

Efficiëntie van LED-belichting bij roos

Fleur Sterk, Leo Marcelis, Gert-Jan Swinkels, Mary Warmenhoven,
Johan Steenhuizen, Rosaline Zuurbier & Tom Dueck





WAGENINGEN **UR**

For quality of life

Efficiëntie van LED-belichting bij roos

Fleur Sterk, Leo Marcelis, Gert-Jan Swinkels, Mary Warmenhoven, Johan Steenhuizen,
Rosaline Zuurbier & Tom Dueck

© 2009 Wageningen, Wageningen UR Glastuinbouw

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Wageningen UR Glastuinbouw



Ministerie van Landbouw, Natuur en
Voedselkwaliteit



Wageningen UR Glastuinbouw

Adres : Droevendaalsesteeg 1, 6708 PB Wageningen
: Postbus 16, 6700 AA Wageningen
Tel. : 0317 - 48 60 01
Fax : 0317 - 41 80 94
E-mail : glastuinbouw@wur.nl
Internet : www.glastuinbouw.wur.nl

Inhoudsopgave

	pagina
Samenvatting	1
1 Voorwoord	3
2 Inleiding	5
3 Methodologie	7
3.1 Proefopzet	7
3.2 Klimaat- en gewasregistratie	8
4 Resultaten en Discussie	13
4.1 Licht	13
4.1.1 Lichtintensiteit	13
4.1.2 Lichtspectrum	13
4.2 Productie	14
4.2.1 Aantal en gewicht van bloemtakken	14
4.2.2 Kwaliteit	17
4.3 Gewasgroei	20
4.3.1 Gewas temperatuur	20
4.3.2 Uitgroeiduur	21
4.3.3 Drogestofgehaltes	22
4.3.4 Aantal bladeren	24
4.3.5 Bladoppervlakte	24
4.3.6 Specifieke bladoppervlakte	25
4.3.7 Fotosynthese	27
4.4 Praktijkbevindingen	28
5 Conclusies	29
6 Referenties	31
Bijlage I. Aanvullende informatie	1 p.

Samenvatting

In het kader van 'Kas als Energiebron : Licht', is een studie uitgevoerd naar de invloeden van LED-belichting op de teelt van rozen in de praktijk. Het onderzoek, waarbij gefocust werd op klimaat- en gewasmetingen, werd uitgevoerd op het praktijkbedrijf Zuurbier & Co Rozenkwekerijen B.V. aan de cultivar Prestige.

Teelt onder LED en SON-T boven- en tussenbelichting zijn met elkaar vergeleken. Lichtintensiteit van de LED bovenbelichting was $105 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, een intensiteit die overeenkomt met conventionele SON-T-belichting.

Telen onder LED-bovenbelichting leverde tussen januari en maart een hogere productie per mol PAR op, zowel in aantal takken, als in het totaal gewicht van de takken. Het verschil werd kleiner naarmate het natuurlijk licht toenam.

Het individuele taggewicht (gewicht per tak) was verhoogd onder SON-T-boven met LED-tussenbelichting.

Loosvorming kwam minder voor onder LED-belichting.

Het effect van LED-belichting op uitgroeiduur, drogestof gehalten en drogestof verdeling was zo goed als afwezig. Bladoppervlakte per gram droge stof was het laagst onder LED-belichting zonder SON-T.

Gewastemperatuur was tussen januari en april hoger onder SON-T. Bij lage buitentemperaturen moest de gewastemperatuur onder LED-belichting verhoogd worden met een extra verwarmingsbuis boven het gewas, anders ontstonden er 'vochtblaadjes'.

De verhoogde productie onder LED-belichting kan deels verklaard worden door een hogere huidmondjes geleidbaarheid en actuele bladfotosynthese. Uitgebreidere fotosynthesemetingen lieten zien dat bladfotosynthese in cultivar Prestige piekt tussen 625 nm en 660 nm, rood licht, en dat planten geteeld onder LED-belichting een hogere fotosynthese efficiëntie hebben tussen 550nm en 660nm.

Uit dit onderzoek blijkt dat LED-belichting een positief effect heeft op de productie en kwaliteit van rozen van het cultivar Prestige.

Het effect van LED-belichting op voorraadstoffen, individueel taggewicht, loosvorming en energiegebruik in de rozenteelt vraagt nader onderzoek onder meer gecontroleerde omstandigheden.

1 Voorwoord

In het kader van 'Kas als Energiebron : Licht', is een studie uitgevoerd naar de invloeden van LED-belichting op de teelt van rozen in de praktijk. Het onderzoek, waarbij gefocust werd op klimaat- en gewasmetingen, werd uitgevoerd op het praktijkbedrijf Zuurbier & Co Rozenkwekerijen B.V.. In dit rapport zijn de resultaten van de effecten van LED-belichting op kwantumefficiëntie, productie, productkwaliteit en gewasgroei gekwantificeerd. Het is uitgevoerd door Wageningen UR Glastuinbouw in samenwerking met het bedrijf Zuurbier & Co Rozenkwekerijen B.V. en werd gefinancierd door het Ministerie van LNV en het Productschap Tuinbouw.

Fleur Sterk
Wageningen UR Glastuinbouw

2 Inleiding

Vanwege de toenemende belangstelling voor LED-belichting in de glastuinbouw, wordt er op praktijkbedrijven steeds meer geëxperimenteerd met LEDs in de kas onder praktijkomstandigheden. Men vergelijkt daarbij een gewas dat is geteeld onder LED-belichting met gewas dat is geteeld onder SON-T-belichting. In veel van die vergelijkingen is in het verleden een lagere intensiteit LED-belichting vergeleken met een hoge intensiteit SON-T-belichting. Voor een goede vergelijking tussen LED- en SON-T-belichting zou men bij gelijke of tenminste nagenoeg gelijke lichtintensiteit moeten telen.

Productie in het gewas roos is voornamelijk afhankelijk van licht, zolang de temperatuur niet te hoog oploopt. De lage lichtintensiteit die men in voorgaande jaren realiseerde met LEDs was per definitie onvoldoende voor een goede roosproductie. Met hoge lichtintensiteit LED-belichting, vergelijkbaar met dat van SON-T-belichting, kan het effect van LED-belichting op rozen objectief onderzocht worden.

Omdat de productie van roos afhankelijk is van licht wordt er veel en langdurig bijbelicht. Door bijbelichting stijgt de temperatuur en er moet dus veel gelucht worden. Door het luchten verliest men echter niet alleen warmte, maar ook CO₂. LEDs produceren geen nabij infrarode straling (NIR), waardoor ze het gewas nauwelijks verwarmen en de warmte die wordt geproduceerd door de LEDs kan worden afgevoerd met een koelingssysteem. Met LED bijbelichting is het mogelijk een lagere planttemperatuur te realiseren, minder warmte af te luchten en meer CO₂ in kas te houden en benutten.

