. Dit, omdat uit onderzoek met andere gewassen bleek dat tussenbelichting de scheutenontwikkeling stimuleert op plekken die normaal, d.w.z. met alléén topbelichting, minder licht krijgen.

Uit het onderzoek bleek dat LED energetisch gezien een goed alternatief is voor SON-T bij de teelt van gerbera. De lampen zijn 25% efficiënter (PAR per watt elektrisch). Omdat de lampen minder warmte afgeven, was er 9% meer warmte nodig om de kas op dezelfde temperatuur te houden. Bij eenzelfde klimaatstrategie moet er onder LED-belichting meer gestookt worden. Omdat warmte wel efficiënter op te wekken is dan stroom en er op bedrijven met een WKK zelfs soms een 'warmteoverschot' is, kan dit nog altijd een voordeel opleveren. In termen van bloemkwaliteit was er in de winterperiode een klein voordeel van LED: de bloemen uit de LED afdeling waren iets langer en zwaarder. In het voorjaar was er geen verschil in kwaliteit. De productie (aantal bloemen) was in de LED kas 2.3% lager dan in de SON-T afdeling, waarschijnlijk door een iets langere uitgroeiduur; de lichtbenutting kwam op 3% onder die van SON-T.

Met het niet kiezen voor een zwaardere belichting is 20 kWh per $\text{m}^2/\text{jr.}$ energiebesparing mogelijk. Uit de proef bleek het niet verhogen van de lichtintensiteit van 80 naar $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ licht slechts een bescheiden daling in de productie te kosten (15 takken per m^2 , 3.9%), vermoedelijk vooral het gevolg van een langere uitgroeiduur (0.6 tot 1.2 dagen per bloem extra). De behaalde kwaliteit, (bloemlengte, gewicht en bloemdiameter evenals droge stofgehalte in blad en bloem) was even goed bij $80 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ als bij $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Hierdoor is er bij de $80 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ behandeling een 6 tot 7.4% hogere lichtbenutting behaald dan met $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

De combinatie van top- en tussenbelichting resulteerde onverwachts in aanzienlijk minder productie (ruim 9% minder bloemen) dan dezelfde lichtintensiteit en som als alléén topbelichting. Bovendien waren de geoogste bloemen korter, lichter en hadden een kleinere diameter en een lager droge stof gehalte. Energetisch draagt tussenbelichting alléén aan besparing bij als het in combinatie met SON-T als topbelichting wordt gebruikt, want de gebruikte LED tussenbelichting is iets minder efficiënt dan de gebruikte LED topbelichting.

Energie is ook te besparen met lichtintegratie, waarbij de lampen aan- en uitgeschakeld worden op basis van de reeds ontvangen lichtsom, de verwachte totale lichtsom en de behoefte van de plant op basis van de plantbelasting. Daarmee wordt het aantal uren belichting voor die dag bepaald. In de proef is echter met deze besparingscomponent geen energie bespaard, deels doordat de gewenste PAR som zo hoog was ingesteld, dat de lampen langer aan stonden dan gewenst was.

Een oriënterende proef is aanvullend aan dit onderzoek gedaan met LED lichtkleuren in de praktijk. De vier kleuren rood, blauw, verrood en rood/blauw met een intensiteit van $20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ zijn aanvullend op de SON-T belichting op een bedrijf gebruikt bij de rassen Suri en Kimsey. Er is een hoger bloemgewicht in de winter maar een lagere totaalproductie onder verrood geregistreerd. Alle behandelingen met extra licht gaven iets langere bloemen.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Gerbera is lange tijd met een intensiteit van $55\text{--}70\ \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ belicht. De installaties van het eerste uur zijn nu aan vervanging toe. De trend hierbij is dat kwekers tegen relatief lage kosten 600 watt lampen vervangen voor 1000 watt lampen. Hierdoor hebben die kwekers voor 5% meer energie input 20% meer licht. Vaak wordt de installatie dan nog iets verzaamd en komt de installatie op $100\ \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Ook nieuwe bedrijven installeren standaard $100\ \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ met 1000 W lampen. Om meer inzicht te krijgen in de rentabiliteit van het verzaamen van de belichting, hebben kwekers inzicht nodig in het economisch optimum voor belichten in de gerberateelt. Berekeningen in de praktijk laten zien dat onder hogere lichtintensiteit, gerbera meer toegevoegd groeilicht nodig heeft voor de afsplitsing en ontwikkeling van een enkele bloem. De gebruikte hoeveelheid van 2.9 mol toegevoegd groeilicht per tak mini gerbera onder $70\ \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ installaties neemt toe naar 4.4 mol toegevoegd groeilicht per tak boven $100\ \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Flori Consult, pers. comm.). Eenzelfde trend is in de praktijk te zien bij grootbloemige rassen. Meer licht zou hierdoor, ondanks de lagere kosten per $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, mogelijk niet altijd rendabel kunnen zijn. Aangemerkt moet worden dat het hier om aantal takken gaat. De kwaliteit (=bloemgewicht en bloemdiameter) is hierin niet meegenomen.

De energiekosten stijgen de laatste jaren sterk in de teelt van gerbera. Dit heeft mede te maken met het toenemende lichtniveau maar ook met dalende spark-spread bij gebruik van WKK. Een besparing op belichtingskosten is noodzakelijk om in de toekomst belichting bij gerbera rendabel te kunnen houden. Minder uren belichten met SON-T is slechts zeer beperkt mogelijk zoals bij HNT gerbera al is aangetoond.

Met LED groeilicht is het mogelijk om binnen het gewas te belichten en daarmee zou het mogelijk kunnen zijn om dichter bij de scheuten te belichten. Bij roos is aangetoond dat licht de scheutontwikkeling kan stimuleren. LED als topbelichting, zou de energie efficiëntie van de installatie tot 30% in de toekomst kunnen verhogen in vergelijking met SON-T. Echter, kwekers weten niet of zij de warmtestraling van SON-T lampen kunnen missen bij de klimaatregeling. Door minder te belichten, daalt de planttemperatuur en de VPD, waardoor er een verhoogde kans op Botrytis is. Echter, een te hoge planttemperatuur leidt tot een vegetatiever gewas als gevolg van snellere bladafplitsing. LED belichting kan dus leiden tot een meer generatieve gewasstand.

1.2 Doelstellingen

Realiseren van energiebesparing door LED belichting als top en tussenbelichting en het vaststellen van het optimum van groeilicht in Gerbera met het oog op de energie efficiency (mol PAR/bloem).

Energiedoelstellingen

Verhogen van energie efficiëntie door LED belichting tussen of boven het gewas. Dit omdat tussenbelichting is stuur en groeilicht tegelijk, met als doel stimuleren scheutgroei binnenste plantrij en daardoor betere lichtbenutting (meer productie per mol licht).

Beoogd wordt een besparing op elektra van - 45% totaal, door de toepassing van verschillende energiebesparende componenten. De losse componenten dragen als volgt bij aan de energie besparing op elektra:

- Lichtintegratie toepassen - 5%.
- LED belichting installatie - 20%.
- 80 i.p.v. $100\ \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ - 20%.

De verwachte besparing op het totaal energieverbruik is 12.5%.

Nevendoelstellingen

Toetsen van een aantal hypothesen (hieronder verder toegelicht) en dichten kennishiaten:

- Dit onderzoek geeft aan of meer bloemen in relatie tot het aantal bladeren beïnvloed wordt door een lage planttemperatuur in relatie tot de lichtsom.
- Het realiseren van een teelt onder LED belichting waarbij Botrytis effectief wordt beheerst.
- Een lagere ziektedruk van echte meeldauw door gebruik van (tussen/na) stuurlicht met rood LED licht.

Relevantie

Dit onderzoek is relevant voor alle gerbera telers, maar voornamelijk voor telers die aan vervangingsinvestering toe zijn, naar schatting de helft van het totale areaal van 210 ha. Dat betekent dat op relatief korte termijn de helft van de gerbera telers baat bij de uitkomsten van dit onderzoek kan hebben. De resultaten van dit onderzoek zullen daarom zeer snel in de praktijk doorwerken. Lichtintegratie en het verzwaren van de installatie speelt ook in andere gewassen, zoals alstroemeria en freesia. Deze twee gewassen worden tevens bij relatief lage temperatuur geteeld en kunnen kwaliteitsproblemen geven bij belichting met SON-T. Voor alstroemeria is de kennis die wordt opgedaan over de invloed van belichten met tussenlicht op scheutvorming en steelgewicht relevant.

1.3 Achtergrond en hypothesen

1.3.1 Lichtintensiteit en bloemproductie

Onderzoek naar belichting in gerbera en energiebesparing kent een lange historie. Dit onderzoek bouwt verder op alle kennis die in voorgaande onderzoeken is opgedaan. Veel onderzoek uit het verleden is onlangs samengevat in een literatuurstudie door Eveleens *et al.* (2011). Hierin is vermeld dat bij hoge lichtintensiteit het aantal bloemen dat per blad wordt gevormd hoger is, dan bij lage lichtintensiteit. Een hoge temperatuur geeft een snellere bladafplitsing. Bij hoge temperatuur ten opzichte van de lichtsom kan bloemabortie ontstaan. Bij een hoge lichtintensiteit en bij een lage temperatuur ontstaan meer scheuten. Daarnaast is in het onderzoek een kortere uitgroeiduur vastgesteld onder invloed van hogere lichtintensiteit. Onderzoek toont ook aan dat de lichtverzadiging mede afhankelijk is van het VPD. Bij een hoog VPD is deze lager dan bij een laag VPD. Metingen met de Grow Watch in gerbera bij o.a. HNT gerbera, evenals fotosynthese metingen voor het groeimodel en in de literatuur tonen aan dat de lineaire toename van de CO₂ opname tot maximaal 400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ doorgaat onder gunstige omstandigheden (Eveleens *et al.* 2011 en Visser *et al.* 2014). **Hypothese: Groeilicht met LED bevordert de bloemproductie in gerbera doordat een lichtintensiteit tot 400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PAR in combinatie met een lagere planttemperatuur leidt tot meer bloemen ten opzichte van blad, minder kans op abortie en meer scheuten.**

In proeven met assimilatiebelichting (Etko, 2003) nam de productie door het belichten met 60 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ met 17% toe ten opzichte van onbelicht. Dit was het geval zowel bij grootbloemige als bij kleinbloemige cultivars. Verhoging van 60 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ naar 90 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ leverde nog 5% extra productie op en verhoging van 90 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ naar 120 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ nog 7% extra productie. Dit is in tegenstelling met de bevindingen in de praktijk, maar dit onderzoek werd uitgevoerd in een niet verduisterde teelt. Vanaf week 42 zijn bij zowel klein- als grootbloemige cultivars op de onbelichte meetvelden minder bloemen geoogst ten opzichte van de belichte meetvelden. Vanaf week 6 nam het aantal geoogste bloemen op de onbelichte meetvelden weer toe, en vanaf ongeveer week 14 lag de productie op de onbelichte meetvelden weer bijna gelijk aan de belichte meetvelden. Naast extra bloemen, werden door belichting de bloemen ook zwaarder. Vooral de grootbloemige cultivars werden zwaarder. De bloemen waren langer en steviger.

Wessels en Verberkt beschrijven dat een hogere lichtintensiteit een hoger bloemgewicht oplevert (Wessels en Verberkt, 2005). De behandeling met de laagste hoeveelheid toegevoegd groeilicht geeft in periode 2 het laagste bloemgewicht. Het gewicht van het totaal aantal geproduceerde bloemen in deze periode is voor deze behandeling echter niet het laagste:

- De bloemgewichten lopen op naarmate het aantal belichtingsuren toeneemt.
- Het totaal geproduceerde gewicht aan bloemen is bij een belichtingsduur van 16 uur lager dan bij een belichtingsduur van 11.5 uur en ook lager dan bij een belichtingsduur van 20 uur.

Autio (2000) beschrijft dat Estelle bij 24 uur belichten 30% meer productie geeft dan bij 12 uur, maar dat Ximena 13% minder productie geeft. Beide cultivars reageren verschillend in drooggewicht en bloemproductie. (Eveleens, Helm *et al.* 2011).

Recent onderzoek naar daglengte invloed bij gerbera toont aan dat bij een gevoelig ras een daglengte van 14 uur duidelijk minder productie geeft dan bij 11.5 en 9 uur daglengte bij een gelijke lichtsom (de Visser *et al.* 2014). Bovenstaand onderzoek heeft geresulteerd in een groeimodel dat op dit moment in testfase in de praktijk geïmplementeerd wordt. **Hypothese: Naast een fotoperiodische reactie op stuurlicht wordt bij gerbera ook een morfologische reactie verwacht. Belichten met hogere intensiteit leidt alleen bij korte dag tot meeropbrengst in stuks en gewicht. Meer licht en langere daglengte leiden vooral tot bloemen die zwaarder en langer zijn. De invloed van daglengte is ras afhankelijk.**

1.3.2 Lichtintegratie

In het onderzoek naar Het Nieuwe Telen gerbera is besparing van energie op belichting door lichtintegratie toegepast in de teelt van gerbera. Lichtintegratie gaat ervan uit dat voor de productie van 1 bloem 5 mol PAR licht nodig is. Op basis van het aantal bloemen kan dus de hoeveelheid licht die nodig is voor voldoende assimilaten bepaald worden. Lichtintegratie gaat ervan uit dat er over een periode van meerdere dagen gekeken kan worden of deze lichtsom gehaald is. Vooral in het voorjaar lijkt besparing mogelijk als rekening gehouden wordt met de hoeveelheid licht die nodig is voor de bloemproductie en de verwachte hoeveelheid zon (Gelder *et al.* 2013). **De hypothese: Met lichtintegratie wordt voorkomen dat nog belicht wordt terwijl er voldoende assimilaten zijn om alle bloemen te laten uitgroeien.**

Zowel lichtintegratie als het groeimodel zullen in dit project als tool ingezet worden om de juiste balans in bloemproductie ten opzichte van groeilicht te vinden.

1.3.3 Scheutontwikkeling

Op gerbera bedrijven is vaak te zien dat de kant van het pad meer scheuten zijn ontwikkeld dan tussen de rij. Met tussenbelichting is in gerbera geen ervaring opgedaan. Wel is in onderzoek van roos naar voren gekomen dat licht op de okselknoppen het uitlopen van de knoppen iets stimuleert (Wubs, Heuvelink, & Marcelis, 2012). In een proef met tussenbelichting bij roos ($21 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) werd in de winter een 7-8% hogere productie gerealiseerd, terwijl op basis van het extra licht als assimilatielicht maar 3-5% te verwachten was (Trouwborst, Pot, & Schapendonk, 2010). In de zomer werd bij de 2^e snee 10% (87% rood/ 13% blauw) tot 15% (100% rood licht) meer productie gerealiseerd met deze tussenbelichting. In dit rapport wordt ook verwezen naar eerder onderzoek bij potroos met 30 minuten rood licht aan het eind van de dag waarbij 17% meer scheutuitloop werd gerealiseerd en een ander onderzoek waar het bloeipercentage positief beïnvloed werd door een rood licht behandeling aan het einde van dag (Maas & Bakx, 1995). Ook (Abidi *et al.* 2013) wordt geciteerd dat blauw licht net zo effectief is als rood licht. Verhogen van blauwlicht kan toegepast worden om de vorming van zijscheuten te stimuleren (Hemming *et al.* 2005). Dit leidt tot **Hypothese: Tussenlicht stimuleert het uitlopen van scheuten op plekken waar weinig licht komt.**

Zowel in lange dag (LD) als korte dag (KD) planten kan de bloei en productie beïnvloedt worden door de verhouding tussen rood en verrood licht. Een lage rood:verrood verhouding of belichten met einde dag verrood geeft minder vertakking (Spaargaren & Schröder, 2000). Daarnaast wordt bij KD planten de remming van de bloemaanleg opgeheven en verdwijnt ook de apicale dominantie met meer bloemen als gevolg.

Bekend is dat verrood licht (lage rood:verrood verhouding, of einde dag verrood) een positieve invloed kan hebben op de verandering van een vegetatieve naar een generatieve plant. De hiervoor verantwoordelijk fotoreceptor is het fytochroom, dat verandert van de inactieve vorm (Pr) naar de actieve vorm (Pfr) onder invloed van licht. Verrood licht en duisternis draaien dit proces om, waarmee onder andere hormonale processen beïnvloed worden die verantwoordelijk zijn voor de ontwikkeling van de plant. Door verandering aan te brengen in de rood:verrood verhouding kunnen processen zoals bloeminitiatie en -aanleg worden gestuurd.

Bij chrysant kan in een klimaatcel zonder daglicht in de korte dag fase een lange dag gemaakt worden met blauw licht zonder de bloei te remmen. Dit bleek in een situatie met daglicht niet meer mogelijk (Jeong, Hogewoning, & van Ieperen, 2014). Nabelichten (einde dag) met verrood licht had bij chrysant wel een positief effect op de productie en reactietijd (Maaswinkel, 2012).

In verschillende praktijkproeven met Freesia en stuurlicht (rood, verrood en blauw) bij een lage intensiteit ($4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) werden verschillende maten van meerproductie waargenomen (Helm, Dueck, Pronk, & Penning, 2013). Het lijkt erop dat Freesia toch geen korte dagplant en is de bloei volledig temperatuur gestuurd.

Hypothese: Na-belichting in de donkerperiode geeft een hogere productie en betere kwaliteit (diameter en steellengte). Hiermee wordt er dus minder afval geproduceerd en hogere efficiency gerealiseerd.

1.4 Samenwerking en projectstructuur

Een teeltonderzoek is bij Wageningen UR Glastuinbouw in twee kasafdelingen uitgevoerd. De medewerkers van Wageningen UR Glastuinbouw leiden het project, voeren de teelt uit, doen gewas-, klimaat- en energiewaarnemingen, en leveren inhoudelijke input voor de communicatieproducten zoals nieuwsbrieven, presentaties, toelichting bij bezoek en de rapportage.

Flori Consult Group heeft teeltbegeleiding uitgevoerd en cijfers voor vergelijking met de praktijk aangeleverd. De deelname van Flori Consult adviseurs waarborgde tevens de doorstroming van kennis naar de praktijk.

LTO groeiservice organiseerde de BCO en voert een deel van de communicatie uit voor haar achterban van Gerberatelers. Het project is begeleid door een afvaardiging van kwekers via de Landelijke Gewascommissie Gerbera en de achterban van LTO Groeiservice. Er is door LTO Groeiservice een BCO gevormd die eens per acht weken bij elkaar is gekomen en een kleine begeleidingsgroep van twee kwekers en een voorlichter van Flori Consult Group die een keer per 2 weken op het proefbedrijf bijeen is gekomen.

Binnen deze samenwerking is ook een aanvullende praktijkproef met LED licht van verschillende kleuren uitgevoerd, waarvan tevens verslag wordt gedaan in deze rapportage.

2 Materiaal en methoden

2.1 Behandelingen

De proef werd uitgevoerd in twee proefkassen met LED belichting en in een referentiekas met SON-T belichting (144 m^2) in potten op goten met de behandelingen zoals vermeld in Tabel 1. In iedere kas was een behandeling met 100 , 80 en $60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ met $20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ tussenbelichting aangelegd. Alle behandelingen zijn met het ras Kimsey uitgevoerd.

Er is van uitgegaan dat $70 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ SON-T belichting een elektrisch vermogen vraagt van ongeveer 40 W/m^2 en dat als dit met LED wordt ingevuld dit op $80 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ komt bij gelijkblijvend geïnstalleerd vermogen. Dit resulteert dan in 30% energiebesparing ten opzichte van de referentie van $100 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ SON-T (57 W/m^2). Het lichtspectrum van de LED modules was 95% rood en 5% blauw.



Figuur 1 Vaststellen van de positie van tussenlicht voor de proef in de praktijk.

De locatie van de tussenbelichting is op 1.25 m hoogte boven de pot tussen de plantrijen. Deze hoogte is in samenspraak tussen onderzoekers, telers van de BCO en Philips bepaald op een bedrijf in de praktijk (Figuur 1). De praktijk leert dat aan het eind van de teelt de meeste scheuten aan de pad kant van de pot zijn ontwikkeld. Door de tussenbelichting tussen de planten kan wellicht over de hele oppervlakte van de pot een aantal goede productieve scheuten ontwikkelen. Dit zou dus netto meer scheuten per pot kunnen opleveren.

Tabel 1

Behandelingen en verwachte besparing op elektraverbruik. Lichtintensiteiten in $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Behandeling	Toplicht	Toplicht realisatie	Tussenlicht	Besparing licht-integratie	Verwachte besparing ¹	Afdeling
SON-T 100	100	98	Geen	5%	5%	8.01
SON-T 80	80	80	Geen	5%	25%	8.01
SON-T 60+20	60	62	20	5%	30%	8.01
LED 100	100	104	Geen	5%	25%	8.02
LED 80	80	79	Geen	5%	45%	8.02
LED 60+20	60	55 ²	25	5%	43%	8.02

1) De verwachte elektriciteitsbesparing is per m^2 en is bepaald door belichtingsuren x geïnstalleerd vermogen. Het hoogste% is op basis van nieuwe LED technologie waarvan Philips aangeeft dat deze $2.3 \mu\text{mol}$ per watt levert.

2) Lage realisatie is gecompenseerd door $25 \text{ i.p.v. } 20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ tussenlicht toe te laten.

Lichtmeting bij gesloten schermen heeft aangetoond dat de gewenste lichtintensiteiten in de meeste behandelingen technisch goed gerealiseerd zijn. De hoeveelheid tussenlicht kon gezien de zeer onregelmatige verdeling niet goed gemeten worden. Daarvoor in de plaats is de intensiteit bepaald op basis van de output. De gebruikte 2 modules gaven per m² 28 µmol m⁻² s⁻¹ in plaats van de gewenste 20 µmol m⁻² s⁻¹. Er zijn daarom bij het tussenlicht LED modules 8 rode en 12 blauwe LEDs afgeplakt met zwarte tape. Hierdoor is ook het aandeel blauw in de modules, dat 12% was teruggebracht naar 5%, wat daarmee hetzelfde is gehouden als in de topbelichtingsmodules (Tabel 2). Bij de nameting bleek in de behandeling met tussenbelichting in de LED kas de intensiteit met 55 µmol m⁻² s⁻¹ te laag. Dit is gecorrigeerd door minder LEDs af te plakken zodat dit in feite een 55 + 25 µmol m⁻² s⁻¹ behandeling is geweest. In het rapport wordt de behandeling wel steeds met 60+20 aangeduid.