Er zijn nu LED-armaturen op de markt die hoge lichtintensiteiten produceren, die verschillende combinaties kleuren kunnen bevatten, die gekoeld kunnen worden en die zowel boven als tussen het gewas gemonteerd kunnen worden. In het afgelopen belichtingseizoen is onderzoek verricht op een praktijkbedrijf dat gebruik maakt van zulke LED-armaturen bij de teelt van rozen. In dit rapport worden de resultaten van de metingen en waarnemingen bij het praktijkbedrijf weergegeven. De resultaten moeten meer inzicht geven in de invloeden en mogelijkheden van LED-belichting voor roos in de praktijk. De teelt onder LED-belichting wordt vergeleken met de teelt onder SON-T-belichting, waarbij onderscheid wordt gemaakt in de teelten met en zonder tussenbelichting.

3 Methodologie

Om het onderzoek uit te voeren zijn betrouwbare input data nodig van de belichtingstijden en tijd waarop het licht aan/uit gaat, alsook betrouwbare gewasregistraties. Dit project wordt uitgevoerd op een praktijkbedrijf. De teler van het betreffende bedrijf heeft toegezegd deze gegevens aan te leveren.

3.1 Proefopzet

De metingen zijn uitgevoerd bij het bedrijf Zuurbier & Co Rozenkwekerijen B.V. in Heerhugowaard (Figuur I-1, Bijlage I). De metingen zijn verricht aan een voorjaarsteelt grootbloemige rode rozen van het ras Prestige, 8 planten m^2 (2560 planten per proefvak). Het gewas was 18 maanden oud bij aanvang van de proef. De proefduur was 4 maanden.

Op het bedrijf werden verschillende behandelingen toegepast door belichting boven en tussen een aantal rijen van het gewas op te hangen. De behandelingen zijn allemaal in één kasafdeling gelegen. Het totale oppervlak van de proef was 1280 m^2 , opgedeeld in 4 proefvakken van 320 m^2 . Elke proefvak bestond uit 4 bedden, 2 rijen per bed. De invloed van strooilicht tussen proefvakken werd voorkomen door een verticaal scherm tussen de proefvakken op te hangen. Twee rijen middenin elke proefvak dienden als telvakken (duplo opzet).

Er zijn vier lichtbehandelingen toegepast (Tabel 1):

1. SON-T boven het gewas (referentie belichting);
2. LEDs boven het gewas;
3. SON-T boven het gewas met LEDs tussen het gewas;
4. LEDs boven het gewas met LEDs tussen het gewas.

De SON-T verlichting boven het gewas produceerde 93 $\mu\text{mol PAR m}^2 \text{ s}^{-1}$ net boven het gewas.

De LED-verlichting boven het gewas, op dezelfde hoogte als de SON-T verlichting, produceerde 105 $\mu\text{mol PAR m}^2 \text{ s}^{-1}$ net boven het gewas. Elk LED-armatuur bestond uit 57 rode LEDs en 3 blauwe LEDs; 1 armatuur per m^2 . De armaturen hingen op dezelfde hoogte als de SON-T lampen. Er was een homogeen lichtplan. De LED-verlichting werd gekoeld tot ca. 20°C door middel van in de armaturen geïntegreerde waterleidingen.

De LED-verlichting tussen het gewas produceerde ongeveer 30 $\mu\text{mol PAR m}^2 \text{ s}^{-1}$. De tussenbelichting bestond uit uitsluitend rode LEDs. De armaturen hingen in het midden van elk bed tussen de plantenrijen, 50cm boven het ingebogen bladpakket. Dat betekende in de praktijk dat er een streng LED-armaturen ter hoogte van de bloemknoppen hing. De LED-verlichting werd gekoeld tot ca. 20°C door middel van in de armaturen geïntegreerde waterleidingen.

Tabel 1. Behandelingen per proefvak ($\mu\text{mol PAR m}^2 \text{ s}^{-1}$).

Behandeling	SON-T	LEDs-hoog	LEDs-laag
Vak 1	93		SON-T
Vak 2		105	LED
Vak 3	93		SON-T + led
Vak 4		105	LED + led

3.2 Klimaat- en gewasregistratie

De klimaat- en gewasregistratie is door het bedrijf Zuurbier & Co Rozenkwekerijen B.V. uitgevoerd volgens een vast protocol. De verkregen data is vervolgens door WUR Glastuinbouw geanalyseerd.

PAR niveau

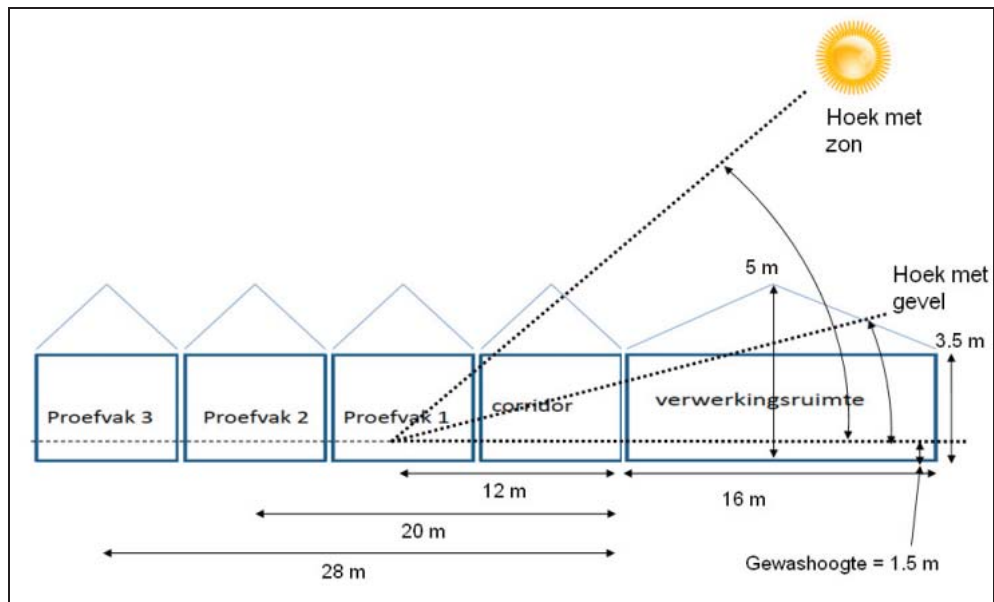
PAR licht geproduceerd door de lampen is gemeten: op 27-28 mei. De metingen zijn uitgevoerd net boven de LED-tussenverlichting, ter hoogte van de bloemknoppen, zowel boven als naast de telvakken.