Tabel 2

Effect van afplakken tussenlichtmodules op spectrum. Resultierend spectrum is gelijk aan toplichtmodules.

Kleur	# LEDs	µmol/m ² /s	% per kleur
blauw	5	1.01	5.1%
rood	32	19.01	95%
totaal		20.02	



Figuur 2 LED kas (links) en SON-T kas (rechts), beide met op de voorgrond tussenlicht behandeling (60+20).

Variatie in topbelichting is bereikt door in de kas een gradiënt aan te leggen. Hiervoor is met Philips een plan opgesteld dat is bijgesteld op basis van lichtmetingen in de kas. In alle behandelingen is de assimilatiebelichting uit/aan geschakeld bij dezelfde instraling. In alle kassen is gewerkt met lichtintegratie om de hoeveelheid groeilicht te beperken. De gewenste PAR som is gebaseerd op het onderzoek "HNT Gerbera deel 3" (Gelder, 2013). De PAR sommen zijn aangepast op het feit dat met jong gewas is gestart en de productie langzaam op gang kwam. Bij de start is daarom een lagere gewenste PAR som aangehouden dan de waarden uit het onderzoek van de Gelder. De uitvoering vond plaats via de Hoogendoorn computer, waarbij is ingesteld dat met een gemiddelde PAR som over de afgelopen 2 dagen en de voorspelling voor de komende dag is gewerkt. De verwachte besparing ten opzichte van de praktijk zou 5% moeten zijn. Flori Consult Group heeft de praktijkvergelijking uitgevoerd op basis van gemiddelde cijfers uit registratie groepen. Lichtintegratie was op zichzelf geen onderzoeksfactor.

Buitenlichtsom, temperatuur en RV zijn in beide kassen zo goed als mogelijk gelijk gehouden. Er is “traditioneel” geteeld, wat wil zeggen dat er veel gebruik is gemaakt van de minimum buis. De groeibuis lag hierbij op de bok en is voornamelijk op de dag gebruikt terwijl het buis rail systeem vooral in de nacht is gebruikt. De lagere planttemperatuur bij gebruik van LED belichting is niet gecompenseerd met een hogere kasttemperatuur, omdat meer licht bij een lagere temperatuur volgens de theorie een plant moet geven die meer bloemen in verhouding tot blad afsplitst. De uitgroeiduur was niet veel langer onder de LED belichting waardoor er geen reden was om de kasttemperatuur te verhogen.

2.2 Meetnet en gewaswaarnemingen

2.2.1 Klimaatdata

Lichtsom, temperatuur, RV en planttemperatuur is met 2 meetopstellingen per kas vastgesteld. De hoeveelheid groeilicht is eenmalig gemeten bij gesloten schermen. Het kasklimaat werd aangestuurd op de meetbox in behandeling 100 in beide kassen.

2.2.2 Metingen

De bladfotosynthese bij toenemend lichtniveau is twee keer gedurende de proef bij alle behandelingen gemeten met de LiCor LI6400 fotosynthesemeter. Ook zijn er metingen gedaan bij toenemende CO₂ concentraties bij 100 en 500 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Daarnaast zijn er metingen gedaan bij toenemende temperaturen. Voor de LED behandelingen is dat op 2 tijdstippen gedaan (winter en voorjaar).

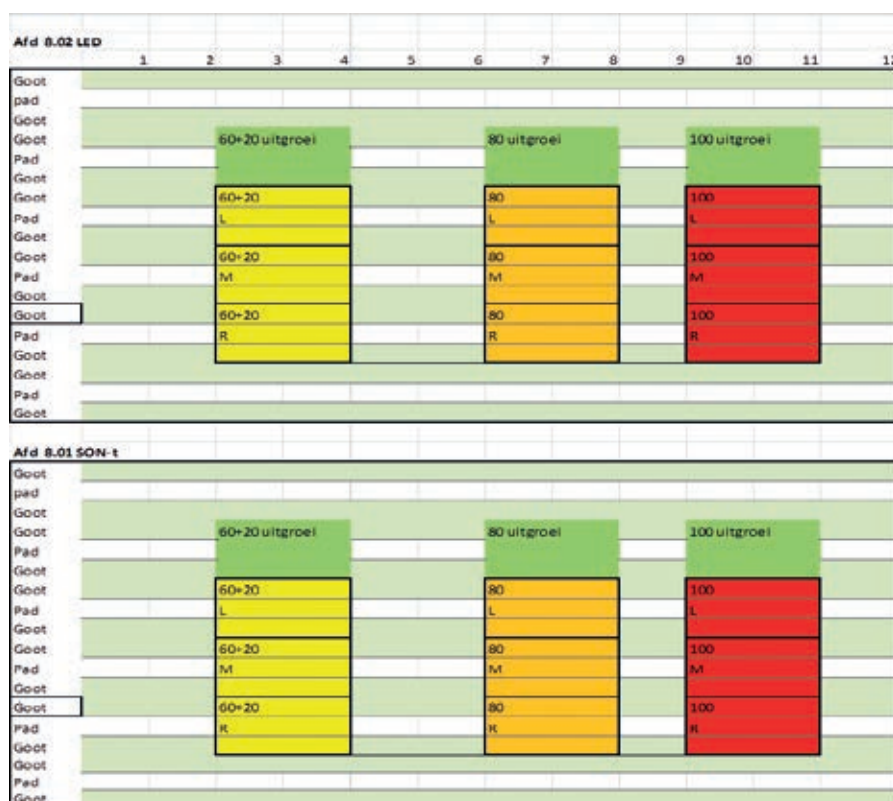
Bloemproductie, bloemgewicht, steellengte en bloemdiameter was bepaald van 48 planten per behandeling verdeeld over drie meetvelden van 16 planten, aangeduid met L, M, R conform het schema getoond in Figuur 3. Er is per behandeling 1 veldje gemaakt waarin waarnemingen voor de uitgroeiduur zijn gedaan, zodat deze de oogstwaarneming niet hebben beïnvloed. Waarnemingen zijn van 5 september tot 1 mei uitgevoerd.

Eens per maand zijn 10 bloemen van elke behandeling direct na de oogst gereserveerd voor een houdbaarheidsonderzoek (bepaling van het vaasleven). Deze bloemen worden naar een houdbaarheidsruimte gebracht waar de volgende condities heersen: 20°C, 60% RH, 12h licht per dag bij 14 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Reid en Kofranek, 1981). De bloemen worden in individuele vazen met leidingwater met 5 ppm chloor geplaatst voor het volgen van het consumenten of vaasleven.

De houdbaarheid of vaasleven wordt gedefinieerd als: het aantal dagen tussen plaatsing van de bloem in de uitbloeiruimte (dag 0) tot het moment dat ze worden afgeschreven. De bloemen worden afgeschreven als ze zodanig slap, verwelkt of uitgebloeid zijn, of andere afwijkingen vertonen (bv. krimp, bloemverkleuring, Botrytis-rot) dat de gemiddelde consument ze niet langer in de vaas zou laten staan.

Vanaf februari is het zwavel verdampen stil gezet om echte meeldauw de kans te geven om te ontwikkelen. Er is echter in de periode waarin nog werd belicht (tot 1 mei) geen echte meeldauw opgetreden.

Eind maart is een sloopwaarneming uitgevoerd van de planten naast de proefvelden en is van 8 planten per behandeling bladoppervlakte, aantal bladeren, aantal bloemen, aantal scheuten en verdeling over de pot vastgesteld.



Figuur 3 Plattegrond met indeling van de kassen met proefveldjes en behandelingen.

2.2.3 Botrytisgevoeligheid

De ziektedruk is gevolgd door het vastleggen van het aantal bespuitingen en tijdens de uitbloeiproeven is met speciale aandacht naar Botrytis ontwikkeling gekeken. Ook is er gekeken naar de invloed van de lichtbehandelingen op de plantweerbaarheid met nadruk op de botrytisontwikkeling (besmettingsproeven na de oogst). Voor het inzetten van een standaard Botrytis bladtoets is uit beide kassen bladmateriaal geplukt van de behandelingen met lichtintensiteit 60+20 en 100. De bladeren werden ontsmet en in petrischalen weggelegd onder standaard vochtige condities die gunstig zijn voor Botrytis groei. De besmetting van de bladeren vond plaats door eerst een kleine verwonding aan te brengen en werden daarna bespoten met een Botrytis sporen suspensie van 2.4×10^4 sp/ml. Per behandeling zijn 5 bladeren ingezet. Gedurende 3 dagen werden de bladeren geobserveerd op doorgroei van Botrytis. Groei van de lesies werd gescoord in mm.

Stengels zijn geplukt uit beide kassen uit de behandelingen met lichtintensiteit 60+20, en 100. De onderste 5 cm van de tak is ontsmet in chloor. De stengel werd verwond (rafelig) door met een mesje de onderkant eraf te snijden en er een sneetje van 1 cm lang in te maken. Vervolgens is de wond besmet met een Botrytis sporensuspensie van 2.4×10^4 sp/ml. De stengels werden in een afgesloten plastic bak geplaatst met een hoge RV (>90%). De bakken zijn in de uitbloeiruimte geplaatst onder standaard klimaatcondities (20°C) om de Botrytis sporen te laten kiemen.

Uit recent onderzoek met tomaat blijkt dat belichten met bepaalde LED kleuren (vooral hoge rood: verrood verhoudingen) de plantweerbaarheid tegen biotrofe schimmels zoals meeldauw positief kan beïnvloeden (Van Velden *et al.* 2014). Concreet wordt er vaak een verhoogde enzymactiviteit van afweereiwitten gemeten, die correleert met een verhoogde weerbaarheid van de planten tegen meeldauw als de planten belicht worden met rode LED lampen. Bij tomaat en zandraket kan er echter ook een negatieve wisselwerking met de afweer tegen necrotrofe schimmels zoals Botrytis optreden. Op welke wijze de afweerroutes in gerbera elkaar beïnvloeden is nog niet duidelijk. Eerder onderzoek met potgerbera gaf wel aan dat natuurlijke concentraties van jasmonzuur al vrij hoog liggen in gerbera in vergelijking met gevoelige tomatenplanten. Daarnaast kan versterking van de plantafweer met extra jasmonzuur de gevoeligheid voor pokken op de lintbloemen verlagen (Hofland-Zijlstra *et al.* 2014).

Voor het verkrijgen van meer inzicht over de rol van LED belichting op weerbaarheid is er vanuit het BO project Weerbaarheid en ziekten (waarin naar de effecten van rood licht op weerbaarheid is gekeken gefinancierd door Ministerie van Economische Zaken, BO-25.08.001) aanvullend onderzoek gedaan om de effecten van de huidige LED proef ook te beoordelen ten aanzien van de gevoeligheid voor Botrytis. Stimulatie van natuurlijke afweerreacties tegen meeldauw zou dan wellicht negatief op de weerbaarheid tegen Botrytis kunnen werken.

Om deze vraagstelling te testen zijn diverse plantendelen uit deze proef (SON-T en LED kas), bladeren, stengels en bloemen onderworpen aan Botrytis toetsen en is bladmateriaal verzameld om eventueel door te meten op gehalten aan afweereiwitten. Hiertoe zijn ook monsters van bladmateriaal verzameld van 4 planten per behandeling (per plant 2 bladpunten). De monsters zijn in vloeibare N₂ ingevroren en bij -80°C bewaard.

2.3 Monitoring en update groeimodel

Het groeimodel is ingezet voor een voorspelling van de impact op de productie door de behandelingen. Voor lichtintegratie was het groeimodel ten tijde van de proef nog onvoldoende beschikbaar. Gedurende de proef is de realisatie van de productie vergeleken met de voorspelling van het groeimodel. De data is gebruikt voor een inhoudelijke update van het groeimodel met nieuwe data uit het onderzoek.

2.4 Energie berekeningen

Het was noodzakelijk om in de afdeling met LED belichting voor hetzelfde temperatuurregime een ander stookregime aan te houden. Na afloop van de proef zijn met behulp van het kasklimaatmodel KASPRO (De Zwart, 1996) berekeningen uitgevoerd waarmee de verschillen zijn gekwantificeerd en hiermee is vervolgens het percentage energiebesparing gecorrigeerd.

2.5 Aanvullende praktijkproef: LED kleuren als stuurlicht

Aanvullend aan dit onderzoek en ter oriëntatie van de effecten van verschillende lichtkleuren (rood, verrood, blauw, rood en blauw) op de groei en ontwikkeling van gerbera, is bij kwekerij Van der Salm in Delfgauw een proef uitgevoerd met verschillende kleuren LEDs als stuurlicht.

3 Resultaten

3.1 Klimaat

3.1.1 Licht

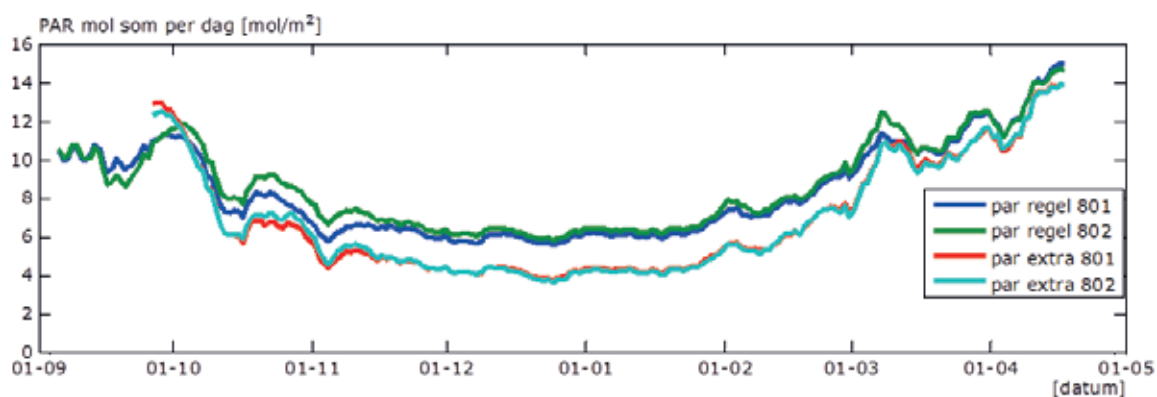
Er is een klein verschil in gerealiseerde PAR som tussen de twee proefkassen (Tabel 3). De verschillen treden vooral op in oktober, november en maart, waar de PAR som hoger is in de LED kas (Figuur 4). De PAR som over de periode van 5 september tot 18 april is 4% hoger in de LED kas. Dit verschil is veroorzaakt door schaduw uit de corridor en van obstakels buiten, daar met de lampen aan is het verschil tussen kassen ook aanwezig, maar veel kleiner, zoals het te zien is in Figuur 5, die het cyclisch gemiddelde toont als de lampen bijna de hele dag branden (periode 24 november tot 13 januari).

Er is tot (18 april) 1959 uur belicht in beide afdelingen. Dit komt overeen met het aantal uren belichting in de praktijk (1950) (Figuur 6). De toepassing van lichtintegratie leverde energiewinst alléén in voorjaar en najaar. Dit is veroorzaakt door het verschil in "gewenste PAR som per dag" (8 mol/dag) waarbij de maximale bijdrage van de lampen is 4 mol/dag (Figuur 7), wat betekende dat in de periode 8 oktober tot 2 februari de lampen gedurende de hele daglengte (11.5 uur) hebben gebrand.

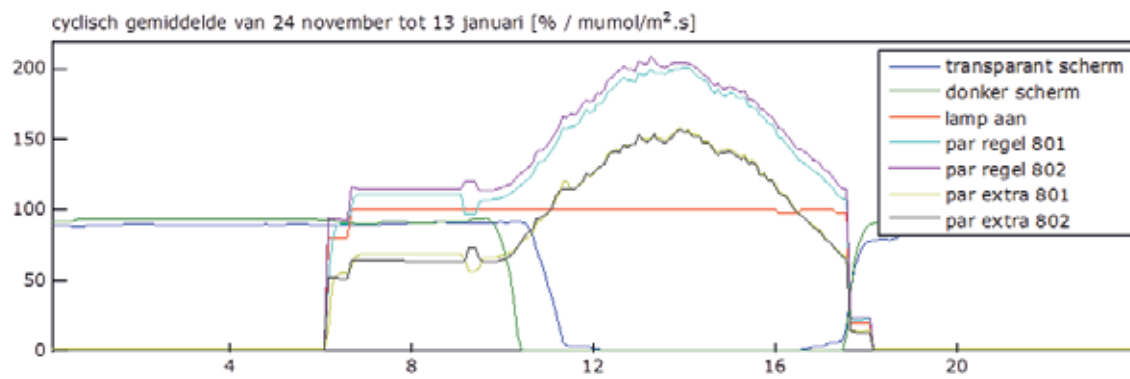
Tabel 3

PAR mol sommen voor drie gedefinieerde perioden.

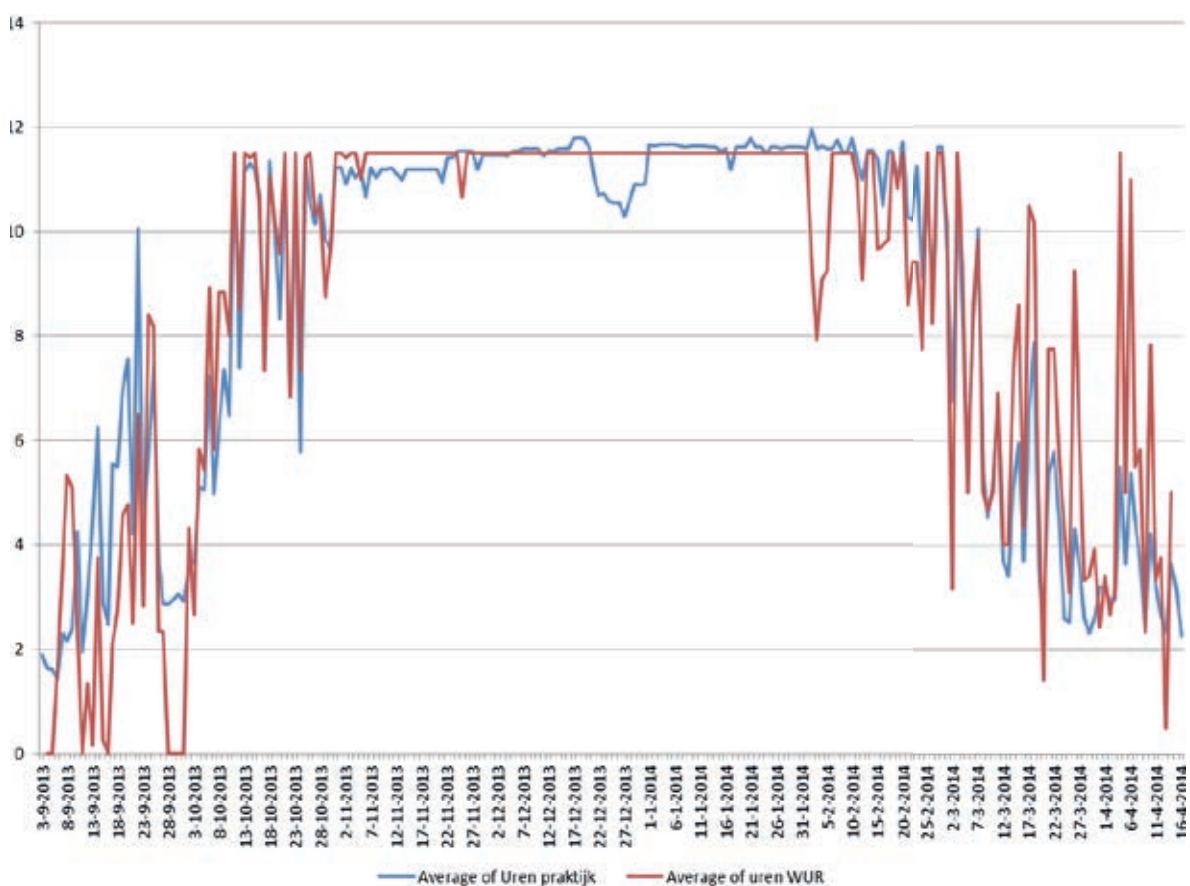
Periode	SON-T [mol/m ²]	LED [mol/m ²]
5 september 15 oktober	399	403
15-oktober-15 februari	799	852
15 februari- 18 april	683	697
Totaal 5 sept-18 april	1881	1952



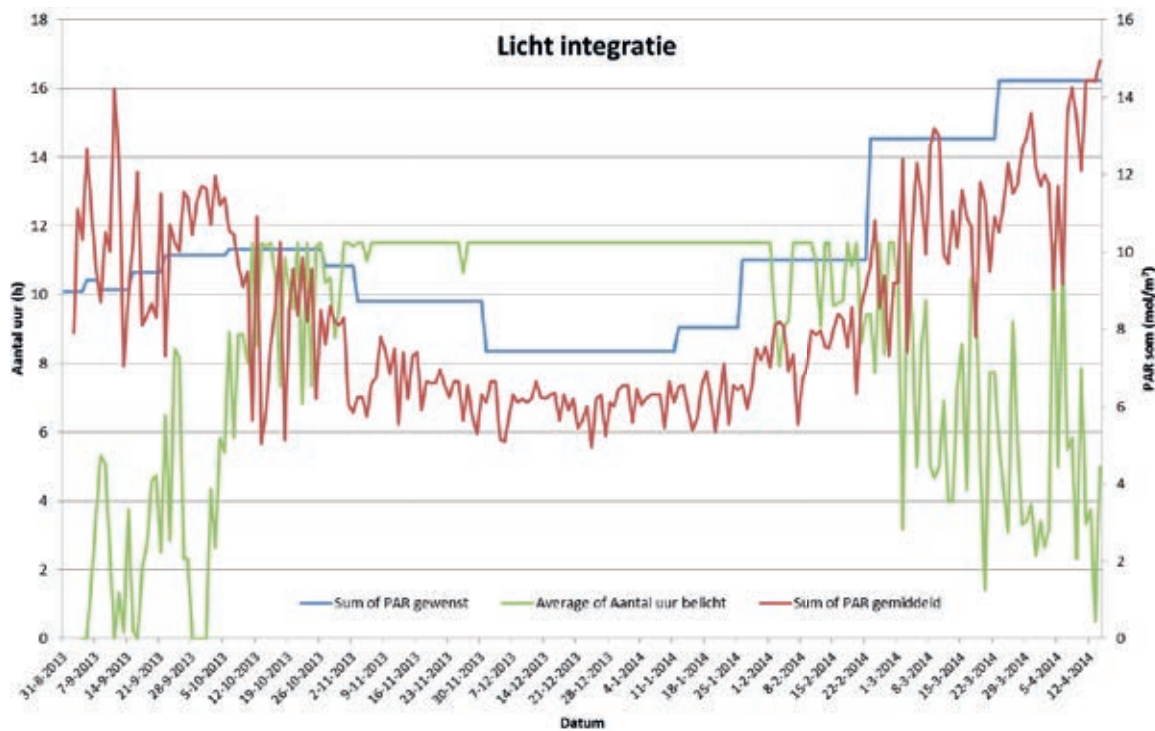
Figuur 4 Gerealiseerde PAR som per dag, gemeten door PAR sensoren (mol/m²) in beide kassen. De donker blauwe lijn correspondeert met de SON-T kas en de donker groene lijn met de LED kas.



Figuur 5 Cyclisch gemiddelde van het PAR verloop over etmaal ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) in de periode met een groter aandeel belichting dan daglicht.



Figuur 6 Verloop van belichtingsuren per dag in de proefkassen (rood) en in de praktijk (blauw).

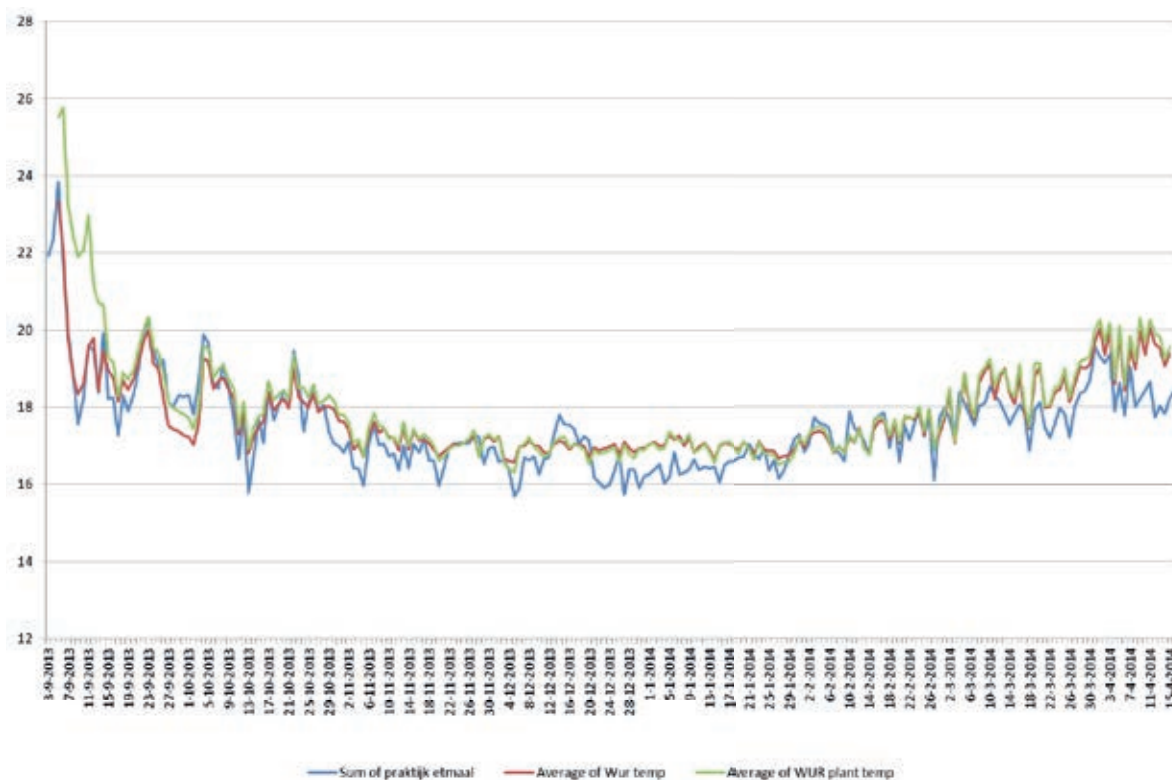


Figuur 7 Gewenste PAR som (blauw) in vergelijking met gerealiseerde PAR som (rood) en het aantal belichtingsuren (groen).

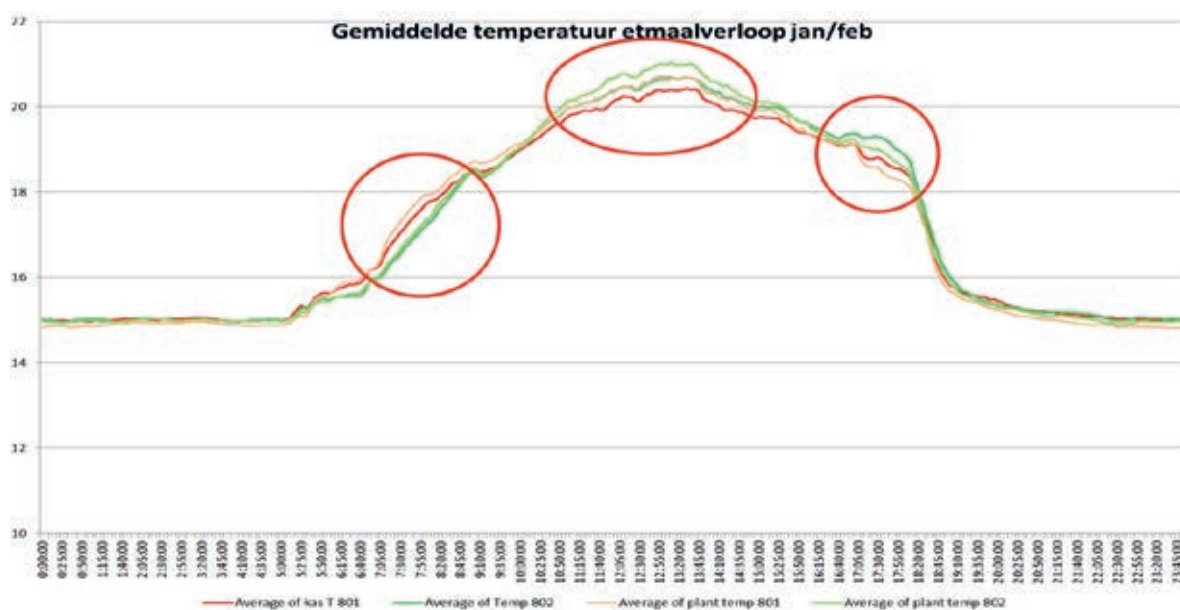
3.1.2 Temperatuur, RV en verdamping, CO₂

3.1.2.1 Temperatuur

De etmaaltemperatuur in de proefkassen was soms iets hoger dan in de praktijk. Dit was het geval in de maanden december, januari, maart en april (Figuur 8). Tussen beide proefkassen waren er slechts kleine verschillen in etmaaltemperatuur. Deze verschillen (cyclisch gemiddelde) zijn uitvergroot in Figuur 9. Te zien is hoe de verschillen in kas en planttemperatuur veroorzaakt zijn: in de vroege ochtend met de lampen aan, is het tot 0.7°C warmer in de SON-T kas (8.01) door het verschil in warmteafgifte van de lampen; later, als de zon doorkomt, is er een verschil in instraling door de zon (zie Tabel 3 en paragraaf 3.1.1) en dan is de LED kas (8.02) 0.4°C warmer. Gestuurd werd op gelijke etmaaltemperatuur in beide kassen; dit resulteerde in een verhoogde warmtevraag in de LED kas, zie ook Figuur 14.



Figuur 8 Etmaaltemperatuur in proefkassen (rood) in vergelijking met praktijk (blauw), en planttemperatuur in proefkassen (groen).

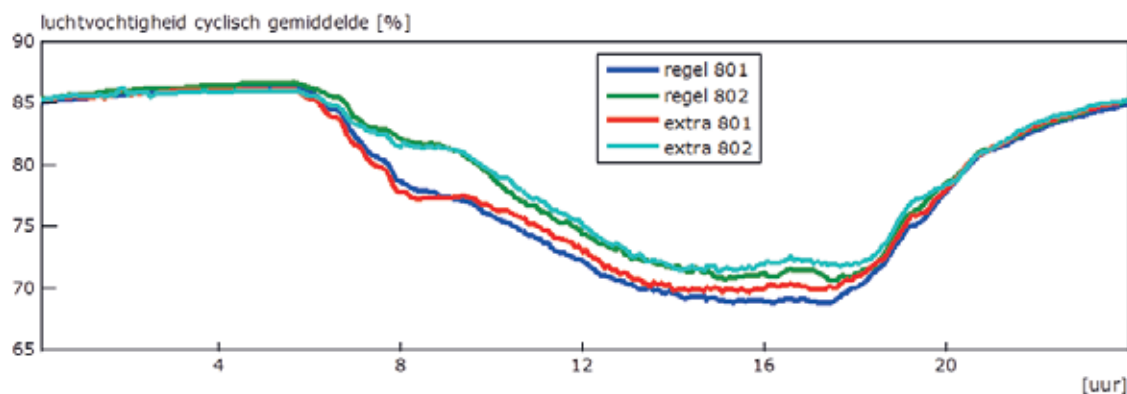


Figuur 9 Cyclisch gemiddelde van de etmaaltemperatuur van kaslucht en plant in januari en februari. Variatie binnen etmaal is aangegeven met rode cirkels. Kastemperatuur SON-T (rood) en LED (donkergroen); planttemperatuur SON-T (oranje) en LED (lichtgroen).

3.1.2.2 Luchtvochtigheid, verdamping en wateropname

De RV was iets hoger in de LED kas, en dan voornamelijk tussen 7:00 en 10:00 (Figuur 10). Dit is deels te verklaren doordat in de ochtend minder werd gelucht (Figuur 13) om dezelfde kastemperatuur te bereiken. De planten onder de LED lampen verdampten ook meer, dat is gezien als een grotere geleidbaarheid van de huidmondjes (Figuur 11). De toegenomen verdamping leidt tot iets meer wateropname, vooral in het voorjaar (Figuur 12). Totaal 229 en 243 liter, dat is een verschil van 6%.

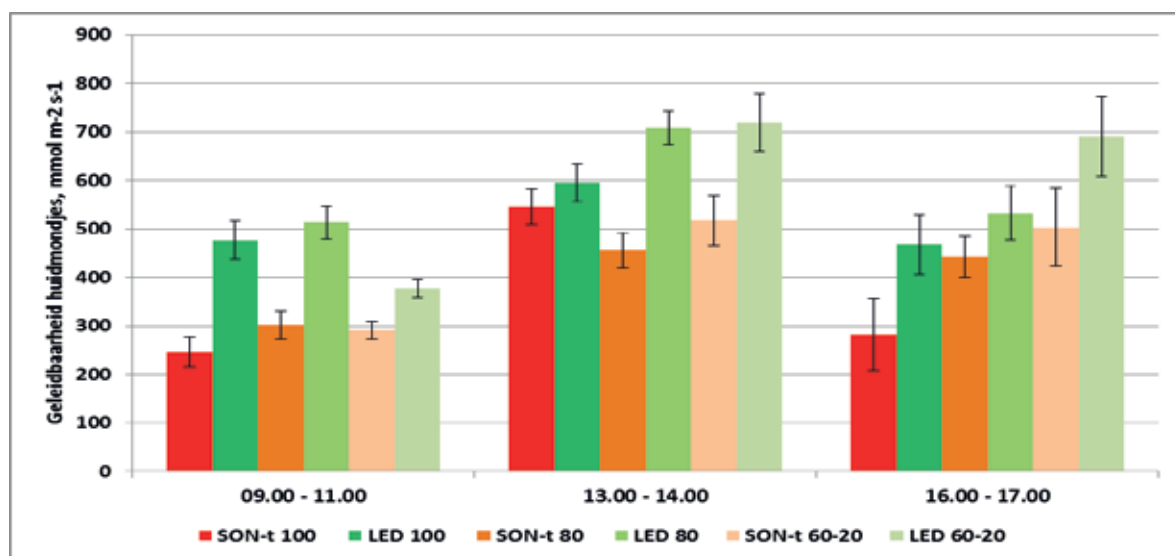
Het is verleidelijk een verklaring te zoeken in een directe effect van het lichtspectrum op de huidmondjes (blauw licht in een rood licht achtergrond induceert huidmondjes opening, Frechilla *et al.* 2000). Er is echter een andere mogelijke verklaring voor deze hogere geleidbaarheid van de huidmondjes en dus hogere verdamping door de planten in de LED proefkas: enerzijds de hogere buistemperatuur (zie Figuur 29), anderzijds een verschil in raamstand (Figuur 13).



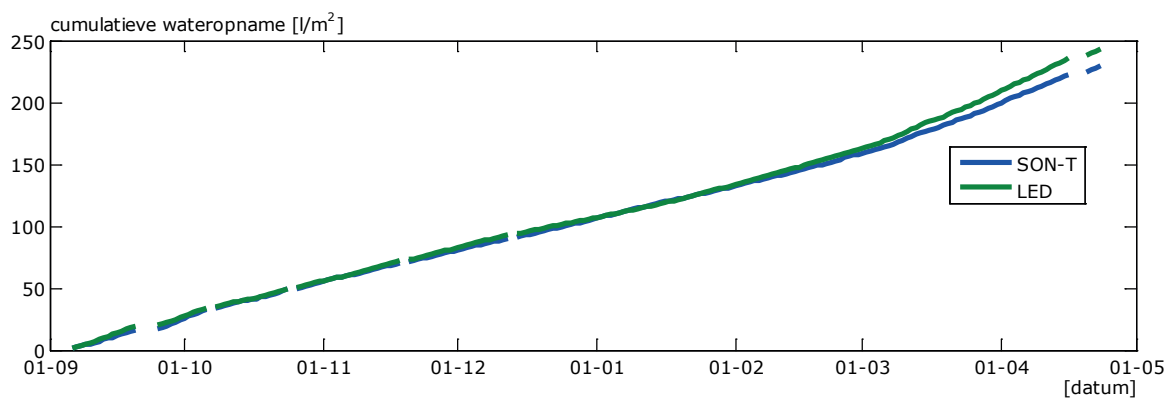
Figuur 10 Realisatie gemiddelde relatieve luchtvochtigheid (%RV).

De geleidbaarheid van de huidmondjes van gerberablاد is over het algemeen gezien groter tussen 13.00 - 14.00 uur dan 's morgens of later in de middag.

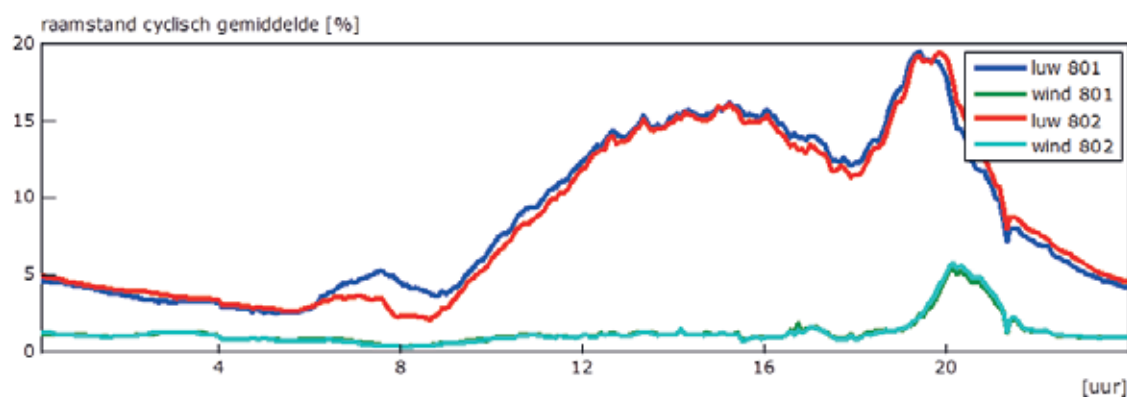
De geleidbaarheid in de kas met LED-bovenverlichting is groter dan die in de kas met SON-T bovenverlichting. LED 60+20 geeft, uitgezonderd 's morgens, over het algemeen een hogere geleidbaarheid dan LED 80 en LED 100.



Figuur 11 Geleidbaarheid van de huidmondjes (mmol m⁻² s⁻¹) tijdens 3 momenten gedurende de dag.



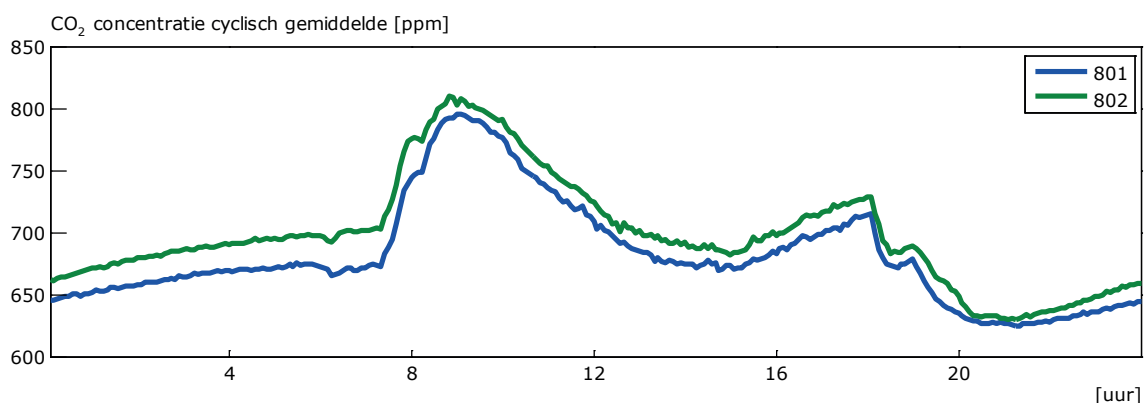
Figuur 12 Cumulatieve wateropname (l/m^2) van SON-T (blauw) en LED (groen) behandeling.



Figuur 13 Gemiddelde raamstand (%) per etmaal aan respectievelijk de wind- en luwe zijde van de SON-T (blauw/groen) en LED (rood/lichtblauw) behandeling.

3.1.2.3 CO₂ concentratie

Een ander bijeffect van het verschil in raamstanden zien we in de CO₂ concentratie die in afdeling 802 (LED) in de vroege ochtend bij minder ventilatie gemiddeld zo'n 40 ppm hoger is (Figuur 14). Een verschil van ca. 20 ppm is over de rest van de dag aanwezig, maar dat ligt binnen de meetmarge.



Figuur 14 Cyclisch gemiddelde van de CO₂ concentratie in beide afdelingen.

3.1.3 Planttemperatuur

De planttemperatuur speelt een belangrijke rol in ontwikkelingssnelheden van planten en bloemen. In de SON-T kas waren de planttemperaturen iets hoger in de ochtend, wanneer het licht aanging (ook zichtbaar in etmaalverloop, Figuur 9). Het verschil was een paar tienden van een graad, in overeenstemming met de kastemperatuurverschillen.

3.2 Productie en kwaliteit

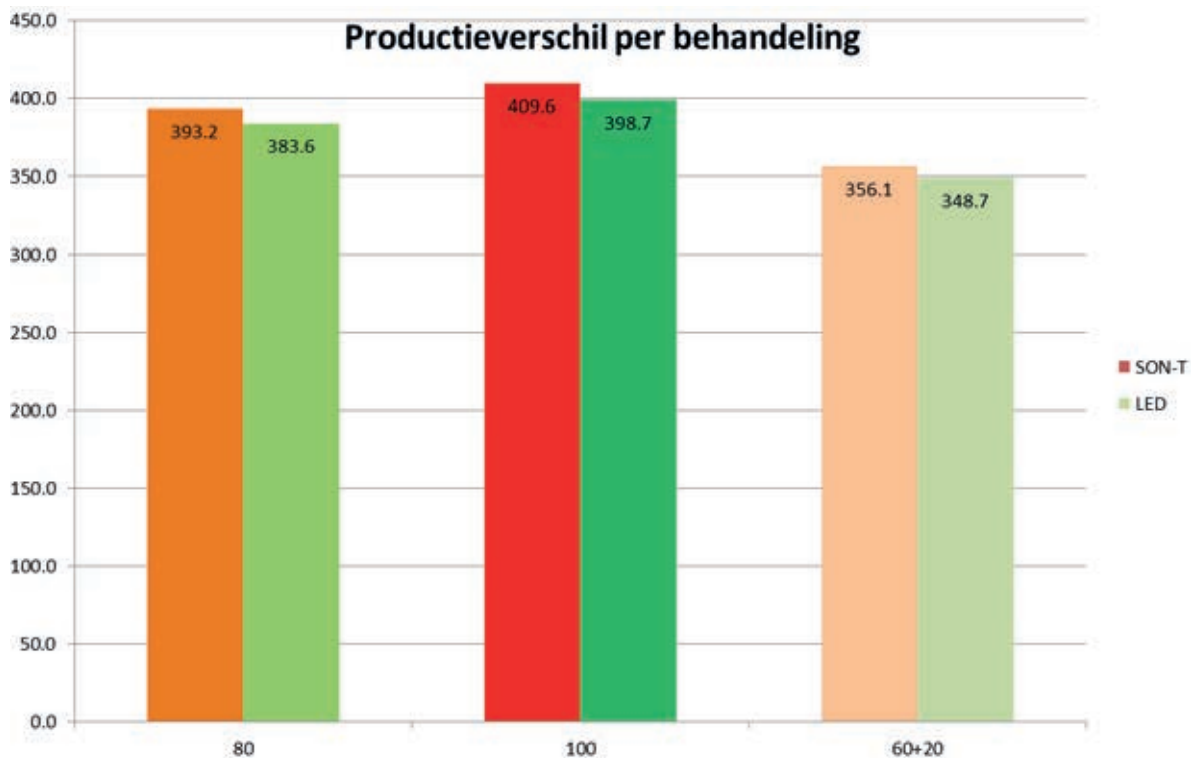
3.2.1 Productie

De gemiddelde productie was vanaf week 46 (eerder was de teelt nog aan het opstarten) vergelijkbaar met de praktijk (Figuur 15), met uitzondering van een dip in de productie van week 8-10 en van week 14-17. De productie laat in de praktijk een duidelijke invloed zien van het verloop van het natuurlijk licht: in de donkerste weken van het jaar worden de minste takken geoogst met een wekelijkse productie per m² schommelend onder de 10 taken. In het najaar schommelt de productie rond 15 taken, en in het voorjaar tussen de 15 en de 20 taken.