De lichtintensiteitsmetingen zijn uitgevoerd net boven de LED-tussenverlichting. De lichtintensiteit van de tussenbelichting hebben wij afgeleid uit Lemnis meetgegevens van Zuurbier & Co Rozenkwekerijen B.V.. Volgens Lemnis produceerden vier strengen LEDarmaturen $40 \mu\text{mol PAR m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. De tussenbelichting bestond uit drie strengen LEDarmaturen. Lichtintensiteit is daarom geschat op $30 \mu\text{mol PAR m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Aangezien in SON-T een ander lichtregime aangehouden werd dan in de overige drie behandelingen hebben wij twee methodes toegepast om de lichtsom van de lampen te bepalen. Voor SON-T is het aan- en uitschakelen van de lampen continu geregistreerd. Deze registratiegegevens zijn gecombineerd met de lichtintensiteit onder SON-T om de lichtsom van de lampen per dag te berekenen. Voor LED, SON-T + led en LED + led bleek de registratie niet betrouwbaar, omdat de LED-verlichting in januari nog geregeld uitviel. Ter indicatie van het aan- en uitschakelen van de lampen is er een vergelijking gemaakt tussen de continu gemeten PAR niveaus boven het gewas en de continu gemeten buitenstraling. De berekende branduren zijn gecombineerd met de lichtintensiteit om de lichtsom van de lampen per dag te berekenen. Vanwege een storing in de klimaatregistratie tussen 15 maart en 10 april hebben wij voor die periode gebruik gemaakt van stralingsdata uit de Wieringermeer. Het totaal aantal branduren was hoger bij SON-T (1856 uur) dan bij de drie andere behandelingen (1497 uur).

Omdat de proef naast een verwerkingsruimte lag (Figuur 1) was er in de behandelingen in meer of mindere mate sprake van beschaduwing. Om de mate van beschaduwing te berekenen hebben wij gebruik gemaakt van globale stralings- en bewolgingsregistraties. De meteomast op het bedrijf zelf registreert geen bewolking, dus we hebben gebruik gemaakt van de KNMI registraties in De Bilt (80 km verderop).

Voor het berekenen van de ongunstige invloed van de verwerkingsruimte op de hoeveelheid natuurlijk licht in de proefvakken is een opsplitsing gemaakt in directe en diffuse straling. Voor de gehele meetperiode van het experiment is voor elk tijdstip, op basis van de positie van de zon, de reductiefactor voor direct berekend en vermenigvuldigd met de gemeten directe straling. Voor diffuse straling wordt dezelfde procedure gevolgd met een vaste reductiefactor. Op deze manier is het stralingsverlies op elk tijdstip bekend.



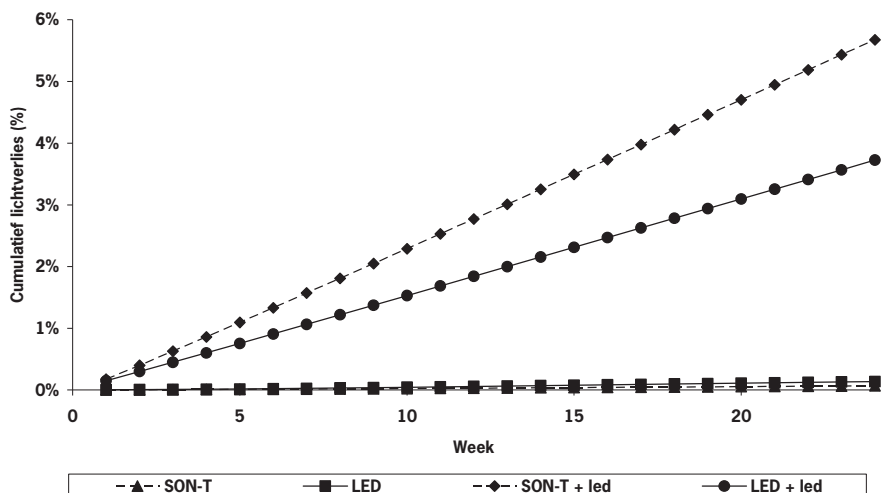
Figuur 1. Situatieschets van verwerkingsruimte, corridor en de eerste 3 proefvakken.

Voor het verlies aan diffuse straling is het door de gevel afgeschermd oppervlak van de hemelkoepel berekend. Dit oppervlak is gewogen naar de hoeveelheid diffuse straling voor dat oppervlak. De lengte van de proefvakken, corridor en verwerkingsruimte zijn als oneindig lang beschouwd. Voor alle proefvakken geldt dat de hemelkoepel wordt begrensd door de nok van de verwerkingsruimte op minimaal 20 m afstand (proefvak 1).

Voor het verlies aan directe straling is voor elk tijdstip van de meetperiode de verticale hoek tussen het midden van het proefvak en zowel de zon als de verwerkingsruimte berekend. De hoek tussen de proefvakken en de verwerkingsruimte wordt voor alle proefvakken bepaald door de nok en niet de gevel. Op tijden dat de hoek met de zon groter is dan de hoek met de nok ontvangt het proefvak direct licht. Tijdens de overige perioden ontvangt het proefvak geen direct licht.

Voor het berekenen van de hoeken is rekening gehouden met de oriëntatie van de kas ten opzichte van Noord-Zuid. De lengte van de proefvakken, corridor en verwerkingsruimte zijn als oneindig lang beschouwd.

Het verlies aan globale straling is de som van de directe en diffuse stralingsreductie. Op basis van de stralingsgegevens van het KNMI zijn de reductiefactoren voor diffuse en directe straling omgerekend naar percentage stralingsverlies. In Figuur 2 en Tabel 2 is het percentage stralingsverlies ten gevolge van de verwerkingsruimte weergegeven. Op zonnige dagen en bij laagstaande zon (voorjaar) was het verschil in percentage stralingsverlies tussen de behandelingen het grootst. De percentages zijn met de werkelijke straling verrekend om tot het absolute stralingsverlies te komen.



Figuur 2. Cumulatief percentage stralingsverlies voor de vier behandelingen ten gevolge van de verwerkingsruimte.

Tabel 2. Totaal percentage stralingsverlies tussen 1 januari en 14 juni ten gevolge van de verwerkingsruimte.

Behandeling	Totaal stralingsverlies (%)
SON-T + led	5.67
LED + led	3.73
LED	0.14
SON-T	0.07

Actiespectra

Actiespectra zijn gemeten op 2 en 3 april 2009 aan 5 bladeren geteeld onder SON-T en 6 bladeren geteeld onder LED-belichting.

De opstelling voor het meten van het spectrum van de fotosynthese in de kas (Figuur 3) bestaat uit een Licor Li-6400XT draagbare fotosynthesemeter uitgebreid met een in het project ontwikkelde meerkleuren LED-array (Snel, 2009, in voorbereiding). Fotosynthese is gemeten bij 10 verschillende golflengten tussen 400 en 740 nm: 405, 435, 470, 505, 525, 570, 625, 660, 700 en 740nm.

Fotosynthesemeting:

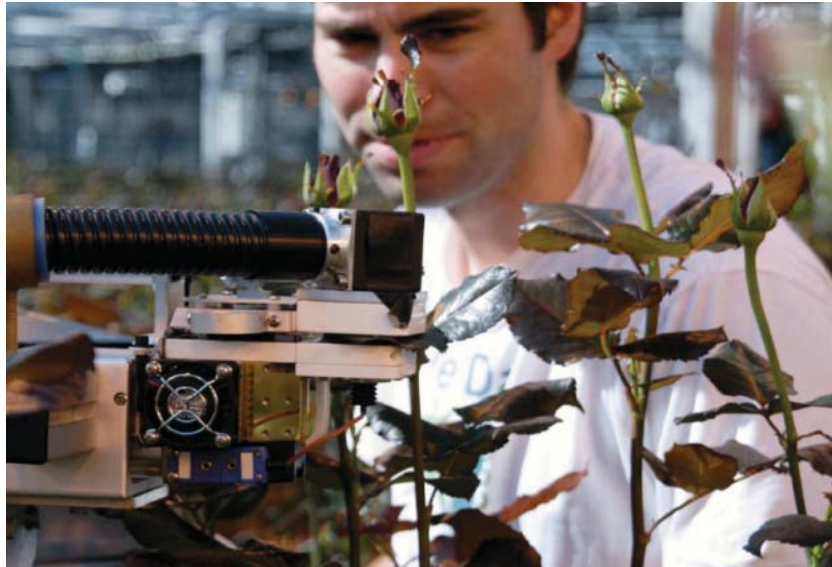
1. Aanpassing blad aan cuvet gedurende 5-10 min $70 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ wit referentielicht;
2. Meting fotosynthese bij $70 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ wit referentielicht gedurende 3 minuten;
3. Meting (5x) bij $30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ wit achtergrondlicht + $40 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ LED-licht gedurende 3 minuten;
4. Meting fotosynthese bij $70 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ wit referentielicht gedurende 3 minuten;
5. Meting (5x) bij $30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ wit achtergrondlicht + $40 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ LED-licht gedurende 3 minuten;
6. Meting fotosynthese bij $70 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ wit referentielicht gedurende 3 minuten;
7. Meting fotosynthese bij $30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ wit achtergrondlicht gedurende 3 minuten;
8. Meting ademhaling gedurende 5 minuten

De relatieve fotosynthese per μmol opvallend licht van een bepaalde golflengte werd als volgt berekend:

$$\text{Relatieve fotosynthese}_{\text{LED-licht}} = (P_{\text{LED-licht}} - P_{\text{achtergrondlicht}}) / (P_{\text{referentielicht}} - P_{\text{achtergrondlicht}}) / \mu\text{mol opvallend LED-licht.}$$

Vervolgens is de relatieve kwantum efficiëntie berekend door de hoogste waarde van alle gemeten golflengten op 1 te stellen en de rest te relativeren ten opzichte van deze hoogste waarde.

De klimaatcondities tijdens de meting waren: $23 \pm 1^\circ\text{C}$, $\text{RV } 65 \pm 5\%$ en de CO_2 concentratie $613 \pm 3 \text{ ppm}$.



Figuur 3. Mobiele opstelling voor het meten van het spectrum van de fotosynthese. De foto is genomen in de kas van Zuurbier & Co Rozenkwekerijen B.V. aan het begin van de metingen in april 2009.

Productie bloemtakken

Productie is dagelijks geregistreerd: het aantal geoogste stelen, de gemiddelde lengte van geoogste stelen en het geoogst gewicht.

Gewastemperatuur

Gewastemperatuur is continu gemeten in behandeling SON-T en LED met twee temperatuurcamera's (Figuur 4). Ter calibratie van de camera's zijn gedurende enkele dagen parallelmetingen uitgevoerd. De temperatuurcamera's zijn op basis van de parallelmetingen gekalibreerd.



Figuur 4. Gewastemperatuur meting.

Uitgroeiduur bloemtakken

Uitgroeiduur van de bloemtakken is drie maal gemeten: vanaf 16 januari, 27 februari en 29 april. Per keer zijn 15 tot 30 scheutjes van 6 a 7 cm gelabeld. Bij oogst is het verschil tussen oogstdatum en labeldatum geregistreerd. Loze takken zijn niet meegenomen in de berekeningen.

Loosvorming bloemtakken

Loosvorming van bloemtakken is negen maal gemeten: wekelijks vanaf begin februari tot en met half april.

Drogestof gehaltes

Het vers- en drooggewicht van bladeren, takken en knoppen per geogoste bloemtak is drie maal gemeten: op 28 januari, 30 maart en 29 april.

Aantal bladeren

Het aantal bladeren per bloemtak is drie maal gemeten: op 28 januari, 30 maart en 29 april.

Bladoppervlakte

Het bladoppervlak per bloemtak is drie maal gemeten: op 28 januari, 30 maart en 29 april.

Specifieke bladoppervlakte

Het bladoppervlak van een bloemtak gedeeld door het bijbehorende bladdrooggewicht.

Fotosynthesecapaciteit

Fotosynthesecapaciteit bij toenemende lichtintensiteit is drie maal gemeten: op 3-4 februari. De metingen zijn uitgevoerd op de net volgroeide (vijfledige) bladeren van de bloemtakken.

De fotosynthesecapaciteit werd gemeten met een draagbare fotosynthesemeter (LCpro+, ADC, Hoddesdon, Verenigd Koninkrijk) met een bladkamer van 6.25 cm². Door te meten onder vaste klimaatcondities (ongeveer 900 ppm CO₂, 25°C en 85% RV) in de bladkamer en toenemende lichtintensiteiten wordt de fotosynthese *capaciteit* gemeten; dat wil zeggen dat de hoeveelheid CO₂ die het blad opneemt (en vervolgens kan gebruiken om suikers te produceren) gemeten wordt onder deze specifieke condities. Dit maakt het mogelijk om alle metingen gedurende de dag en in de verschillende proefvakken onderling te vergelijken.