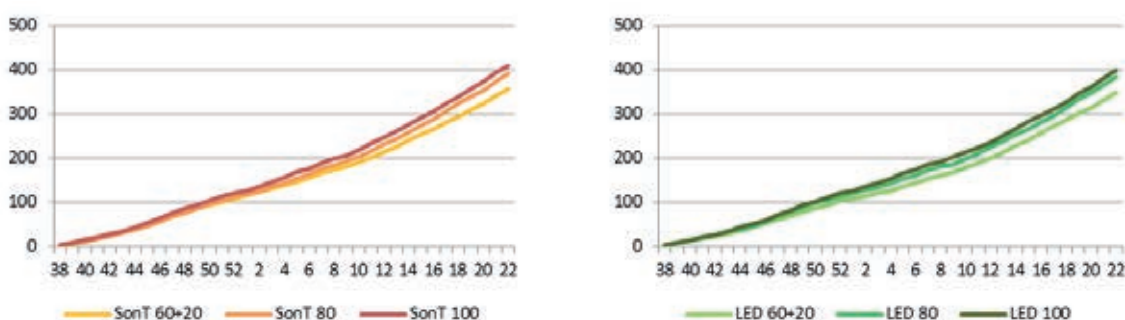
Figuur 15 Vergelijking verloop productie van aantal takken/m² in proef voor SON-T (rood), LED (groen) en praktijk (blauw).

De productie was het hoogst onder beide 100 µmol behandelingen (SON-T en LED) met een totale productie per m² van 410 en 399 takken respectievelijk (Figuur 16). Gemiddeld is er een klein productieverschil van 9 takken/m² tussen SON-T en LED (2.3%), welke pas na 1 februari is ontstaan (Figuur 17).



Figuur 16 Cumulatieve productie (takken/m²) over de hele proef voor de SON-T (oranje/rood) en LED (groen) behandelingen.

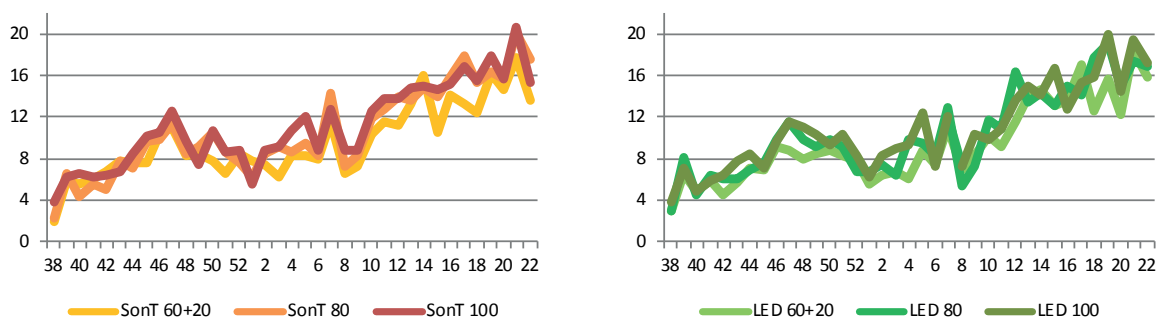
De trend in de cumulatieve productie in de tijd tussen de drie lichtniveaus is identiek voor beide kassen (Figuur 18). Behandeling 80, met 20% minder lamplicht dan de behandeling 100, was slechts 3.9% (15 takken/m²) minder productief. De 60+20 behandeling was 50 takken/m² (12.8%) minder productief in vergelijking met behandeling 100. De behandelingen met tussenbelichting 60+20 waren 9.3% minder productief dan de behandelingen 80 met alleen topbelichting. Hieruit blijkt geen voordeel van de tussenbelichting op het aantal bloemen.



Figuur 17 Cumulatieve productie (takken/m²) van 100, 80 en 60+20 behandeling voor SON-T (links) en LED (rechts) kas.

Kijken we naar het wekelijkse verloop van de productie (Figuur 18), dan zien we dat er maar een heel klein verschil is in beide kassen tussen de behandeling met 80 en de behandeling met 100 μmol , terwijl de 60+20 behandelingen vrij vaak minder produceren.

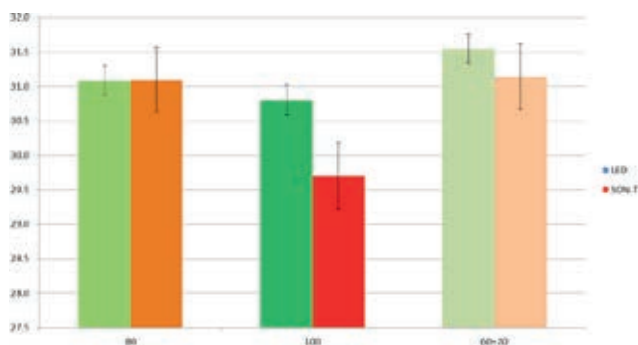
Bloemen per m²



Figuur 18 Wekelijks productieverloop in de SON-T (links) en LED (rechts) behandelingen in takken/m².

3.2.2 Uitgroeiduur

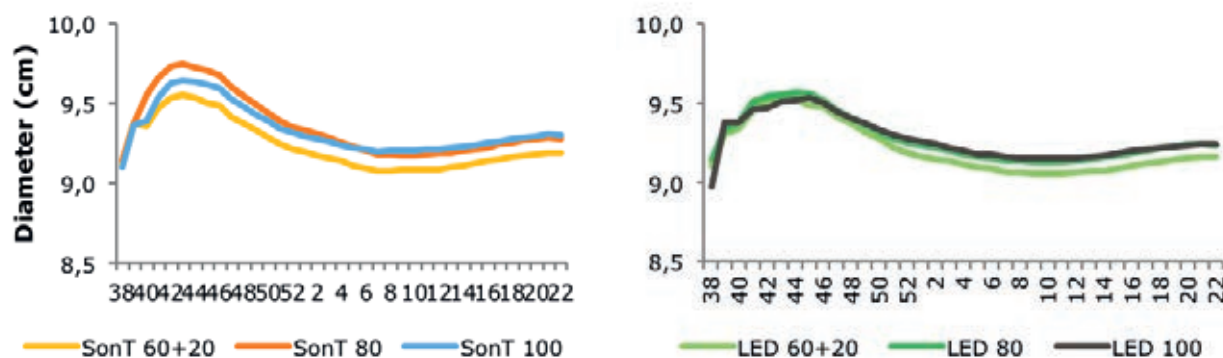
Verschillen in productie kunnen mogelijk uit een verschil in uitgroeiduur worden verklaard. De gemiddelde uitgroeiduur, uitgedrukt als "tijd in dagen vanaf dat de bloem 2 cm lengte heeft bereikt tot de bloem oogstrijp is" was voor alle behandelingen 30.8 dagen. De verschillen tussen behandelingen waren klein, maximaal 2 dagen (Figuur 19). Bij 100 μ mol SON-T was de uitgroeiduur het kortst met 29.7 dagen. Dit is mogelijk veroorzaakt door een effect op de planttemperatuur, want bij 100 μ mol LED was de uitgroeiduur een dag langer. Bij 80 μ mol was de uitgroeiduur langer; verschillen tussen de 80 μ mol behandelingen zijn niet betrouwbaar.



Figuur 19 Uitgroeiduur bloemen in alle behandelingen.

3.2.3 Uitwendige kwaliteit (bloemdiameter, lengte, gewicht)

De bloemdiameter was gemiddeld 9.2 cm, en er zijn geen significante verschillen tussen de behandelingen gemeten. Er zijn wel trends te zien in het verloop van de bloemdiameter (Figuur 20).

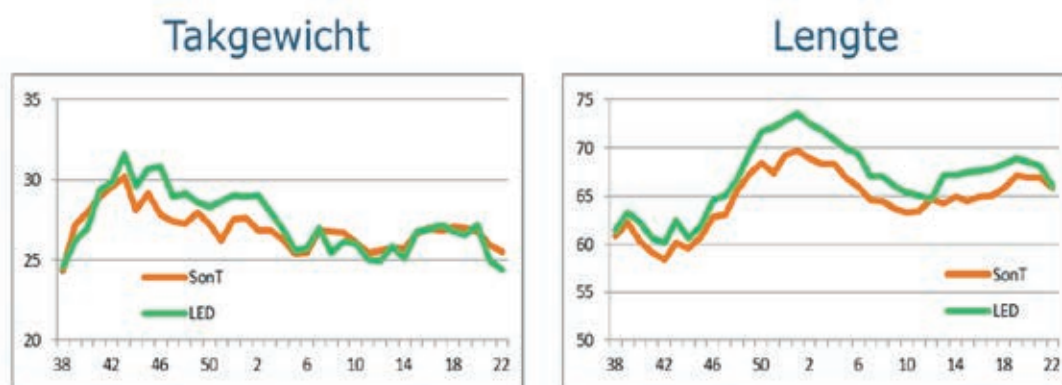


Figuur 20 Verloop in de tijd van de gemiddelde bloemdiameter in alle behandelingen. De horizontale as geeft het weeknummer aan.

De verschillen tussen kassen zijn minimaal (enkele millimeters) maar wel heel consequent. De bloemdiameter neemt af onder afnemend lichtniveau: in week 42 is de gemiddelde bloemdiameter in de 100 μmol SON-T kas 9.7 mm; in week 6 en onder het laagste belichtingsniveau (60+20 μmol), is de diameter 9.1 cm. Verder is gedurende de hele oogstperiode de diameter van de bloemen van de 60+20 behandeling consequent een paar mm kleiner dan bij de behandelingen met 80 en 100 μmol . Er is hierin geen verschil tussen LED of SON-T.

Tussenbelichting lijkt hier eerder een nadeel voor de bloemdiameter te zijn dan een voordeel ten opzichte van topbelichting.

In de donkerste periode waren bloemen langer en zwaarder onder de LED behandelingen (Figuur 21).



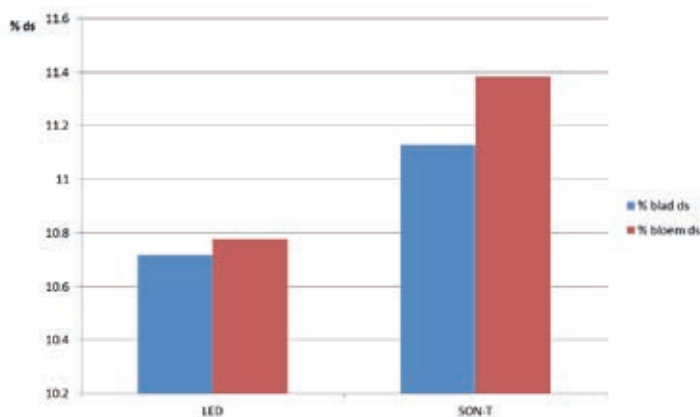
Figuur 21 Gemiddeld takgewicht (g) en lengte (cm) voor SON-T (oranje) en LED (groen) behandelingen.

3.2.4 Destructieve waarnemingen

Aan het einde van de proef zijn aan 8 planten per behandeling destructieve waarnemingen gedaan. De gedetailleerde resultaten van bladoppervlakte, aantal scheuten, aantal bloemen, bladgewicht, droge stof, etc. zijn getoond in Bijlage 2.

Opvallend uit deze resultaten is dat het percentage droge stof in bloemen en blad in de SON-T kas iets hoger (ca. 5%) is dan in de LED kas (Figuur 22).

Verder valt het op dat de planten uit de behandeling LED 80 meer scheuten en meer bladeren hadden, en daardoor meer bladgewicht en bladoppervlak.



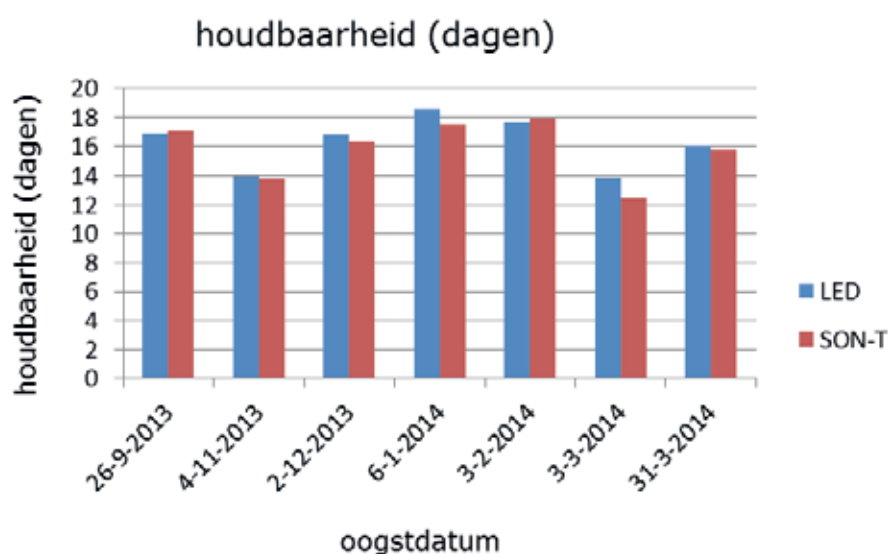
Figuur 22 Percentage droge stof in bloem en blad in de LED en SON-T kas.

3.2.5 Houdbaarheid

De houdbaarheid of het vaasleven van 15 bloemen per behandeling is 7 keer bepaald.

De gemiddelde houdbaarheid van de bloemen over alle data en behandelingen was 16 dagen. Met een minimum van 11 dagen en een maximum van 20 dagen was de spreiding redelijk groot te noemen. De verschillen waren meer afhankelijk van de oogstdatum dan van de behandeling. De verschillen tussen LED en SON-T (Figuur 23) zijn verwaarloosbaar.

De belangrijkste reden voor het beëindigen van het vaasleven is het slap worden van de bloemen voordat ze uitgebloeid zijn. Dit is het gevolg van bacteriegroei in de steel, waardoor de steel slijmig wordt en geen water meer kan opnemen. Dat uit zich ofwel met een "slappe" bloem, of met het knikken van de steel (Figuur 24).



Figuur 23 Gemiddelde houdbaarheid (dagen) van de bloemen uit beide afdelingen per oogstdatum.



Figuur 24 Een belangrijke reden voor het beëindigen van het vaasleven is het slap worden van de bloemen (links) of het knikken van de steel.

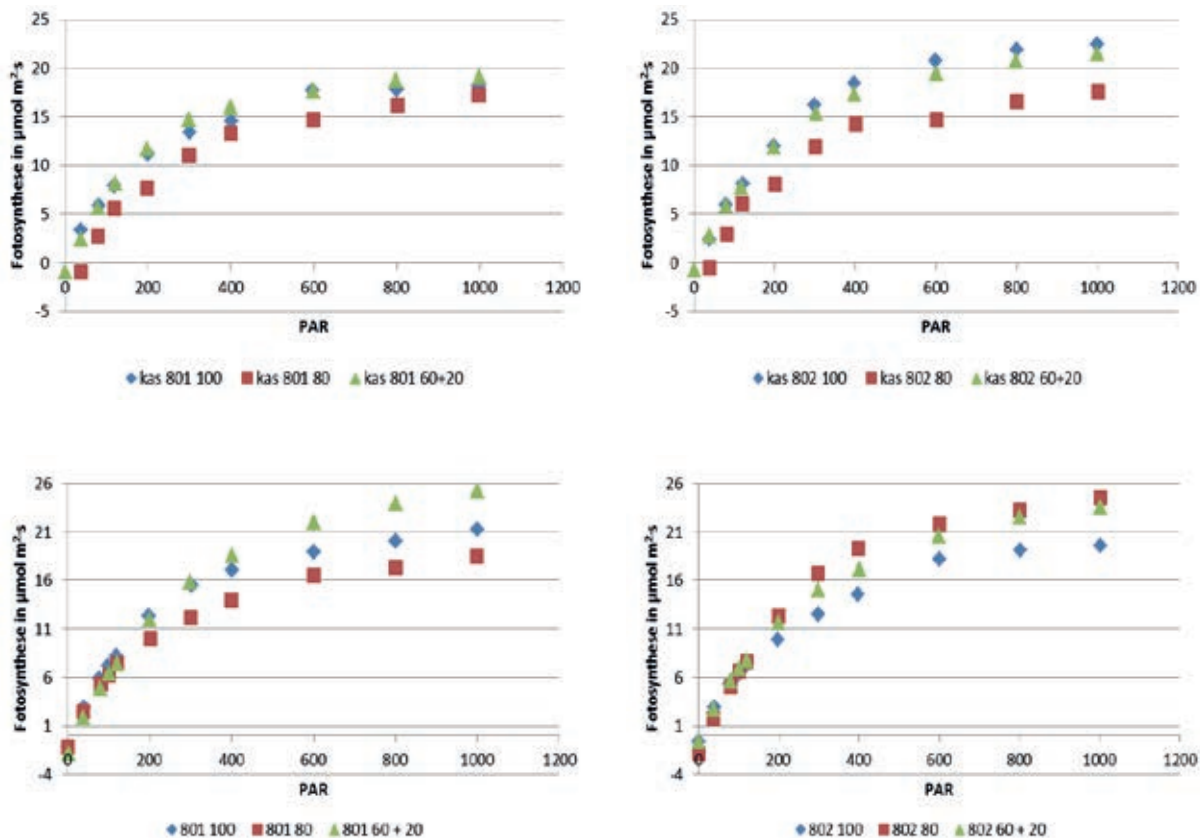
3.3 Fotosynthese

3.3.1 Fotosynthese bij toenemende lichtintensiteit

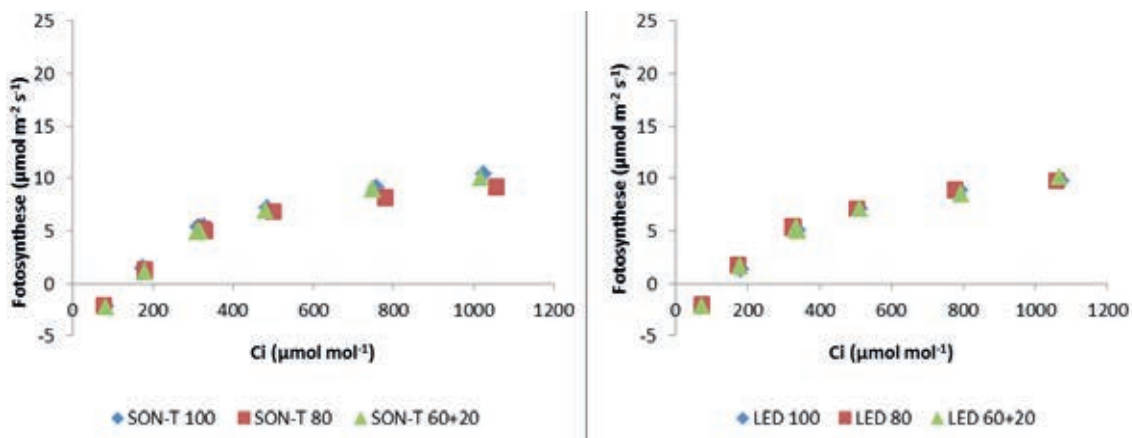
Bij beide behandelingen is een normale respons van de fotosynthese bij toenemende lichtintensiteit zichtbaar (Figuur 25). Zoals verwacht, is de toename in fotosynthese bij lagere lichtintensiteiten het grootst. Het lineaire gedeelte van de licht response curves loopt bij beide behandelingen tot ca. $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en wordt het licht het meest efficiënt benut, maar daarboven is de toename in fotosynthese bij toenemende lichtintensiteit duidelijk lager. Bij de LED behandelingen lijkt bij hogere lichtniveaus meer fotosynthese capaciteit op bladniveau dan bij de SON-T behandelingen. De LED 80 behandeling ligt op hetzelfde niveau als de SON-T behandelingen, terwijl de LED 100 en 60+20 hoger liggen; dat is bijzonder en is niet terug gezien in de productie van de LED 60+20 behandeling.

3.3.2 Fotosynthese bij toenemende CO_2 concentratie

De fotosynthese snelheid is naast lichtintensiteit sterk afhankelijk van de CO_2 concentratie in de lucht, en de opname ervan door de plant. Om te bepalen of de planten onder bepaalde behandelingen efficiënter met CO_2 omgaan, zijn er CO_2 response curves gemaakt onder twee lichtintensiteiten, namelijk 100 en $500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Daarbij wordt de interne CO_2 concentratie (C_i) gevarieerd. Bij de metingen verricht bij $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ licht zijn geen verschillen gevonden tussen de behandelingen (Figuur 26). Ook is zichtbaar dat de benutting van CO_2 bij lage lichtintensiteit het efficiëntst is tot een concentratie van $500 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ (ppm) en daarna afvlakt.

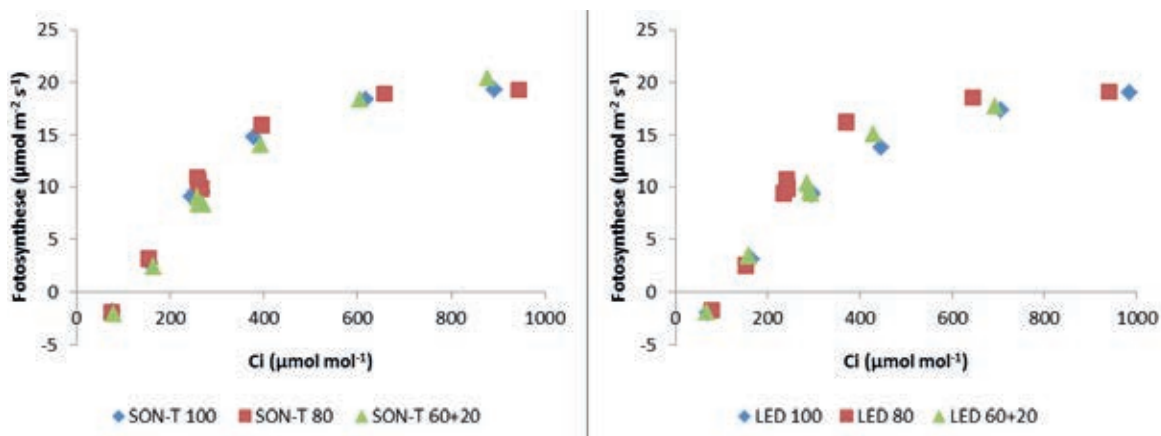


Figuur 25 Links de licht response curven van de SON-T behandelingen, rechts van de LED behandelingen. De bovenste grafieken zijn van metingen gedaan in januari, de onderste van april.