Overig kasklimaat

Watergift en drain, temperatuur, vochtigheid en CO₂ concentratie in de kas en vochtgehalte, EC en temperatuur van het substraat zijn continu gemeten met meetboxen en WET sensoren. Deze gegevens zijn gebruikt ter ondersteuning van de teelt. Opmerkelijke klimaatverschillen tussen de behandelingen worden besproken in het hoofdstuk 'Resultaten en Discussie'.

4 Resultaten en Discussie

4.1 Licht

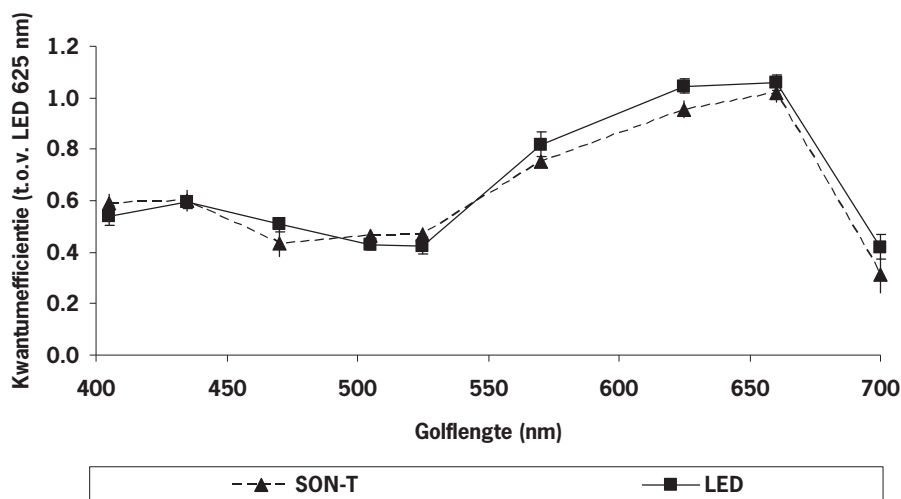
4.1.1 Lichtintensiteit

Om een objectieve vergelijking te maken tussen SON-T en LEDs moest de lichtintensiteit van de SON-T en de LED-bovenverlichting gelijk zijn. Aan het begin van de proef zijn lichtmetingen uitgevoerd door leveranciers. Uit deze metingen bleek, volgens de bedrijfsmanager van Zuurbier & Co Rozenkwekerijen B.V., dat lichtintensiteit bij SON-T en LED gelijk was. Uit metingen die wij zelf in mei hebben uitgevoerd tijdens de proef, bleek dat het verschil 11% was; SON-T produceerde 95 in plaats van de beoogde 110 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. De bedrijfsmanager denkt dat het verschil tussen de metingen te wijten is aan veroudering van de SON-T lampen.

4.1.2 Lichtspectrum

Parallel aan dit onderzoek hebben wij een uitgebreid onderzoek naar de fotosynthese-eigenschappen van hetzelfde gewas uitgevoerd (Snel, 2009 #370, in voorbereiding). De hoofdconclusies aangaande lichtspectrum (Figuur 5) waren:

- Er is een lage efficiëntie van de bladfotosynthese tussen 400 nm en 550 nm,
- Bladfotosynthese vertoont een duidelijke piek in het rood, tussen 625 nm en 660 nm,
- Bladeren van planten opgekweekt onder LED-belichting hebben tussen 550nm en 660nm een iets hogere efficiëntie van de fotosynthese dan bladeren van planten opgekweekt onder SON-T.



Figuur 5. Spectrum van de kwantumefficiëntie van de bladfotosynthese berekend op basis van geabsorbeerd licht. Verticale lijnen geven de standaardfout aan.

4.2 Productie

4.2.1 Aantal en gewicht van bloemtakken

Voor de analyses is gebruik gemaakt van de productiedata tussen 1 januari en 15 juni.

4.2.1.1 Aantal en gewicht van bloemtakken per m²

Het aantal geogoste bloemtakken was het hoogst onder LED bovenbelichting met LED tussenbelichting (LED + led) en het laagst onder SON-T bovenbelichting met LED tussenbelichting (SON-T + led) (Tabel 3). Er was geen verschil in het aantal geogoste takken tussen SON-T bovenbelichting (SON-T) en LED bovenbelichting (LED).

Het gewicht van de geogoste bloemtakken was het hoogst onder LED + led-belichting. Het gewicht was ook enigszins verhoogd onder SON-T + led-belichting. Er was geen verschil in gewicht tussen SON-T en LED.

Tabel 3. Gemiddeld aantal en gewicht geogoste bloemtakken per vierkante meter per dag onder SON-T- en LED-belichting (\pm standaardfout).

Behandeling	Aantal (m ²)	Gewicht (g m ⁻²)
SON-T	0.82 \pm 0.03	29 \pm 1.1
LED	0.83 \pm 0.03	29 \pm 1.1
SON-T + led	0.79 \pm 0.03	31 \pm 1
LED + led	0.95 \pm 0.03	34 \pm 1.1

4.2.1.2 Aantal en gewicht van bloemtakken per mol PAR

De productiedata per vierkante meter geven echter een vertekend beeld, omdat de natuurlijke en de lichtsom van de lampen verschilde tussen de behandelingen (Tabel 4). Het effect van het verschil in lamplicht nam af met de tijd.

Tabel 4. Totale lichtsom (mol m²) en percentage lamplicht onder SON-T- en LED-belichting van 1 januari (week 1) tot en met 21 maart (week 12) en van 1 januari tot en met 14 juni (week 24).

	SON-T	LED	SON-T + led	LED + led
t/m 21 Maart				
Totale lichtsom	932	849	965	971
Lamplicht	55%	51%	57%	57%
t/m 14 Juni				
Totale lichtsom	2795	2731	2892	2908
Lamplicht	25%	23%	27%	28%

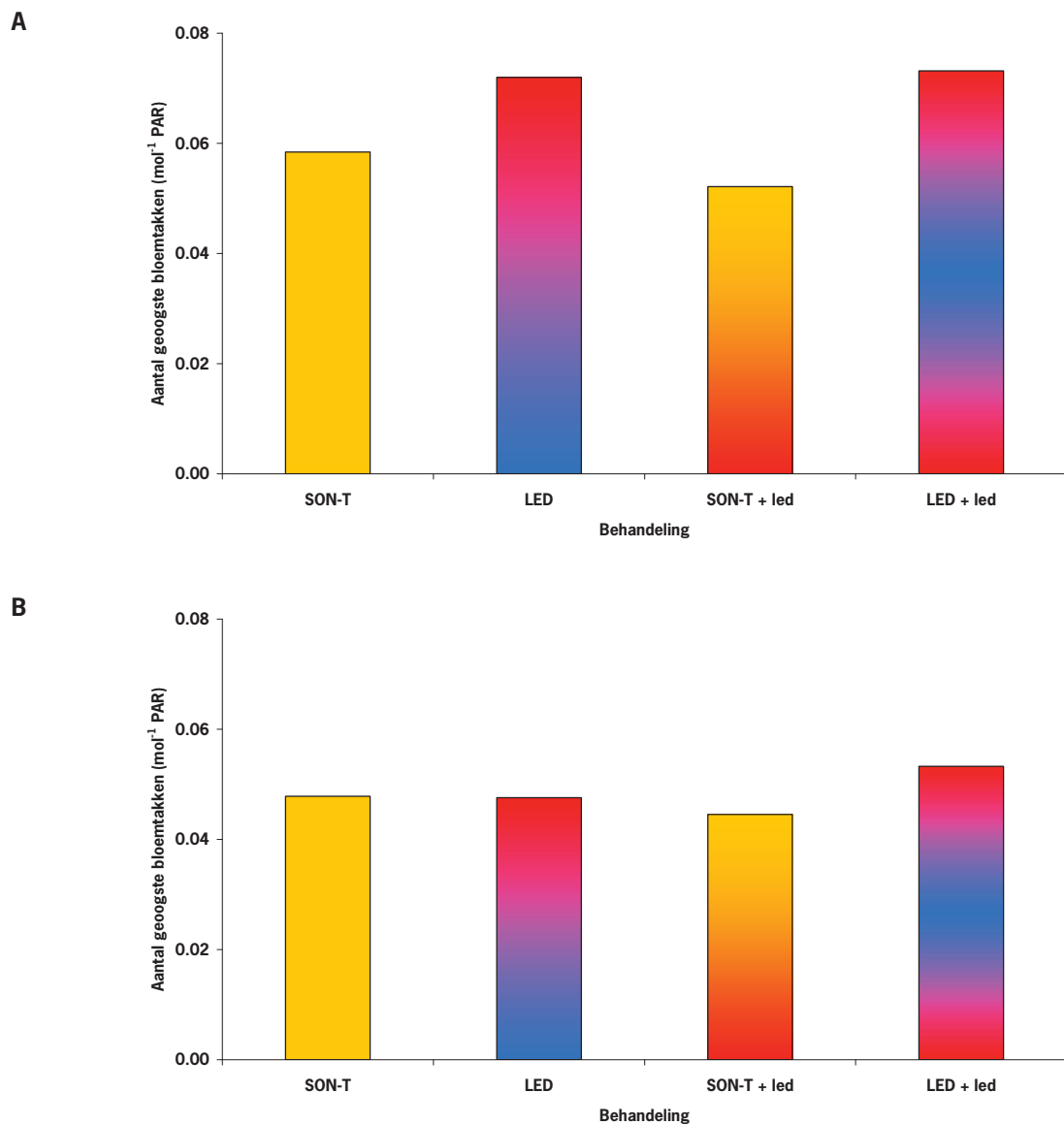
Productie per mol PAR geeft een objectiever beeld.

Tussen 1 januari en 21 maart resulteerde LED-belichting in een hoger aantal en een hoger gewicht van de geogoste bloemtakken per mol PAR in vergelijking met SON-T (Figuur 6A en 7A). Onder LED + led-belichting was zowel het

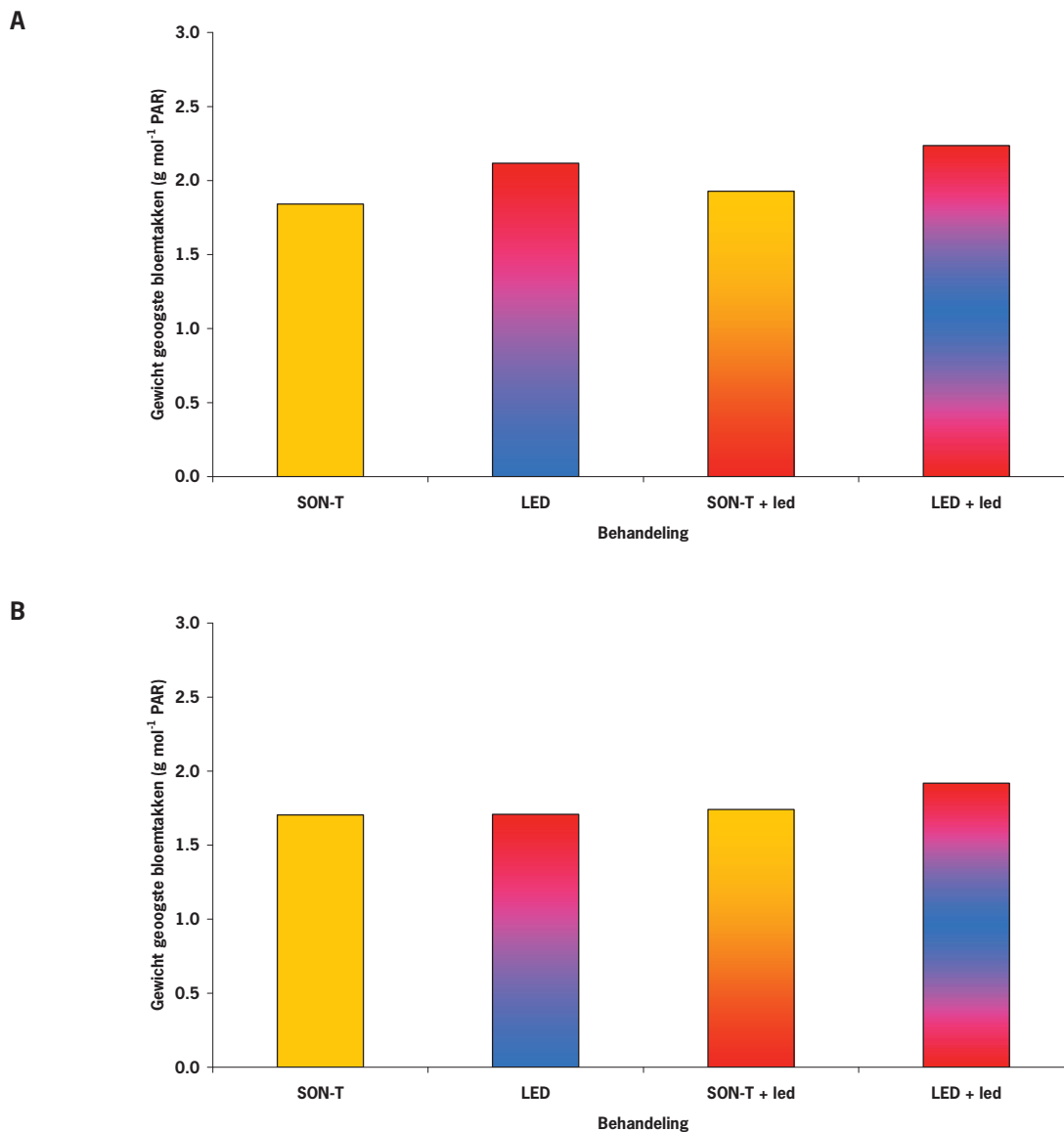
aantal als het gewicht per mol PAR het hoogst. Tussenbelichting veroorzaakte een afname van 12% in aantal per mol PAR wanneer gecombineerd met SON-T en een toename van 2% wanneer gecombineerd met LED bovenbelichting. Op gewicht had tussenbelichting een eenduidig effect; het veroorzaakte 15 tot 16% toename in gewicht per mol PAR.