Figuur 26 Links de CO₂ response curven van de SON-T behandelingen, rechts van de LED behandelingen. Lichtintensiteit is 100 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Ci is de interne CO₂ concentratie in de plant, en wijkt af van de CO₂ concentratie in de lucht. De eenheid $\mu\text{mol mol}^{-1}$ staat gelijk aan ppm.

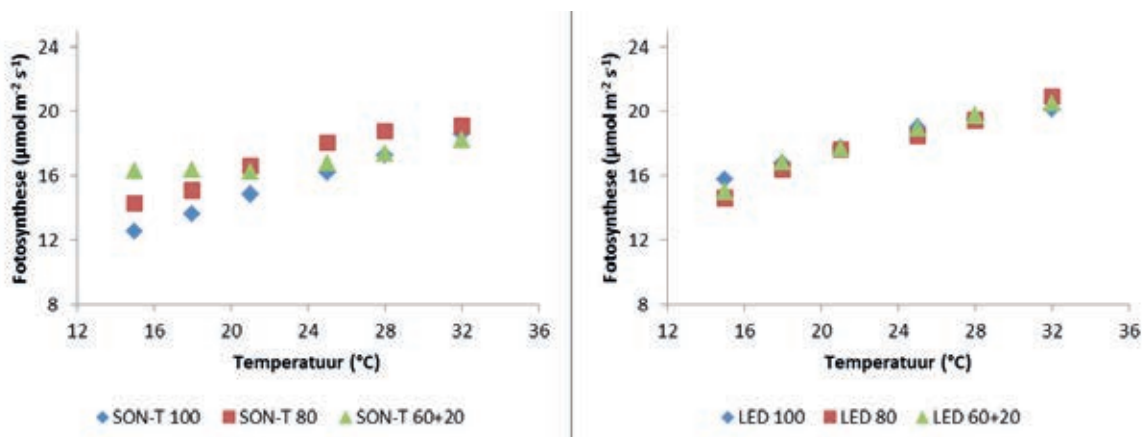
De resultaten van de CO₂ response curven gemaakt bij 500 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ PAR licht geven duidelijk aan dat bij een hogere lichtintensiteit CO₂ efficiënter wordt opgenomen (Figuur 27). Er is geen verschil gevonden tussen SON-T en LED behandelingen, al lijkt de LED 80 behandeling efficiënter CO₂ op te nemen van 200-600 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$.



Figuur 27 Links de CO_2 response curves van de SON-T behandelingen, rechts van de LED behandelingen. Lichtintensiteit is $500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. C_i is de interne CO_2 concentratie in de plant, en wijkt af van de CO_2 concentratie in de lucht. De eenheid $\mu\text{mol mol}^{-1}$ staat gelijk aan ppm.

3.3.3 Invloed van temperatuur op fotosynthese

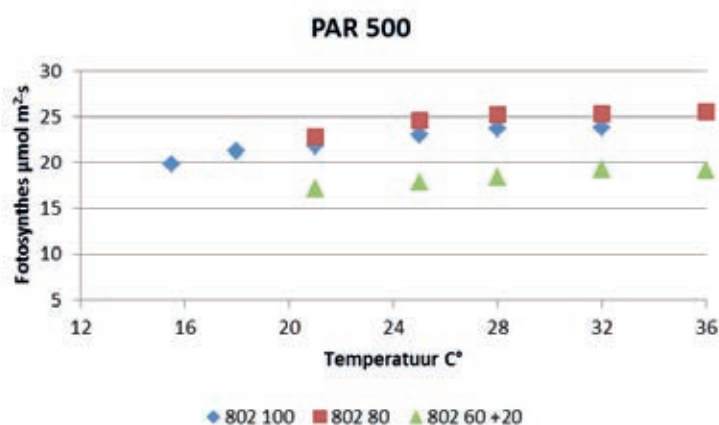
De invloed van temperatuur op fotosynthese snelheid speelt een grotere rol bij hoge lichtintensiteiten in vergelijking met lage lichtintensiteiten. Bij een intensiteit van $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ is er geen effect van temperatuur op de fotosynthese. Bij $500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ is zichtbaar dat de fotosynthese toeneemt met een hogere temperatuur (Figuur 28). Bij de SON-T behandelingen volgen de behandelingen 80 en 100 dezelfde trend, met een toename in fotosynthese van 0.3 en $0.36 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ per $^\circ\text{C}$ temperatuurstijging. De 60+20 behandeling is minder temperatuurafhankelijk en heeft een hogere fotosynthese snelheid bij lagere temperaturen. De LED behandelingen volgen allemaal dezelfde trend, waarbij de toename in fotosynthese gemiddeld $0.31 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ per $^\circ\text{C}$ temperatuurstijging bedraagt. De gemiddelde fotosynthese snelheid bij elke gemeten temperatuur is 10% hoger voor de LED behandelingen.



Figuur 28 De invloed van temperatuur op fotosynthese bij een lichtintensiteit van $500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Deze serie metingen is gedaan in februari.

De metingen bij variërende temperatuur zijn gedaan in februari, en herhaald voor de LED behandelingen in april (Figuur 29). Daaruit blijkt dat de temperatuurafhankelijkheid van fotosynthese veranderd want de punten liggen nu veel meer op één lijn. Wel wijkt de behandeling met tussenbelichting af met een lagere fotosynthese dan de behandelingen met topbelichting.

Ook is op te merken dat in april de fotosynthese waarden bij gelijke temperatuur en lichtintensiteit hoger zijn dan in februari, behalve bij de behandeling met tussenbelichting.



Figuur 29 Dezelfde metingen onder LED licht als in Figuur 28, maar nu gemeten in april in plaats van februari.

3.4 Energie gebruik en efficiëntie

3.4.1 Elektrische efficiëntie belichting

In beide afdelingen zijn 3 verschillende belichtingsinstallaties gemonteerd. In tabel 3 zijn per installatie de belichtingsintensiteiten en de elektrische efficiëntie van de lampen aangegeven om daarmee het elektriciteitsgebruik van de behandelingen te kunnen bepalen. De top LED lampen zijn met $2.32 \mu\text{mol } W_{\text{el}}^{-1}$ het meest efficiënt. In vergelijking met SON-T verlichting waarvan de elektrische efficiëntie $1.85 \mu\text{mol } W_{\text{el}}^{-1}$ bedraagt, is de top LED verlichting 25% efficiënter. In de 60+20 behandelingen is er bij LED en SON-T eenzelfde tussenbelichting gebruikt met een efficiëntie van $2 \mu\text{mol } W_{\text{el}}^{-1}$.

Tabel 4

De verschillende belichtingsinstallaties met intensiteit en elektrische efficiëntie.

Behandeling	LED afdeling	SON-T afdeling
100	top led ($2.32 \mu\text{mol}/W_{\text{el}}$)	SON-T ($1.85 \mu\text{mol}/W_{\text{el}}$)
	intensiteit $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	intensiteit $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
80	top led ($2.32 \mu\text{mol}/W_{\text{el}}$)	SON-T ($1.85 \mu\text{mol}/W_{\text{el}}$)
	intensiteit $80 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	intensiteit $80 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
60+20	top led ($2.32 \mu\text{mol}/W_{\text{el}}$)	SON-T ($1.85 \mu\text{mol}/W_{\text{el}}$)
	intensiteit $60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	intensiteit $60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
	tussenlicht ($2 \mu\text{mol}/W_{\text{el}}$)	tussenlicht ($2 \mu\text{mol}/W_{\text{el}}$)
	intensiteit $20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	intensiteit $20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

Aangezien alle belichtingssystemen gelijktijdig aan zijn geweest is er geen onderscheid in de totale belichtingsduur (Tabel 4). Het totale elektriciteitsverbruik is het hoogst in de SON-T 100 behandeling, met 105.9 kWh m^{-2} . Voor de 100 en 80 behandelingen geldt dat de LED behandelingen 20% minder energie verbruikten in vergelijking met SON-T. Bij de behandelingen met tussenbelichting is de besparing 15% omdat voor de tussenbelichting dezelfde LEDs gebruikt worden in de SON-T als in de LED behandelingen.

Tabel 5

Totaal elektriciteitsverbruik in kWh m⁻² van de toegepaste belichtingssystemen, inclusief besparing LED ten opzichte van SON-T.

Behandeling	elektriciteitsgebruik [kWh m ⁻²]		Besparing LED t.o.v. SON-T
	SON-T	LED	LED/SON-T
100	105.9	84.4	20%
80	84.7	67.6	20%
60+20 totaal	83.1	70.3	15%
top	63.5	50.7	
tussen	19.6	19.6	

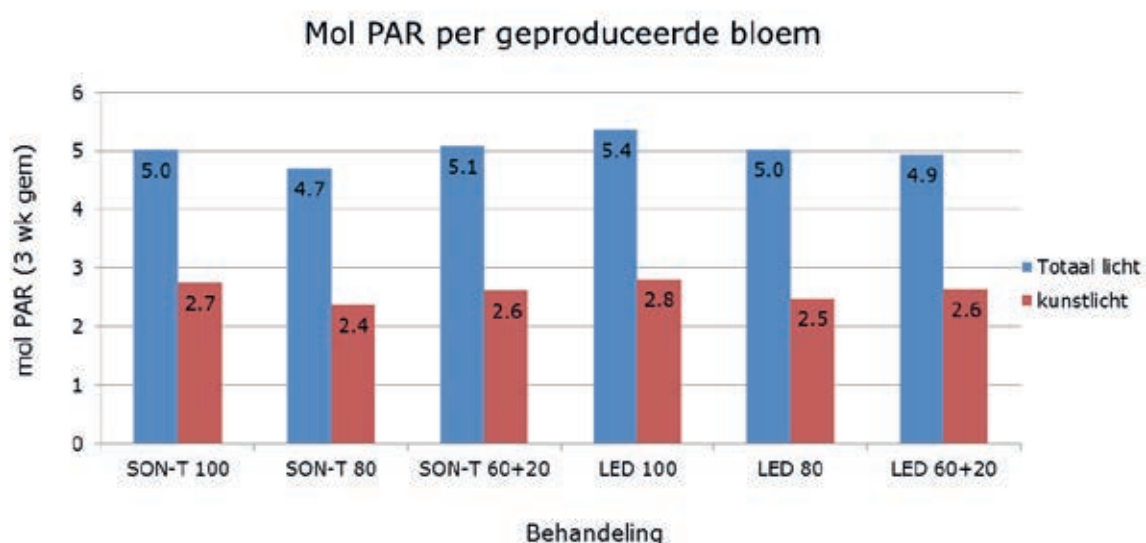
3.4.2 Lichtbenuttingsefficiëntie

De efficiëntie waarmee de planten het licht benutten is uitgedrukt voor elke behandeling als hoeveel mol licht er nodig is om een bloem te produceren (Figuur 27). Als we kijken naar de totale lichtsom over de onderzoeksperiode, dan is er gemiddeld 5 mol PAR licht nodig voor het produceren van 1 bloem. Hiervan is gemiddeld de helft (2.61 mol) door de lampen geleverd.

De 100 µmol LED behandeling had daarbij de laagste efficiëntie (5.36 mol per bloem), en de 80 µmol SON-T de hoogste efficiëntie (4.96 mol per bloem).

Als we het aantal benodigde mol per bloem per week uitdrukken en daarbij vergelijken we de twee soorten lichtbronnen (data niet getoond), dan valt het op dat met uitzondering van de opstartweken, geen constant verschil is tussen LED en SON-T. In beide lichtbronnen schommelt het tussen de 4 en de 6 mol/bloem, met een piek naar de 7 mol in week 8.

Wanneer de drie intensiteiten worden vergeleken, valt het op dat de hoogste intensiteit van de belichting (100 µmol), minder efficiënt gebruikt wordt voor de productie dan de lagere intensiteit van 80 µmol.

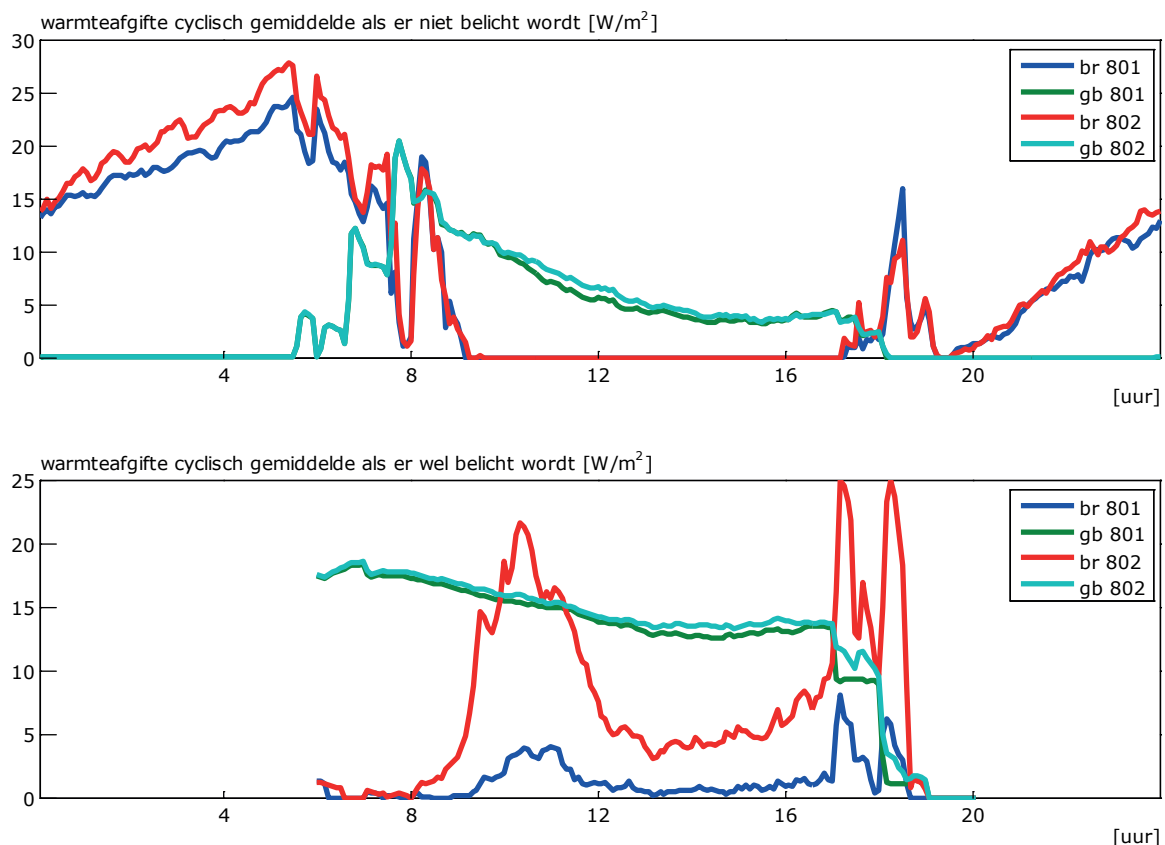


Figuur 30 Lichtbenuttingsefficiëntie van de planten uit de verschillende behandelingen, uitgedrukt in benodigd mol licht (totaal en alléén kunstlicht) per geproduceerde bloem.

3.4.3 Warmtegebruik

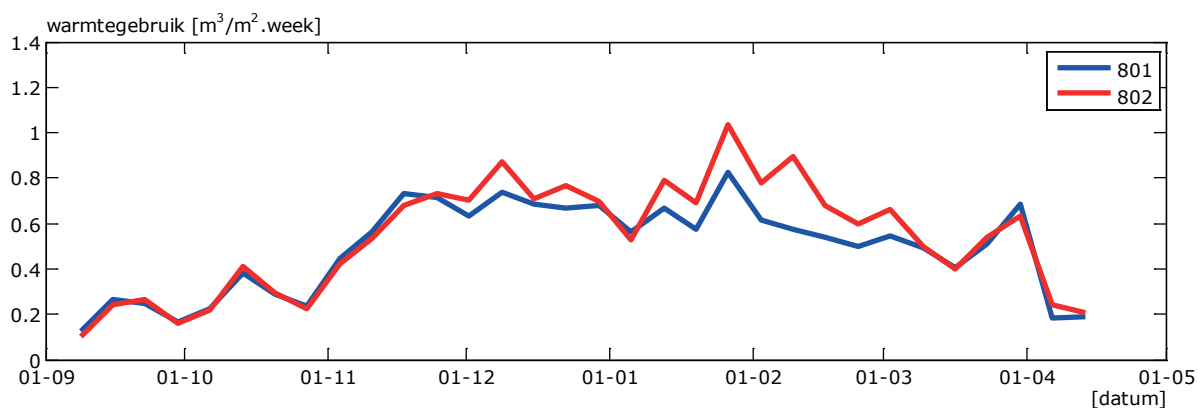
Voor de berekening van het warmtegebruik van de afdelingen zijn er warmtemeters geïnstalleerd. Daarnaast is de warmteafgifte ook berekend aan de hand van de buistemperaturen en de kasluchttemperatuur, het aantal buizen en buisdiameters. Door beide methodes te vergelijken en rekening te houden met verliezen (bijvoorbeeld warmte afgifte naar de ernaast liggende, onverwarmde afdeling), is het mogelijk om de betrouwbaarheid van de data te verbeteren met enkele correcties. Er is sprake geweest van een warmteverlies van 802 naar 803 welke groter is geweest dan van 801 naar de corridor omdat deze op 14°C gestookt wordt.

Als er 's nachts niet belicht wordt, is er geen verschil in warmtegebruik tussen beide kassen. Dat is logisch als we veronderstellen dat de afdelingen gelijk zijn, behalve de belichting en de elektrische input hiervan. Dat is goed zichtbaar als we het cyclische gemiddelde van de warmteafgifte in beide kassen voor de situatie met en zonder lampen vergelijken (Figuur 31).



Figuur 31 Cyclisch gemiddelde warmte afgifte in beiden kassen (801 =SON-T kas; 802 = LED kas) als er niet belicht wordt (boven) en als er belicht wordt (onder).

Gemiddeld is er na correctie van de genoemde verliezen en invloeden van de buurafdelingen, 15 kWh per m² meer in 802 (de LED kas) gestopt dan in 801 (de SON-T afdeling). Dat komt overeen met ca. 1.7 m³ ae/m². Uit het wekelijkse verloop van het energieverbruik voor verwarming van beide kassen blijkt dat het verschil is gemaakt in de periode half november tot begin maart, Figuur 32.



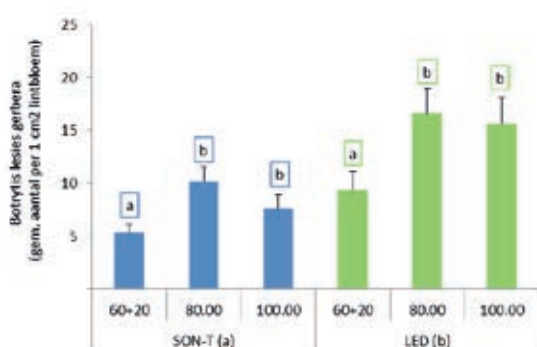
Figuur 32 Wekelijks verloop van het warmte gebruik in beide afdelingen (8.01 SON-T, 8.02 LED).

3.5 Ziektegevoeligheid

3.5.1 Biotoets Botrytis test met lintbloemen.

Uit beide kassen (LED en SON-T) zijn van alle drie belichtingsregimes 10 bloemen gesneden. Van elke bloem zijn twee lintbloemen op vochtig filterpapier gelegd in een petrischaal. Elke lintbloem is bespoten met een Botrytis sporen suspensie ($1.6 \cdot 10^4$ sp/ml). De schalen zijn in een afgesloten bak met een hoge RV in de uitbloeiruimte geplaatst zodat de sporen op de lintbloemen konden kiemen. De gekiemde sporen groeien in het bloemweefsel en dit uit zich in een lesie of een "pok", een necrotische plek op de lintbloem. Het aantal lesies per cm² lintbloem is geteld.

Figuur 33 toont het gemiddeld aantal lesies bij de lintbloemen uit de verschillende lichtbehandelingen. Er kwamen opvallende verschillen naar voren tussen de kassen onderling en de behandelingen in elke kas. De bloemen uit de LED kas waren gevoeliger geworden voor Botrytis en ontwikkelden meer lesies op de lintbloemen dan de bloemen uit de SON-T kas. En binnen elke kas zijn de behandeling met de hoogste lichtintensiteiten (80 en 100) gevoeliger voor Botrytis aantasting dan de behandelingen met het lichtregime 60+20.



Figuur 33 Botrytis bij besmetting van de bloemen van beide afdelingen. Verschillende letters geven significante verschillen aan (Tukey HSD test).

3.5.2 Botrytis test met jong blad en verwonde stengels

Botrytis blad- en stengeltesten zijn uitgevoerd op de 60+20 en 100 μmol behandelingen. In zowel de test met de bladeren als de stengels verliep de aantasting zeer snel. Hierdoor was er binnen twee á drie dagen weinig meer over van de ingezette stelen en bladeren en was er geen verschil in lesiegroei tussen behandelingen aanwezig. Op basis van deze test is besloten geen verdere analyses op afweereiwitten te verrichten op de bladeren die ingevroren waren. Deze test geeft duidelijk het verschil aan tussen weerbaarheid van bladeren als ze nog aan de plant zitten en gebruik kunnen maken van actieve afweereiwitten en wanneer bladeren van de plant zijn gehaald en de reserves snel uitgeput raken. Dan is er weinig weerstand meer en krijgt Botrytis de kans om zeer snel het bladmateriaal af te breken. Om deze reden wordt nu standaard in een Botrytis test gewerkt met bladeren die bij voorkeur nog aan de plant zitten en is het protocol voor de biotoets daarop aangepast (Hofland-Zijlstra *et al.* 2014). Hierdoor is de Botrytis ontwikkeling over een langere tijd te monitoren en zijn verschillen tussenbehandelingen beter vast te stellen.