Het positieve effect van LED-belichting op het aantal geoogste bloemtakken heeft mogelijk te maken met de verhoogde rood/verrood verhouding in de belichting (Moe, 1988; Zieslin, Mor, 1990).

Tussen 1 januari en 14 juni waren de verschillen in productie per mol PAR veel kleiner en tussen SON-T en LED was het verschil zelfs helemaal weg.



Figuur 6. Aantal geoogste bloemtakken per mol PAR onder SON-T- en LED-belichting. (A) 1 januari tot en met 21 maart, (B) 1 januari tot en met 14 juni.



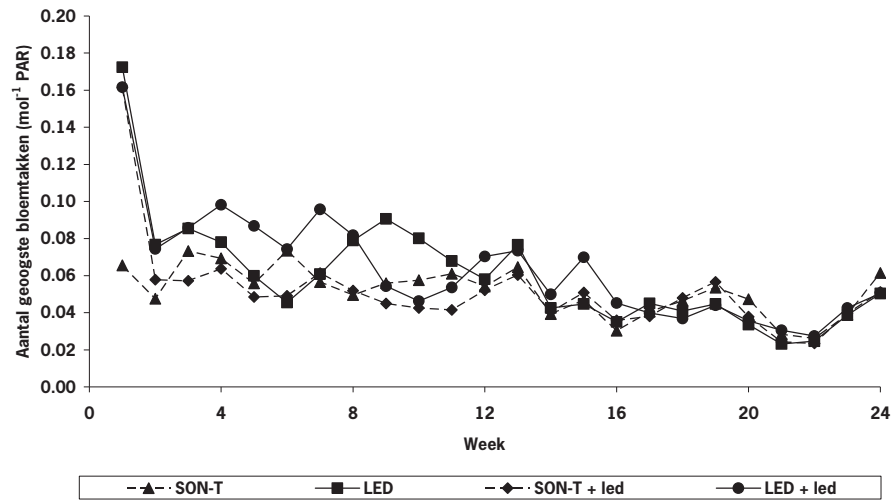
Figuur 7. Gewicht geoogste bloemtakken per mol PAR onder SON-T- en LED-belichting. (A) 1 januari tot en met 21 maart, (B) 1 januari tot en met 14 juni.

Uit de productiegegevens per eenheid licht bleek dat de met LED belichte planten in de eerste week meer produceerden dan de met SON-T belichte planten (Figuur 8A en 8B). De met LED en met LED + led belichte planten hadden tot maart een meerproductie. Na maart liep de meerproductie terug. Het teruglopen houdt waarschijnlijk verband met het toenemen van het natuurlijk licht vanaf april.

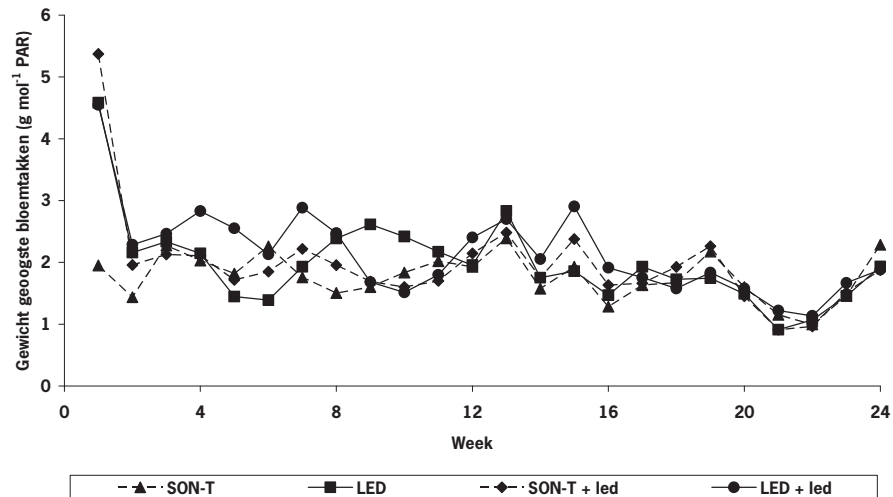
Opmerkelijk is het grote verschil in week 1. Dit verschil kan te maken hebben met het uitvallen van de LED-belichting of met een verschil in productiefrequentie tussen de behandelingen.

De opbouw en het onttrekking van reservestoffen is in deze analyses niet meegenomen. Mogelijk is de meerproductie onder LED-belichting ten koste gegaan van de voorraadstoffen. Het effect van LED-belichting op de dynamiek van voorraadstoffen verdient nader onderzoek.

A



B



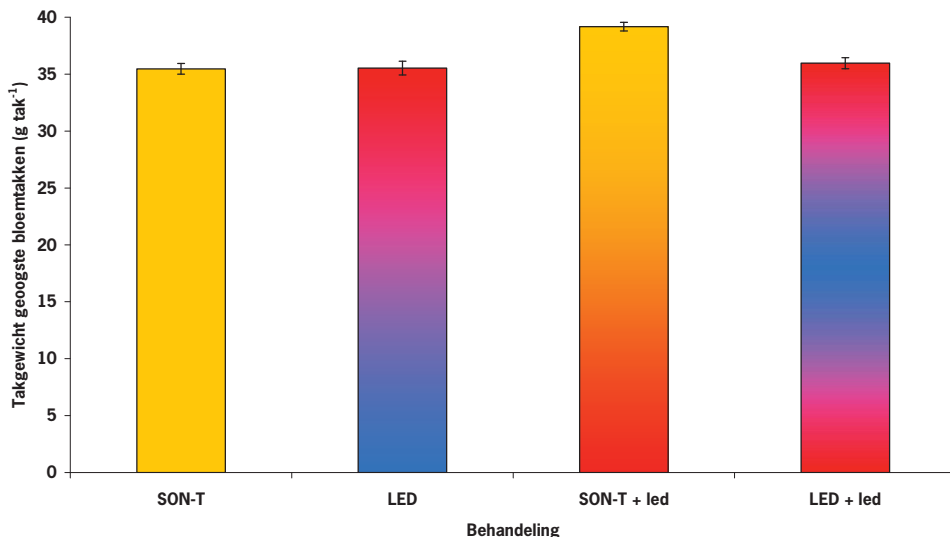
Figuur 8. Aantal en gewicht geoogste bloemtakken per mol PAR in de tijd onder SON-T- en LED-belichting. (A) Aantal bloemtakken, (B) gewicht bloemtakken.