3.6 Aanvullende praktijkproef: LED kleuren als stuurlicht

Tussen half december en half april is een aanvullende proef bij een praktijkbedrijf uitgevoerd.

De lampen waren geplaatst bij twee rassen: Kimsey en Suri.

De proef is als aanvullend aan dit onderzoek beschouwd, ter oriëntatie over de te verwachten effecten van verschillende lichtkleuren op de groei en ontwikkeling van gerbera. De verschillende kleuren LEDs die als stuurlicht zijn gebruikt zijn: rood, blauw, rood/blauw en verrood.



Figuur 34 Beelden praktijkproef met lichtkleuren.

Het licht werd overdag aangezet zodat de duur van de lichtperiode niet veranderde. De planten werden standaard belicht met 96 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ SON-T. De stuurlichtintensiteit was 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Als controle is een vak genomen waarbij geen stuurlicht werd toegepast.

De teler heeft de productie en kwaliteit van het ras Suri bijgehouden op door Wageningen UR medewerkers aangemaakte lijsten. Het aantal bloemen, bloemgewicht, taklengte en bloemdiameter is bijgehouden van een vak van 4.5 m² per behandeling.

Van Kimsey zijn sporadische metingen (ongeveer eens per maand) gedaan van bloemgewicht, bloemdiameter en steellengte van de bloemen geoogst uit de proefvakken.

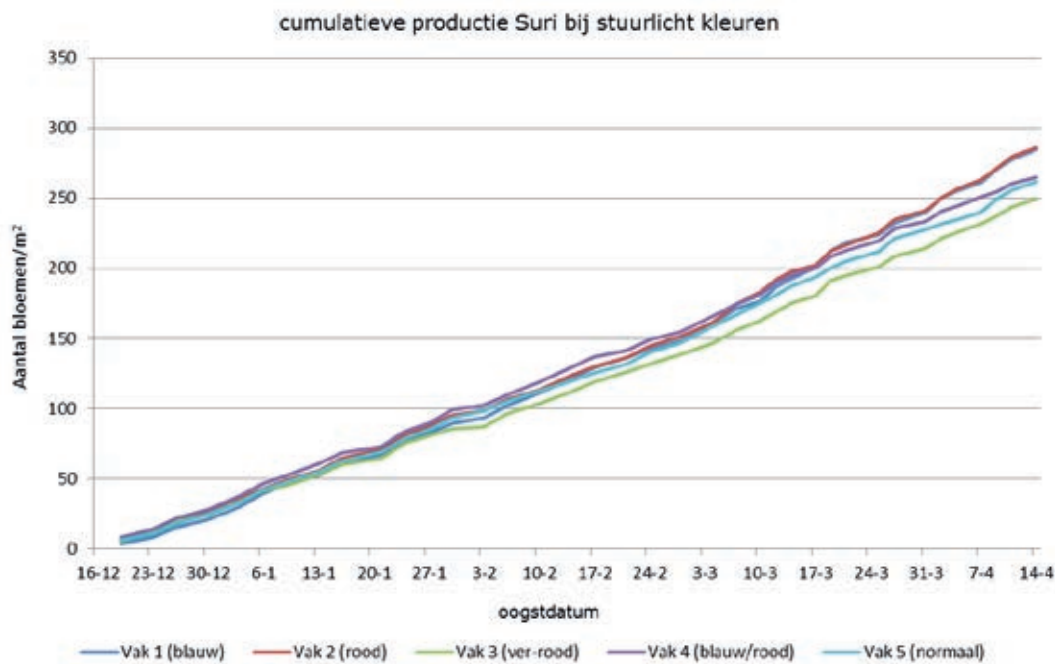
De resultaten van de kwaliteitsmetingen zijn weergegeven in Tabel 6. Er was er een trend naar iets meer steellengte en iets minder droge stof in de bloem bij alle lichtkleurbehandelingen.

Tabel 6

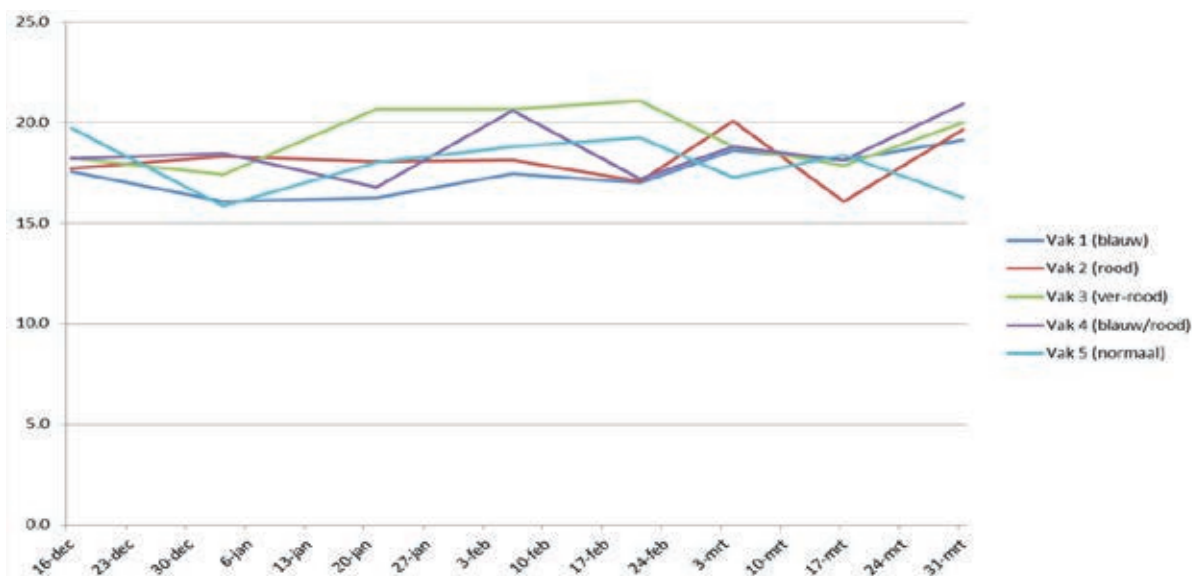
Kwaliteitsmetingen van de bloemen uit de verschillende lichtkleurbehandelingen van de stuurlichtproef.

	Bloemgewicht [gr]		Steellengte [cm]		Diameter [cm]		% droge stof (bloem)	
	Kimsey	Suri	Kimsey	Suri	Kimsey	Suri	Kimsey	Suri
Vak 1 (blauw)	23.4	17.5	58.0	63.8	8.4	7.7	12.0	13.8
Vak 2 (rood)	22.8	18.2	60.4	65.1	8.3	7.7	11.3	13.6
Vak 3 (ver-rood)	23.1	19.5	59.6	65.7	8.4	7.9	11.5	14.6
Vak 4 (blauw/rood)	24.0	18.7	59.0	65.0	8.5	7.8	11.9	14.1
Vak 5 (normaal)	23.5	17.7	57.0	62.0	8.4	7.8	12.3	14.5

Blauw, rood en blauw/rood gaven de meeste productie bij Suri (Figuur 35). Dat is verklaarbaar doordat er simpelweg $20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ extra licht werd toegevoegd. Verrood licht gaf duidelijk minder productie, zelfs minder dan de blanco waarbij er geen extra licht werd toegevoegd. Uit het wekelijkse takgewicht verloop (Figuur 36) blijkt dat verrood een hoger bloemgewicht gaf in de periode januari tot en met maart.



Figuur 35 Invloed lichtkleuren op productie (praktijkproef).



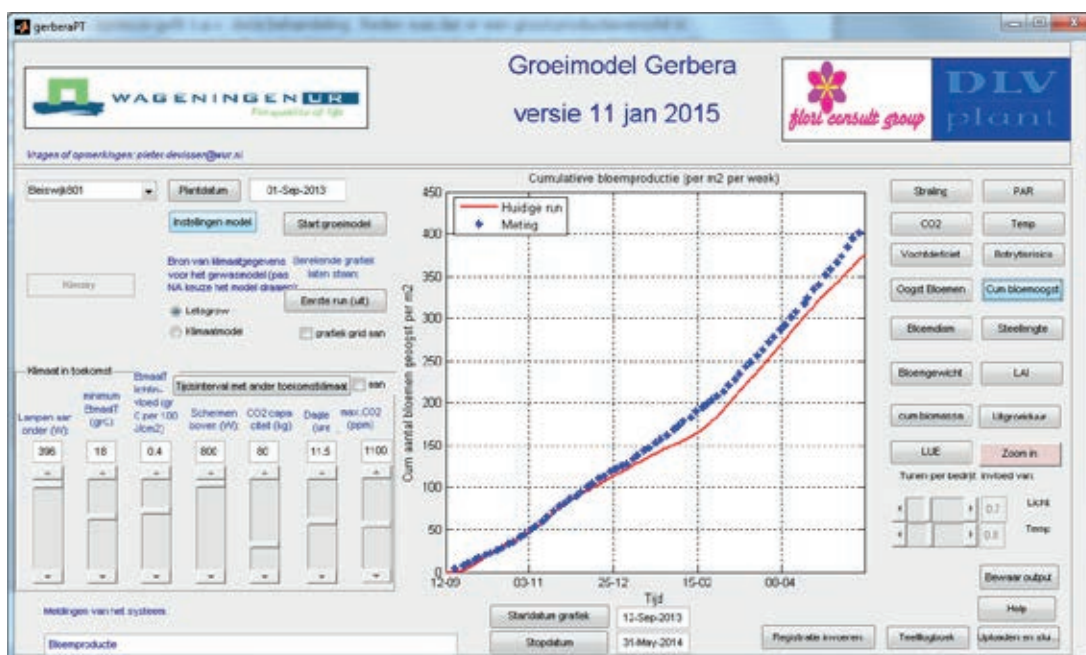
Figuur 36 Invloed lichtkleuren op de kwaliteit: weekverloop takgewicht (g).

3.7 Integratie data in groeimodel

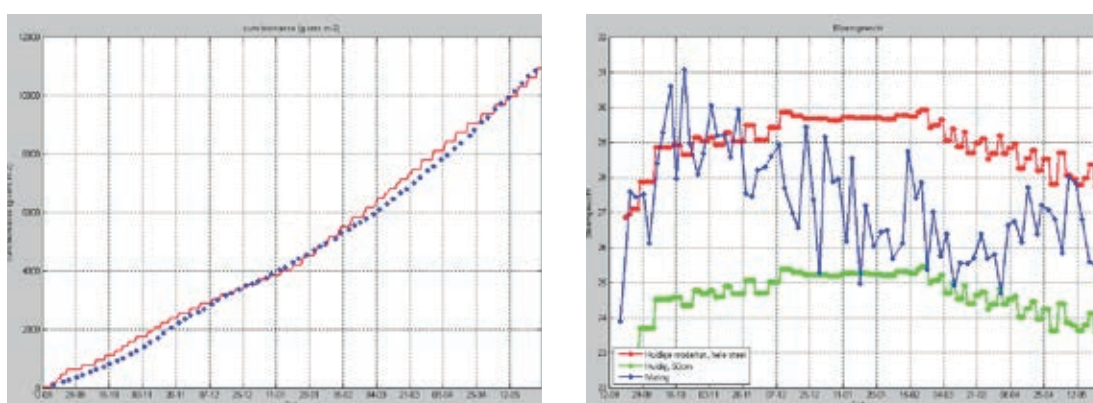
De resultaten uit deze proef zijn getoetst aan het bestaande groeimodel. Het model is opnieuw gekalibreerd voor de behandeling 100 μmol SON-T en de gekalibreerde versie is apart getoetst op de 100 μmol LED en daarna op de lagere lichtintensiteiten.

3.7.1 Overeenkomst met metingen van behandeling SON-T 100 μmol

Het groeimodel is opnieuw gefit voor deze behandeling. Reden was dat er een groot productieverval in aantallen bloemen tussen het eerste halfjaar (in 2013) en het tweede (in 2014) is gevonden dat te herleiden is tot verschillen in scheutaantal: de planten zijn in 2013 nog niet geheel volgroeid. Er is aangenomen dat het scheutaantal verdubbelde in het voorjaar van 2014. De ijking van de licht- en temperatuurrepons (via de schuifjes in de interface) leverde de waarden 0.7 resp. 0.8 op. De modeluitkomsten laten een goede fit zien voor cumulatieve bloembiomassa (Figuur 38 links) en in mindere mate, voor cumulatief bloemaantal (Figuur 37). De bloemgewichten laten de minst goede fit zien (Figuur 38).



Figuur 37 Simulatie cumulatieve bloemproductie (rood) en proeftelling 100 μmol SON-T (blauw).

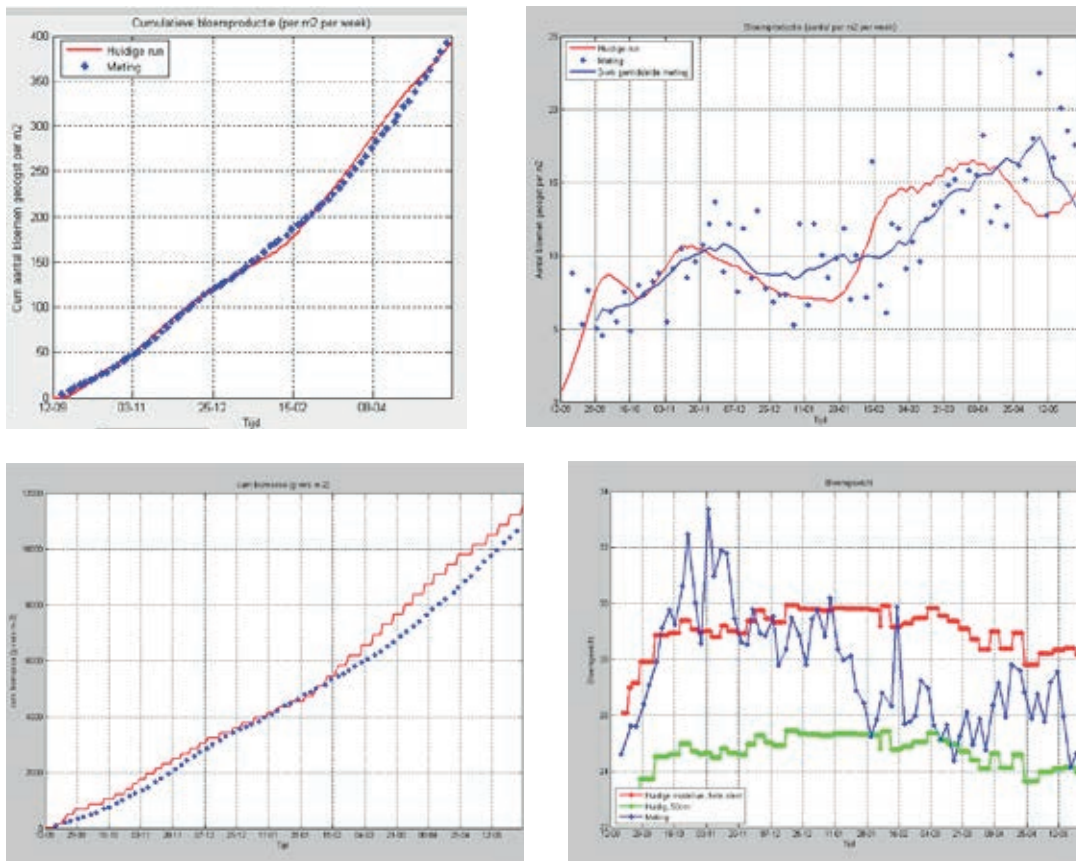


Figuur 38 Links, cumulatieve biomassa productie; rechts bloemgewicht. In beide grafieken rood model simulatie en blauw de productie uit de kasproef.

Met het lichtschuifje op 0.9 wordt de fit van cumulatieve bloemaantallen vrijwel 100% (niet getoond), maar die instelling geeft voor de overige behandelingen slechtere fits en is daarom niet doorgevoerd. Op basis van de ijking op behandeling SON-T 100 μmol is het model toegepast op de andere behandelingen.

3.7.2 Overeenkomst met metingen van behandeling LED 100 μmol

Het model laat wederom een goede overeenkomst zien met de gemeten bloemaantallen, zowel cumulatief (wat eenvoudiger te fitten is), als met de weekoogsten (Figuur 39 boven). In de weekoogsten is zichtbaar dat als gevolg van het verdubbeld scheutaantal in 2014 er niet zondermeer een verdubbelde productie wordt voorspeld. Dit hangt natuurlijk ook af van het heersende klimaat en de balans tussen source en sink. Het bloemgewicht is in 2014 door model overschat. Dit uit zich ook in een overschatting van de cumulatieve productie van versgewicht (Figuur 39 onder).



Figuur 39 Simulaties vergeleken met resultaten uit de proef, behandeling 100 μmol LED. Cumulatieve bloemproductie, week bloemproductie, cumulatieve biomassa, en week bloemgewicht.

3.7.3 Behandelingen met lager niveau assimilatielicht

De figuren die bij deze vergelijking behoren zijn te zien in Bijlage 3. In behandeling SON-T 80 μmol is de overeenkomst van model met metingen iets minder. Bloemaantallen en cumulatieve biomassa worden iets onderschat. Hoewel het bloemgewicht overschat wordt, leidt dit dus niet tot de juiste cumulatieve biomassa. Het model constateert dus een significant verschil in productie tussen 80 en 100 μmol belichting terwijl de metingen slechts een klein, mogelijk niet significant, effect laten zien.

De behandeling met LED 80 μmol berekent het model een lager bloemaantal, een correcte cumulatieve bloembiomassa en een gemiddeld genomen correct bloemgewicht. De overeenkomst met SON-T 80 μmol is dus de onderschatting van de bloemaantallen, het verschil is dat voor LED 80 μmol de cumulatieve biomassa goed en het bloemgewicht enigszins beter wordt gemodelleerd.

4 Discussie

Voor deze discussie worden de resultaten per energiebesparingscomponent samengevat en besproken. De resultaten worden vervolgens belicht vanuit de voor aanvang van het experiment geformuleerde hypothesen. Tot slot, omdat deze proef is uitgevoerd in de winter van 2013-2014, en in de twee daaropvolgende winters ook onderzoek heeft plaatsgevonden met gerbera en LED, beschouwen we de hier behaalde resultaten in het licht van de kennis die in de twee winters daarna is opgedaan.

4.1 Samenvatting resultaten

In Tabel 7 zijn de resultaten samengevat, waarbij er een vergelijking wordt gemaakt van klimaat, productie en energieverbruik tussen de kas met LED en de kas met SON-T belichting.

4.1.1 LED versus SON-T als lichtbron

Uit deze samenvatting blijkt dat LED energetisch gezien een goed alternatief is voor SON-T bij de teelt van gerbera. De lampen zijn 25% efficiënter (meer PAR per watt elektrisch). Omdat de lampen minder warmte afgeven, was er 9% meer warmte nodig om de kas op dezelfde temperatuur te houden. De kas en de plant waren koeler in de vroege ochtend (wanneer de lampen aan zijn maar de zon nog niet krachtig genoeg is), waardoor er minder gelucht hoefde te worden dan in de SON-T kas. Dit had als voordeel een iets hogere CO₂ concentratie.

In termen van productie is er in de LED kas 2.3% productie ingeleverd; de lichtbenutting was ook 3% lager dan die van SON-T. Ook waren in de winterperiode de bloemen die met LED waren geteeld iets langer en zwaarder. Die 2.3% productie inleveren voor 25% elektriciteit besparen lijkt een acceptabel verlies; verwacht werd echter een productieverbetering. Deze is uitgebleven.

4.1.2 Invloed tussenbelichting

Een vergelijking van de behaalde resultaten met topbelichting versus topbelichting in combinatie met tussenbelichting is gemaakt in Tabel 8.

Het gaat hierbij om de vergelijking tussen de behandeling 80 μ mol topbelichting (LED of SON-T) en de behandeling met 60 μ mol topbelichting (LED of SON-T) en 20 μ mol LED als tussenbelichting.

Tabel 7

Resultaten vergelijking LED versus SON-T als lichtbron.

	LED t.o.v. SON-T kas	verklaring
PAR som (5 september tot 18 april)	+4%	Installatie en plaatseffecten
Kastemperatuur bij lampen aan	-0.7 °C	Stralingswarmte SON-T
Kastemperatuur bij zonlicht	+0.4 °C	Plaatseffect, minder ventilatie
Planttemperatuur bij lamp aan		
Planttemperatuur bij zonlicht		
RV		Minder ventilatie om gelijke etmaaltemperatuur te bereiken
CO ₂ vroege ochtend	+40 ppm	Minder ventilatie om gelijke etmaaltemperatuur te bereiken
CO ₂ rest van de dag	+20 ppm	Minder ventilatie
Huidmondjes geleidbaarheid	+105%	Effect LED? Of hogere buistemperatuur om etmaal te halen en iets hoger PAR?
Verdamping	+6%	4% meer PAR, hogere buistemperatuur om etmaal te halen, hogere huidmondjes geleidbaarheid
Productie (aantal takken)	-2.3%	Warmte straling SON-T lampen ontbreekt?
Bloemgewicht	+0.5 g	De lagere kastemperatuur?
Bloemlengte	+1.2 cm	De lagere kastemperatuur?
Bloemdiameter	geen verschil	
Droge stof% bloem en blad	-5 %	
Uitgroeiduur (bij 100 µmol)	+1 dag	Warmte straling SON-T lampen ontbreekt?
Fotosynthese, licht response	In februari, iets hogere efficiëntie (<10% boven 500 µmol)	
Fotosynthese, CO ₂ response	Geen verschil	
Fotosynthese, temperatuurgevoeligheid	In februari, iets gevoeliger dan SON-T	
Plantweerbaarheid (ziektegevoeligheid)	bloemen uit LED kas meer groei van Botrytis.	Bij kunstmatige besmetting na de oogst. Verklaring onbekend.
Houdbaarheid na de oogst	Geen verschil	
Elektrische efficiëntie topbelichting	+25%	Meer PAR per watt elektrisch
Warmtevraag (half november tot begin maart)	+9% (+15 kWh/m ² of +1.7 m ³ ae/m ²)	Warmte straling SON-T lampen ontbreekt
Lichtbenutting (mol/bloem)	-3%	Lagere productie

Tabel 8

Resultaten vergelijking top + tussenbelichting versus alléén topbelichting.

	Top + tussenbelichting Vs. alléén topbelichting	toelichting
Huidmondjes geleidbaarheid	Gemiddeld ca. 7% hoger.	Zowel LED als SON-T, behalve 's morgens, dan topbelichting hoger
Productie (aantal takken)	9.3% minder productief	Tussenbelichting geen extra bloemen
Bloemgewicht	-0.6 g SON-T -0.7 g LED	
Bloemlengte	-0.5 cm SON-T -1.5 cm LED	
Bloemdiameter	-2 mm (-18%)	In zowel SON-T als LED topbelichting
Droge stof% bloem en blad	-5%	
Uitgroeiduur (bij 100 μmol)	+0.5 dag geen verschil	Bij LED topbelichting. Bij SON-T topbelichting
Fotosynthese, licht response	boven 400 μmol PAR 20% meer fotosynthese	Alléén bij de LED topbelichting
Fotosynthese, CO ₂ response	Geen verschil	
Fotosynthese, temperatuurgevoeligheid	- minder temperatuurafhankelijk - hogere fotosynthese snelheid bij lagere temperaturen	Alléén bij SON-T. Bij LED geen verschillen.
Elektrische efficiëntie	-3.8% +1.9%	LED boven SON-T boven (tussenbelichting 2.0 $\mu\text{mol}/\text{watt}_{\text{el}}$; Topbelichting LED 2.32 $\mu\text{mol}/\text{watt}_{\text{el}}$; Topbelichting LED 1.85 $\mu\text{mol}/\text{watt}_{\text{el}}$)
Lichtbenutting (mol/bloem)	-2% LED +8% SON-T	

Uit de samengevatte resultaten blijkt dat de manier waarop de planten het licht ontvangen, net zo belangrijk kan zijn als de hoeveelheid licht dat ze ontvangen. Bij totaal 80 μmol aan topbelichting, ongeacht of de bron LED of SON-T was, was het resultaat beter dan bij totaal 80 μmol waarbij 75% als topbelichting (60 μmol) en 25% als tussenbelichting was. De combinatie top+ tussenbelichting resulteerde in aanzienlijk minder productie (ruim 9% minder bloemen). Bovendien waren de geoogste bloemen korter, lichter en hadden een kleinere diameter en een lager droge stof percentage.

Energetisch is de gebruikte LED tussenbelichting 20% efficiënter dan SON-T, maar iets minder efficiënt dan de gebruikte LED topbelichting. Hierdoor daalt de totale efficiëntie ten opzichte van 80 μmol topbelichting, maar is er een elektriciteitsbesparing te behalen in vergelijking met 80 μmol SON-T.

4.1.3 Verlagen lichtintensiteit naar 80 μmol

Het effect van verlagen van het geïnstalleerd vermogen in de kas van 100 naar 80 μmol levert vrij veel besparingsmogelijkheden in ruil voor een bescheiden afname in de productie; dit is goed te zien in Tabel 9, waar de teelt- en energie resultaten van telen bij een lichtintensiteit van 80 μmol worden vergeleken met die van een lichtintensiteit van 100 μmol , voor beide type lichtbronnen (LED en SON-T).

Tabel 9

Resultaten vergelijking 80 μmol belichting versus 100 μmol .

	80 μmol topbelichting vs. 100 μmol topbelichting	toelichting
Huidmondjes geleidbaarheid	+13%	Meer bij LED dan bij SON-T
Productie (aantal takken)	-3.9% (15 takken/ m^2)	
Bloemgewicht	geen verschil beide	
Bloemlengte	geen verschil beide	
Bloemdiameter	geen verschil beide	
Droge stof% bloem en blad	geen verschil beide	
Uitgroeiduur	+1.2 SON-T +0.6 LED	Bij LED topbelichting. Bij SON-T topbelichting
Fotosynthese, licht response	boven 400 μmol PAR 20% minder fotosynthese	Alléén bij LED 100 SON-T 100 en 80 gelijk
Fotosynthese, CO_2 response	Geen verschil	
Fotosynthese, temperatuurgevoeligheid	hogere fotosynthese bij zowel lagere als hogere temperaturen	Alléén bij SON-T 80 Bij LED geen verschillen.
Elektrische efficiëntie	+20%	Zowel bij LED als SON-T
Lichtbenutting (Mol/bloem)	+7.4% LED +6% SON-T	

Het verschil in lichtintensiteit zorgt direct voor een besparingseffect van 20% in elektra. Desondanks leidt dit verschil in lampvermogen tot slechts een productiederving van 15 takken per m^2 , een bescheiden 3.9%. De productiederving is vermoedelijk vooral het gevolg van een langere uitgroeiduur (0.6 tot 1.2 dagen per bloem extra). Ook verrassend is de behaalde kwaliteit, uitgedrukt in bloemlengte, gewicht en bloemdiameter alsmede in droge stofpercentage in blad en bloem, die even goed was bij 80 μmol als bij 100 μmol . Hierdoor is er bij de 80 μmol licht een 6 tot 7.4% hogere lichtbenutting behaald dan met 100 μmol , uitgedrukt in benodigd aantal mol licht voor de productie van een bloem.

4.2 Resultaten in relatie tot de gestelde energiedoelen

In Tabel 10 zijn de behaalde resultaten vergeleken met de gestelde energiedoelen. Berekend is een totale besparing, wanneer men bereid is 6.3% productie in te leveren, dat gelijk is aan de doelstelling van 45% energiebesparing.

Tabel 10

Resultaten vergeleken met de gestelde energiedoelen.

Besparingscomponent	doel	resultaat	doelstelling gehaald?
Licht integratie	-5%	0% energiebesparing	nee
LED belichting	-20%	-25% elektra, +9 % extra warmtevraag	Ja, tegen -2.3% productie
80 i.p.v. 100 μmol	-20%	-20%	Ja, tegen -3.9% productie
maximale besparing	-45%	-45%	Ja, tegen -6.3% productie

De gebruikte LED topbelichting is 25% efficiënter dan SON-T en de tussenbelichting is 20% efficiënter. Door over te schakelen naar alleen LED topbelichting kan 25% in plaats van 20% worden bespaard, De verwachte energiebesparing door lichtintegratie is niet behaald. Dit heeft te maken met het feit dat het gestuurd is naar een gewenste PAR som van 8 mol per dag. Dit is voor de winter niet realistisch: met een belichtingsinstallatie van 100 μmol intensiteit kan bij een daglengte van 11.5 uur een maximale hoeveelheid PAR licht worden toegevoegd aan het daglicht van 4.1 mol per dag. Dit betekent dat een groot deel van de winter de lampen de volledige dag branden, en het alléén mogelijk is om lichtintegratie toe te passen aan de randen van het seizoen. Vooral in het voorjaar en najaar is besparing mogelijk als rekening gehouden wordt met de hoeveelheid licht die nodig is voor de bloemproductie en de verwachte hoeveelheid zon. In het najaar leverde de lichtintegratie bij de behandelingen met 100 μmol ongeveer 3% besparing op ten opzichte van belichting op vaste uren. De in het najaar behaalde winst werd weer teniet gedaan door de gekozen drempelwaarde.

4.3 Resultaten in relatie tot de geformuleerde hypothesen

In hoofdstuk 1 zijn de geformuleerde hypothesen genoemd en toegelicht. Zijn deze hypothesen voor de cultivar Kimsey met dit onderzoek bevestigd, ontkracht, of is het niet mogelijk om daar een uitspraak over te doen? De hypothesen worden hieronder een voor een behandeld.

4.3.1 Lichtintensiteit en bloemproductie

Hypothese: Groeilicht met LED bevordert de bloemproductie in gerbera doordat een lichtintensiteit tot 400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ PAR in combinatie met een lagere planttemperatuur leidt tot meer bloemen ten opzichte van blad, minder kans op abortie en meer scheuten.

Het verwachte voordeel van de LED lampen, juist vanwege de lagere planttemperatuur, is uitgebleven. Doordat er in de kas gestuurd werd naar dezelfde etmaaltemperatuur, verschilde de gerealiseerde planttemperatuur weinig tussen de planten belicht met SON-T en met LED. Er waren verschillen op twee momenten van de dag: aan het begin van de dag, als gevolg van het verschil in lampwarmte, en midden op de dag, als gevolg van positieverschillen van de twee kassen ten opzichte van de zon instraling. Desondanks verdampten de planten in de LED kas 6% meer, en de geleidbaarheid van de huidmondjes was bijna 2 keer zo hoog. Daardoor zou de verwachting zijn dat er meer CO_2 vastgelegd had kunnen worden. De fotosynthese metingen laten wel zien dat de fotosynthesesnelheid op bladniveau bij de planten die belicht werden met LED licht iets hoger is. Daarbij moet wel moet in ogenschouw genomen worden dat rood/blauw LED licht doorgaans snel wordt geabsorbeerd en beschaduwde bladeren minder licht ontvangen dan onder lichtbronnen met een breder spectrum. Hierdoor kan de fotosynthese snelheid per eenheid bladoppervlakte wel hoger zijn dan onder SON-T, maar de totale gewasfotosynthese hoeft niet hoger te zijn.

Door al deze invloeden bij elkaar, maar mogelijk juist door de lagere planttemperatuur, is de plant er niet in geslaagd bij deze cultivar de verhoogde bladfotosynthese om te zetten in meer bloemen, in tegendeel: door een langere uitgroei duur van gemiddeld 1 dag per bloem, is de behaalde productie zelfs lager dan met SON-T. Bloemabortie is onder beide lichtbronnen niet gezien, en uit de destructieve tellingen bleek dat er geen verschil was in het aantal scheuten tussen beide lichtbronnen.

De hypothese is voor de gerbera cultivar Kimsey ontkracht.

4.3.2 Reactie op stuurlicht

Hypothese: Naast een fotoperiodische reactie op stuurlicht wordt bij Gerbera ook een morfologische reactie verwacht. Belichten met hogere intensiteit leidt alleen bij korte dag tot meeropbrengst in stuks en gewicht. Meer licht en langere daglengte leidt vooral tot bloemen die zwaarder en langer zijn. De invloed van daglengte is rasafhankelijk.

In de proef is slechts één daglengte van 11.5 uur toegepast, er kunnen daarom geen uitspraken worden gedaan over de invloed van lichtintensiteiten in combinatie met lange dag op meeropbrengsten in stuks of gewicht. Over de invloed van belichten met hogere intensiteit in combinatie met de toegepaste korte dag van 11.5 kunnen we wel een uitspraak doen, omdat er twee lichtintensiteiten (80 en 100 μmol) zijn vergeleken. Binnen deze niveaus, leidt de hogere intensiteit WEL tot een hogere productie (+ 4%), zij het veel minder dan op basis van het lichtverschil (20%) zou mogen worden verwacht. Tevens leidt de hogere lichtintensiteit niet tot een langere of zwaardere bloem (beide waren gelijk voor de cultivar Kimsey).

Uit de praktijkproef met lichtkleuren is geen stuurlicht reactie van de planten (rassen Suri en Kimsey) gezien op de lichtkleur. Ook morfologisch zijn er geen verschillen waargenomen in, zowel de planten als in het geoogste product wanneer deze afkomstig was uit de verschillende lichtbehandelingen. Alléén de toevoeging van verrood had een iets groter effect op de assimilatenverdeling: in de behandeling met toegevoegde verrood licht waren de bloemen tussen januari en maart zwaarder; maar er was een lagere productie dan in de controle of in de overige kleurbehandelingen.

Een reactie op lichtkleur is mogelijk uitgebleven omdat het kleurenlicht toegepast werd overdag, waarbij het lichtkleur vervaagt tegen een achtergrond van wit licht met alle kleuren. Hierdoor is het relatieve aandeel van een bepaalde toegevoegde kleur vrij laag.

Over hoe afhankelijk de verschillende rassen zijn voor daglengte, kunnen we ook geen uitspraken doen: zoals gezegd zijn er geen daglengtes EN geen rassen vergeleken.

Deze hypothese is voor de cultivar Kimsey en voor zover het mogelijk was om uitspraken te doen over de deelhypotheses, ontkracht.

4.3.3 Tussenlicht en scheutontwikkeling

Hypothese: Tussenlicht stimuleert het uitlopen van scheuten op plekken waar weinig licht komt.

Er was voor dit onderzoek nog geen ervaring opgedaan met tussenbelichting in Gerbera. Door de goede resultaten met tussenbelichting bij andere gewassen was de verwachting in aantal extra bloemen door meer scheutuitloop hoog. Het resultaat is daarom des te meer teleurstellend: er is niet alléén minder productie gerealiseerd (er zijn 9.3% minder bloemen geoogst), maar de bloemen waren ook korter, minder zwaar, en hadden een iets kleinere diameter en bestonden uit 5% minder droge stof. Uit de destructieve metingen blijkt wel een iets hoger aantal scheuten per plant bij de planten met tussenbelichting (7.4 i.p.v. 6.1 scheuten per plant), maar alleen voor de planten met SON-T als topbelichting, niet voor de planten met LED als topbelichting.

Dit kan wellicht verklaard worden doordat er een lagere intensiteit topbelichting was in de LED behandeling met tussenbelichting (Tabel 1). Wellicht speelt hier ook de lichtdoordringing tot op de scheuten van de verschillende lichtbronnen een rol. Hoe dan ook, het hogere aantal scheuten heeft niet geleid tot meer productie van bloemen, wat toch het doel is van meer scheuten.

Er zijn verschillende verklaringen mogelijk voor waarom de planten niet in alle gevallen tot meer scheuten aanmaakt heeft geleid, of voor waarom deze niet geleid hebben tot de uitgroei van meer bloemen. In de eerste plaats zijn er de verschillen tussen bijvoorbeeld roos en een gerbera: bij roos zijn er op een afgeknipte steel veel knoppen die uit kunnen lopen als ze in het licht komen te staan, terwijl gerbera kenmerkt zich door een sympodiale groei, waarbij in de oksel van elk blad één tot twee bloemknoppen zich kunnen ontwikkelen (Leffring, 1984). Bij hoog opgaande groentegewassen zoals tomaat en komkommer is tussenbelichting effectief omdat de lichtonderschepping bij de onderste bladeren aanzienlijk afneemt ten opzichte van de hogere geleiden bladeren, puur door beschaduwing (Dueck, Janse, Eveleens, Kempkes en Marcelis, 2012). Bij horizontale gewassen zoals gerbera kan de lichtonderschepping in het hart van de plant belemmerd zijn door jonge bladeren en door de bloemen, die als een kleine parasol schaduw werpen in het hart; het blad daarentegen komt niet in de schaduw te staan. Wel is het mogelijk dat de tussenlichtmodules schaduw werpen op het blad, ook wanneer de belichting niet aan staat. Dit zou geleid kunnen hebben tot een lagere gerealiseerde lichtsom dan verwacht. Hieraan verbonden is de vraag of het tussenlicht wezenlijk de lichtintensiteit op de jonge scheuten verhoogd. Wanneer het merendeel van het licht wordt opgevangen door het blad, heeft dat juist een vegetatief effect in plaats van dat de scheutuitgroei bevorderd wordt. Daarnaast is het lastig om de intensiteit van tussenlicht goed te bepalen omdat het lichtmilieu dicht op de modules zeer heterogeen is.

In de tweede plaats is de toepassing van tussenbelichting een discussieonderwerp: was deze in de onderzoeken die de hoge verwachtingen schepten aanvullend op de topbelichting, of verving het een deel van de topbelichting zoals in dit onderzoek? In het onderzoek naar "De Perfecte Roos" is ook tussenbelichting gebruikt bij een deel van de rozen in de kas (de Gelder *et al.* 2015). Uit dit onderzoek bleek inderdaad een hogere productie bij de rozen waarbij tussenbelichting was gebruikt. De meerproductie was echter direct te herleiden tot het extra toegevoegde licht boven op de topbelichting in de rest van de proef. Om deze redenen is de LED tussenbelichting in het onderzoek dat volgde met roos, niet voortgezet of uitgebreid.

Omdat de LED lampen die gebruikt worden voor tussenbelichting iets minder efficiënt zijn dan de lampen die gebruikt worden voor topbelichting, is de elektrische efficiëntie van de tussenbelichting ook nog lager dan die van de topbelichting.

De hypothese is voor de cultivar Kimsey en de gebruikte lichtniveaus ontkracht.

4.3.4 Na-belichting in de donkerperiode

Hypothese: Na-belichting in de donkerperiode geeft een hogere productie en betere kwaliteit (diameter en steellengte). Hiermee wordt er dus minder afval geproduceerd en hogere efficiency gerealiseerd.

Het is met de uitgevoerde proefopzet, en ook met de opzet van de lichtkleurenproef in de praktijk, waarbij het belicht is gedurende de dagperiode om de daglengte niet te verlengen (uit angst voor een lagere productie omdat gerbera een kwantitatieve korte dag plant is) niet mogelijk om een uitspraak te doen over de invloed van nabelichting in het donker met lage lichtintensiteiten.

Uit resultaten die vóór dit onderzoek behaald zijn met Freesia, en na dit onderzoek nog met Leeuwebek en Stevia, blijft het een interessante onderzoeksrichting om de productie bij gerbera te verbeteren.

De hypothese is niet getoetst.

4.3.5 Lichtintegratie

Hypothese: Met lichtintegratie wordt voorkomen dat nog belicht wordt terwijl er voldoende assimilaten zijn om alle bloemen te laten uitgroeien.

Lichtintegratie is als instrument ingezet om de juiste balans in bloemproductie ten opzichte van groeilicht te vinden.

Lichtintegratie gaat ervan uit dat voor de productie van 1 bloem 5 mol PAR licht nodig is. Lichtintegratie gaat ervan uit dat er niet op dagbasis, maar over een periode van meerdere dagen gekeken kan worden of een gewenste lichtsom gehaald is. Vooral in het voorjaar en najaar is besparing mogelijk als rekening gehouden wordt met de hoeveelheid licht die nodig is voor de bloemproductie en de verwachte hoeveelheid zon. In het najaar leverde de lichtintegratie bij 100 μmol ongeveer 3% besparing op ten opzichte van belichting op vaste uren. In de winter en voorjaar niet, vanwege de hoge gewenste PAR som die was ingesteld. Doordat de belichting een relatief lage intensiteit had en het aandeel buitenlicht in de winter beperkt was, was er altijd onvoldoende licht en brandden de lampen de hele dag; daardoor werd de belichting eerder op instraling afgeschakeld. De in het najaar behaalde winst werd daarmee weer teniet gedaan.

Het bleek moeilijk om in het voorjaar en najaar de lampen te sturen op de weersverwachtingen: van alle te voorspellen parameters blijkt de straling de lastigste om goed te voorspellen: als het weerbericht wordt opgehaald, en die een verwachte straling van 10 mol voorspelt, gaan de lampen niet aan. Als om 12 uur 's middags de voorspelling is bijgesteld naar 7 mol, blijkt het niet meer mogelijk om voldoende te corrigeren door de lampen de resterende uren van de dag aan te zetten, zonder de maximale daglengte van 11.5 uur te overschrijden.

De hypothese is niet bevestigd noch ontkracht.

4.4 Resultaten beschouwd vanuit later opgedane kennis

We schrijven dit rapport in 2016. In de winters van 2014-2015 en 2015-2016 is het onderzoek met gerbera voortgezet, en ook met vele andere gewassen is nieuwe, aanvullende kennis opgedaan. De vraag rijst, of de resultaten die we hier presenteren niet achterhaald zijn.

We kunnen stellen dat dit niet zo is, en dat later behaalde resultaten goed overeen komen en aanvullende zijn aan wat we in de winter van 2013-2014 vonden.

Dat tussenbelichting, bij gelijke lichtintensiteit en duur geen meerwaarde heeft boven op topbelichting op de uitloop van nieuwe scheuten is ook voor de roos Red Naomi waargenomen (de Gelder, 2014).

Een positieve invloed van aanvullend verrood licht in de winter op de bloemgewichten zoals we hier gezien hebben in de kleurenproef in de praktijk is ook voor de roos Avalanche gemeten bij een aanvulling van de verrood gehalte tot 18% (García Victoria *et al.* 2015). Dit opent nieuwe mogelijkheden om de bloemgewichten te beïnvloeden.

De vervolgonderzoeken die met gerbera zijn uitgevoerd zijn erin geslaagd verdere stappen te maken in termen van energiebesparing, (tot ruim 60%) in de teelt van gerbera.

- Er is afgestapt van de tussenbelichting.
- Er is veel winst gemaakt door veel sneller af te schakelen op instraling om te besparen op belichting.
- Ook is het gelukt om slim gebruik te maken van lichtintegratie (nog sneller afschakelen), en op lagere lichtsommen te sturen): in het hier beschreven onderzoek liepen we hier tegen de technische stuurmogelijkheden aan; in de loop van de vervolgonderzoeken zijn de technische mogelijkheden uitgebreid door verbeterde software (onder andere Let's Grow, Hoogendoorn). Daardoor kon gestuurd worden op lichtsom per dag, en kon zelfs de etmaaltemperatuur geregeld worden met de dagelijkse PAR som.
- Met een transparant energiescherm en ontvochtiging is het meerverbruik aan warmte omgezet in een besparing. Er is niet meer met minimum buis geteeld, maar er is alleen gestookt op warmtevraag.
- Door lagere etmaaltemperaturen toe te laten in de winter bij lage lichtniveaus, is men erin geslaagd nog meer energie te besparen met behoud van kwaliteit, zonder te hoeven investeren in dure LED lampen. Want mits snel afgeschakeld, kan ook met SON-T lampen veel energie worden bespaard. Zeker als de door de lampen ingebrachte warmte niet direct wordt "afgelucht" om een "vlakke" temperatuurlijn te hanteren, maar benut wordt om de kas op temperatuur te houden bij hogere lichtsommen.

De vervolgonderzoeken hebben verder geleid tot nieuwe inzichten:

Bij 5 verschillende cultivars blijkt de angstvallig nageleefde korte-dag grens van 11.5 uur waarboven de aanleg van bloemen negatief beïnvloed wordt, veel minder nauw te liggen dan tot nu toe gedacht. Daglengtes van 13 uur blijken niet alleen mogelijk, maar leiden zelfs bij de licht-limiterende condities van de winter en in combinatie met lagere teelttemperaturen tot meer productie en betere kwaliteit bij gelijke lichtsom. Dit opent nieuwe mogelijkheden om de bestaande lichtinstallaties beter te benutten door ze in de winter over een langere dag te gebruiken. Ook opent dit nieuwe kansen voor het gebruik van lage intensiteit stuurlicht in het donker, zonder dat dit ten koste gaat van productie door de dagverlenging, in analogie op de resultaten die eerder zijn behaald bij Freesia (Van der Helm *et al.* 2013) en later bij Antirrhinum en Matthiola (Helm & Kromwijk, 2015).

5 Conclusies

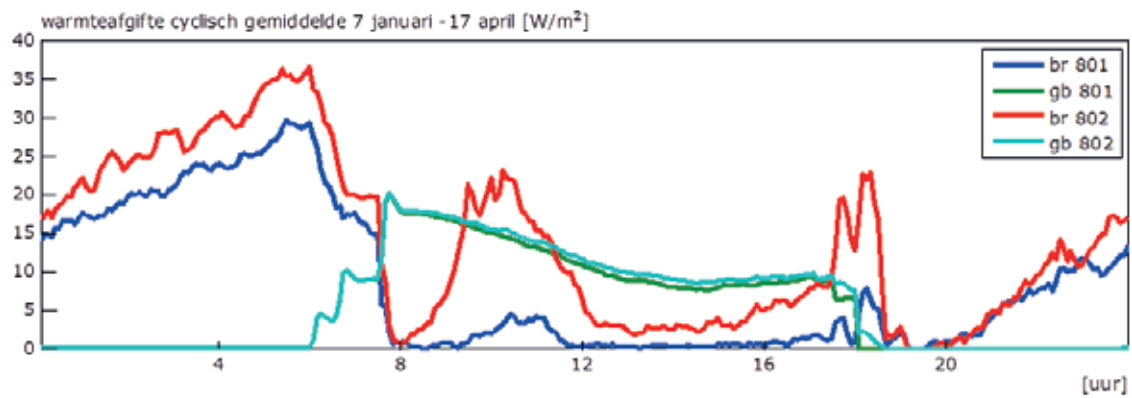
- Conform de gestelde energiedoelen, blijkt dat bij de teelt van gerbera, door gebruik te maken van LED in plaats van SON-T belichting en door 80 in plaats van 100 μmol te gebruiken, 45% energie kan worden bespaard op belichting.
- LED blijkt energetisch gezien een goed alternatief voor SON-T bij de teelt van Gerbera. De lampen zijn 25% efficiënter (meer PAR per watt_{el} elektrisch). Door de lagere warmteafgifte van de lampen, was er 9% meer warmte nodig om de kas op dezelfde temperatuur te houden. In de LED kas is wel 2.3% productie ingeleverd, waarbij de lichtbenutting door het gewas was 3% lager dan die in de SON-T kas.
- Er was geen toename van Botrytis problemen op de geoogste bloemen in de LED behandelingen; wel leek er een lagere weerbaarheid van de bloemen uit de LED kas voor kunstmatige infectie met Botrytis.
- Het gebruik van LED belichting had geen nadelig effect op de houdbaarheid van de bloemen na de oogst.
- 20% lagere lichtintensiteit zorgde voor 20% minder elektraverbruik waarbij maar 15 takken per m^2 , een bescheiden 3.9% aan productie wordt ingeleverd. De behaalde kwaliteit, uitgedrukt in bloemlengte, gewicht en bloemdiameter alsmede in % droge stof in blad en bloem, is verrassend goed, en volledig vergelijkbaar in beide lichtintensiteiten, bij 80 en 100 μmol .
- In de behandelingen met 80 μmol is het licht 6 tot 7.4% beter benut door het gewas dan de in de 100 μmol behandelingen.
- Tussenbelichting heeft niet bijgedragen aan de verwachte verbetering van de scheutuitloop. 20 μmol tussenbelichting in combinatie met 60 μmol topbelichting, LED of SON-T, leidde tot een lagere productie (ruim 9% minder bloemen). Bovendien waren de geoogste bloemen korter, lichter en hadden een kleinere diameter en een lager droge stofgehalte.
- Met lichtintegratie is in deze proef geen energie gespaard vanwege de hoge streefwaarde van de daglichtsom. Een betere keuze van de streefwaarde en betere sturing zou wel tot besparing kunnen leiden.
- De besparing van 45% elektriciteit kostte in deze proef met het ras Kimsey 6.3% productie in totaal.
- Door lichtkleuren (blauw, rood, verrood, blauw met rood, 20 μmol extra) aan de SON-T belichting toe te voegen en te gebruiken gedurende de dagperiode was er in een oriënterende praktijkproef iets meer lengte.
- De lichtkleuren blauw en rood gaven in de bovengenoemde proef een lichte productieverhoging bij het ras Suri.
- Verrood licht gaf een hoger bloemgewicht in het voorjaar, maar vanaf februari een lagere productie dan de andere toegevoegde lichtkleuren.

Literatuur

- Abidi, F., Girault, T., Douillet, O., Guillemain, G., Sintès, G., Laffaire, M., ... Leduc, N. (2013). Blue light effects on rose photosynthesis and photomorphogenesis. *Plant Biology*, 15(1), 67–74. <http://doi.org/10.1111/j.1438-8677.2012.00603.x>
- Dueck, T. A., Janse, J., Eveleens, B. A., Kempkes, F. L. K., & Marcelis, L. F. M. (2012). Growth of tomatoes under hybrid led and hps lighting. *Acta Horticulturae*, (952), 335–342. <http://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.952.42>
- Autio, J. (2000). Supplementary lighting regimes strongly affect the quantity of Gerbera flower yield. *Acta Horticulturae*. 515. 91-97.
- Eveleens, B., Van der Helm, F. en Visser, P. (2011). Literatuuronderzoek Bloei Gerbera. Verkenning informatie voor gewasgroeimodel Gerbera. Wageningen UR Glastuinbouw rapport GTB-1098
- Frechilla, S., Talbott, L.D., Bogomolni, R.A., Zeiger, E., (2000). Reversal of blue light-stimulated stomatal opening by Green Light. *Plant Cell Physiol.* 41(2): 171-176.
- Gelder, A. de, Warmenhoven, M., Dings, E., Grootcholten, M., Lekkerkerk, H., (2013). Het Nieuwe Telen: Gerbera. Efficiëntie, Economie en Energie. Wageningen UR Glastuinbouw rapport GTB-1217
- Gelder, A. de, Warmenhoven, M., van der Knaap, E., van Baar, P. H., Grootcholten, M., & van Aelst, N. (2015). Een perfecte roos Energiezuinig geteeld. Wageningen UR Glastuinbouw rapport GTB-1369.
- Helm, F. van der, Dueck, T., Pronk, H., & Penning, P. (2013). Lichtspectrum bij stuur-en groeilicht in Freesia: Indicatief praktijkonderzoek naar de effecten van stuurlicht met LED lampen en groeilicht met plasmalampen. Wageningen UR Glastuinbouw rapport GTB-1220
- Helm, F. van der, & Kromwijk, J. (2015). Lage intensiteit LED belichting in zomerbloemen en trekheesters: praktijkonderzoek naar effect van stuurlicht op vroegheid en kwaliteit. Wageningen UR Glastuinbouw rapport GTB-1348.
- Hemming, S., van Os, E., Dieleman, A., Hemming, J., Swinkels, G. J., Breuer, J., & Slangen, J. (2005). Possibilities of increasing production and quality of strawberry fruits and several flowers by new blue fluorescent greenhouse films. *Acta Horticulturae*, (691), 225–232. <http://doi.org/10.17660/ActaHortic.2005.691.26>
- Hofland-Zijlstra, J.D. ; Broek, R.C.F.M. van den; Breeuwsma, S.J. ; Wensveen, W. van; Stevens, L.H. ; Vos, R.C.H. de; Verhoef, N. ; Balk, P. (2014). Screening van genen, metabolieten en afweereiwitten betrokken bij natuurlijke afweer tegen Botrytis. Wageningen UR Glastuinbouw rapport GTB-1328.
- Jeong, S. W., Hogewoning, S. W., & van Ieperen, W. (2014). Responses of supplemental blue light on flowering and stem extension growth of cut chrysanthemum. *Scientia Horticulturae*, 165, 69–74. <http://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.11.006>
- Leffring, L. (1984). Influence of temperature on the morphology and flower production of gerbera cultivars. *Acta Horticulturae*, (148), 575–580. <http://doi.org/10.17660/ActaHortic.1984.148.74>
- Maas, F., & Bakx, E. (1995). Effects of light on growth and flowering of Rosa hybrida 'Mercedes'. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 120(4), 571–576.
- Maaswinkel, R. (2012). Verrassend effect verrood licht bij pluischrysaant (Ruud Maaswinkel tijdens een bijeenkomst in Bleiswijk). Vakblad Voor de Bloemisterij.
- Reid, M.S., Kofranek, A.M. (1981). Recommendations for standardized vase life evaluations. *Acta Horticulturae*. (ISHS) 113:171-174
- Spaargaren, J., & Schröder, H. (2000). Belichting van tuinbouwgewassen.
- Trouwborst, G., Pot, C., & Schapendonk, A. (2010). Haalbaarheid van LED-tussenbelichting bij roos: praktijkonderzoek op Marjoland.

- Velden, P. van, Hofland-Zijlstra J.D., L. Stevens (2014)
 Juiste kleur van het licht geeft de plant een opkikker : Onderzoek toont relatie licht en plantweerbaarheid aan (2014). Onder Glas 11 (11). - p. 25 - 27.
- Visser, P., Van der Helm, F., Buwalda, F., Lagas, P. (2014).
 Groeimodel Gerbera. Eindrapport van teeltproef en ontwikkeling van een groeimodel voor de gerbera. Wageningen UR Glastuinbouw rapport GTB-1311
- Wessels, G., en Verberkt, H., (2005).
 Invloed van lichtintensiteit en daglengte op de productie van Gerbera. DLV Facet, Wageningen.
- Wubs, A., Heuvelink, E., & Marcelis, L. (2012).
 Disentangling the Effect of Light Quantity and Light Quality on Bud Break in a Rose Crop. Proceedings of the 7th International Symposium on Light in Horticultural Systems, 190.
- Zwart, H.F. de (1996).
 Analyzing energy-saving options in greenhouse cultivation using a simulation model. IMAG-DLO rapport 96-05.

Bijlage 1 Warmtevraag



- Voor correctie
- LED kas meer warmte vraag in de nacht
- LED vraagt meer buis bij openen van het scherm

Bijlage 2 Destructieve plant waarnemingen

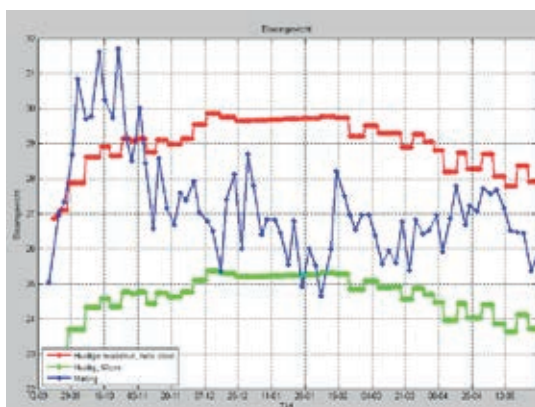
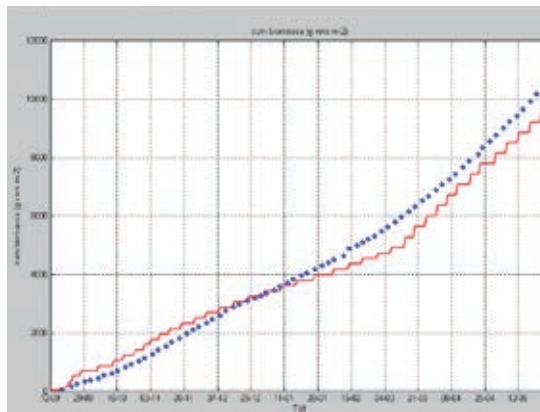
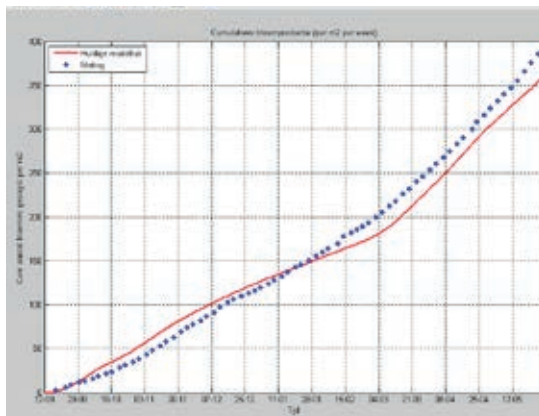
Ras: Kimsey. Getoonde data is gemiddeld van 8 planten per behandeling.

Afdeling	lichtbron	intensiteit	aantal scheuten / plant	Aantal blad/ plant	Aantal bloem/ plant	Gewicht dood blad (g)	Gewicht vers blad (g)	Gewicht vers bloem (g)
8.01	SON-T	60 + 20	7.4	66.5	11.1	44.6	415.1	98.2
8.01	SON-T	80	6.1	62.5	11.1	38.3	368.1	96.6
8.01	SON-T	100	7.1	62.0	8.8	43.1	367.4	84.7
8.02	LED	60 + 20	7.3	64.8	10.0	54.8	403.4	73.2
8.02	LED	80	7.5	69.9	10.1	37.3	488.3	107.2
8.02	LED	100	6.6	63.6	10.8	41.8	464.2	120.0

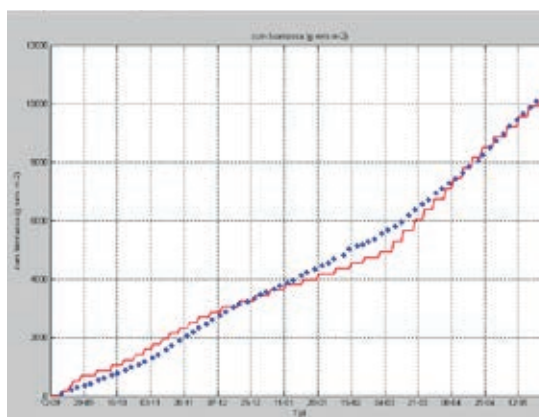
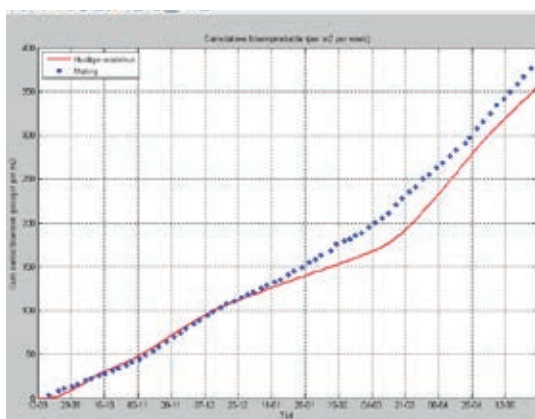
Afdeling	lichtbron	intensiteit	Blad oppervlak (cm ²)	Gewicht blad droog (g)	Gewicht bloem droog (g)	% ds blad	% ds bloem
8.01	SON-T	60 + 20	7282	45.2	11.7	10.9	12.5
8.01	SON-T	80	6599	40.6	10.3	11.1	10.6
8.01	SON-T	100	6367	42.3	9.4	11.5	11.1
8.02	LED	60 + 20	7096	43.7	7.9	10.9	10.8
8.02	LED	80	8549	52.9	11.7	10.8	11.0
8.02	LED	100	7635	49.0	12.9	10.5	10.6

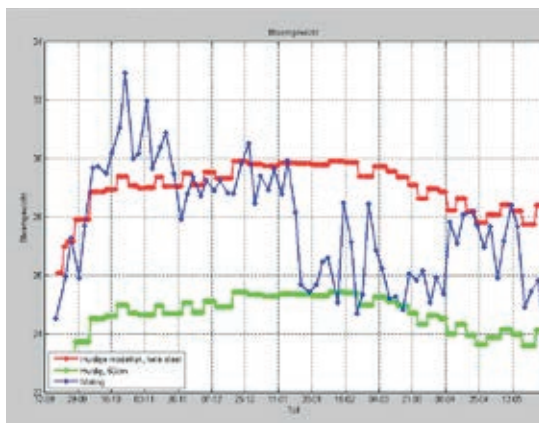
Bijlage 3 Overeenkomst groeimodel met proefresultaten

Vergelijking model met de 80 μmol SON-T behandeling

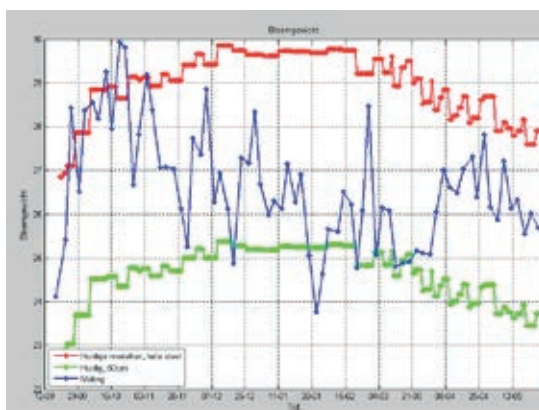
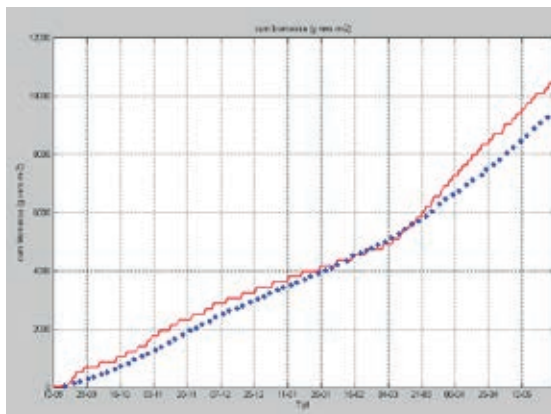
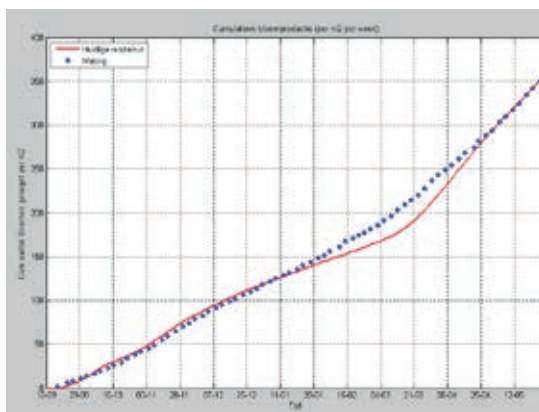


Vergelijking model met de 80 μmol LED behandeling

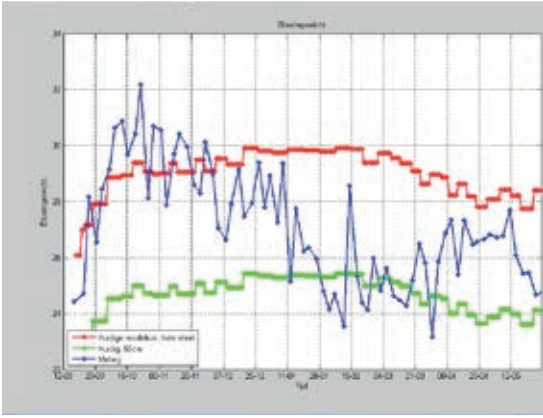
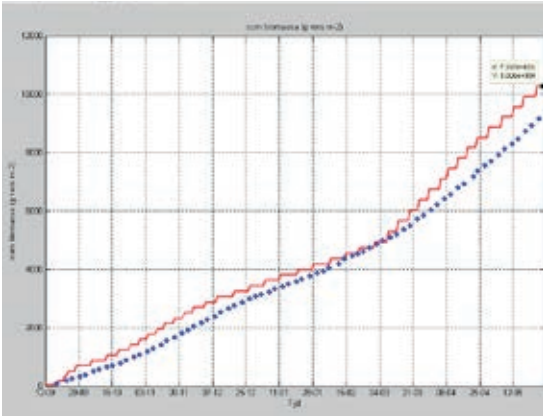
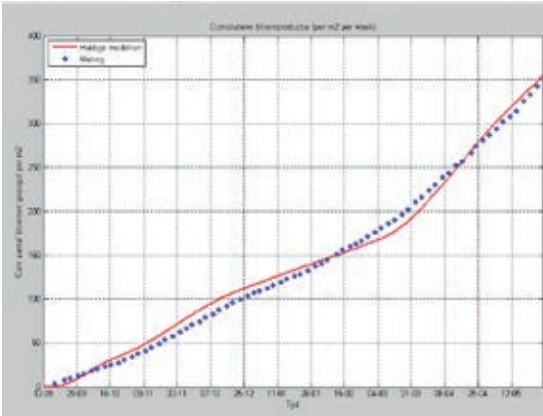




Vergelijking model met de 60+20 μmol SON-T behandeling



Vergelijking model met de LED 60+20 µmol behandeling



To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Wageningen UR Glastuinbouw
Postbus 20
2665 ZG Bleiswijk
Violierenweg 1
2665 MV Bleiswijk
T +31 (0)317 48 56 06
F +31 (0) 10 522 51 93
www.wageningenur.nl/glastuinbouw

Glastuinbouw Rapport GTB-1389

Wageningen UR Glastuinbouw initieert en stimuleert de ontwikkeling van innovaties gericht op een duurzame glastuinbouw en de kwaliteit van leven. Dat doen wij door toepassingsgericht onderzoek, samen met partners uit de glastuinbouw, toeleverende industrie, veredeling, wetenschap en de overheid.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.