4.2.2 Kwaliteit

4.2.2.1 Individuele takgewicht

Er was geen verschil tussen in het individuele takgewicht SON-T en LED, maar er was wel een verschil tussen SON-T + led en LED + led (Figuur 9). Het individuele takgewicht was het hoogst bij SON-T + led-belichting. Tussenbelichting had geen eenduidig effect op het takgewicht.

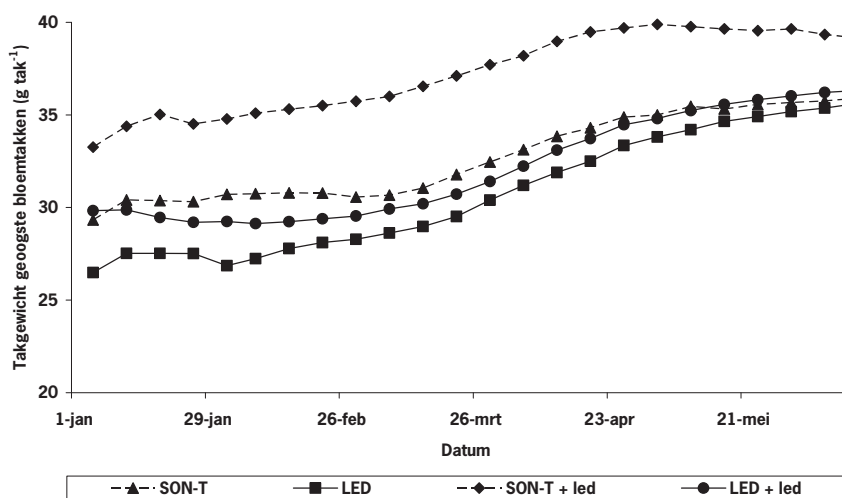
De verhoogde productie onder LED-belichting ging gepaard met een gelijk takgewicht. Blijkbaar kon het gewas genoeg assimilaten aan de 'extra' bloemtakken leveren.



Figuur 9. Gemiddeld individueel takgewicht geogste bloemtakken onder SON-T- en LED-belichting. Verticale lijnen geven de standaardfout aan.

Takgewicht neemt toe in de tijd bij alle lichtbehandelingen waarbij het verschil tussen de behandelingen steeds kleiner wordt (Figuur 10). Dit houdt hoogstwaarschijnlijk verband met de toename in natuurlijke lichtintensiteit, waarbij het aandeel aan kunstlicht (LED of SON-T) verminderde.

De kwaliteit hangt grotendeels af van het takgewicht (een zwaardere tak is beter) en dat blijkt uit het beste te zijn bij SON-T + led-belichting. Echter, bij berekening van het takgewicht is geen rekening gehouden met het effect van lichtintensiteit. Het is mogelijk dat de relatie tussen lichtintensiteit het aantal geproduceerde bloemtakken anders is dan de relatie tussen lichtintensiteit en gewicht waardoor de verschillen in takgewicht wellicht niet gevonden worden bij gelijke lichtintensiteit.



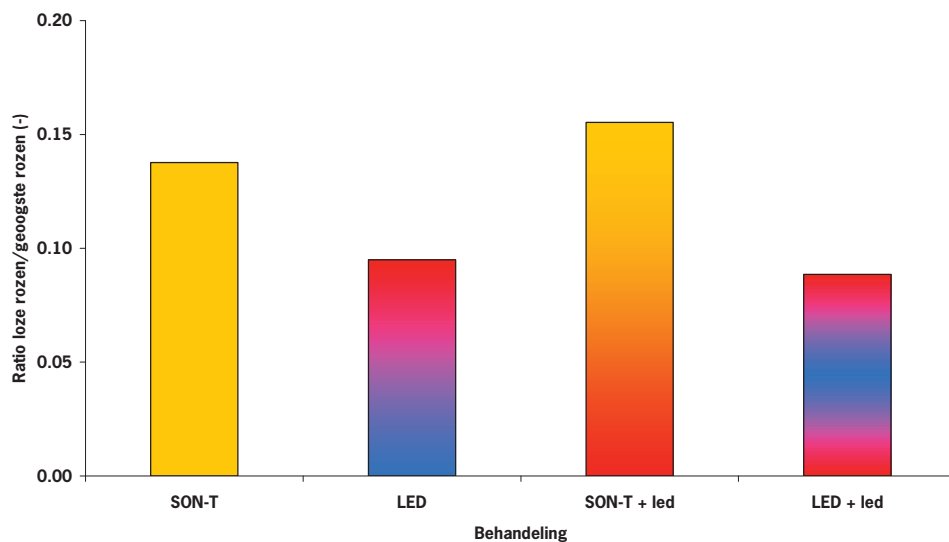
Figuur 10. Takgewicht geogste bloemtakken door de tijd onder SON-T- en LED-belichting.

4.2.2.2 Loosvorming

Bij de berekening van loosvorming is gebruik gemaakt van de originele, niet voor verschillen in lichtintensiteit gecorrigeerde, productiegegevens, omdat de kwantitatieve relatie tussen lichtintensiteit en loosvorming niet bekend is voor de door ons opgelegde lichtkwaliteit en -intensiteit.

Er was een klein verschil in de verhouding loos/roos tussen SON-T en LED en tussen SON-T + led en LED + led (Figuur 11). De loosvorming was onder SON-T-belichting hoger (4% bij alleen bovenbelichting en 7% bij boven- en tussenbelichting). Tussenbelichting had geen duidelijk effect op loosvorming.

Loosvorming en ooguitloop wordt beïnvloed door lichtintensiteit en rood/verrood verhouding (Kim, Lee, 2002; Mor, Halevy, 1984; Zieslin, Mor, 1990). Het positieve effect van lichtintensiteit op loosvorming is echter groter dan op de uitloop van okselknoppen (Bredmose, 1997; Moe, 1988). De verhoogde verhouding loos/roos onder SON-T kan daarom verklaard worden door het verschil in lichtintensiteit. Het stuurlicht effect van SON-T en LED op loosvorming verdient nader onderzoek.



Figuur 11. Gemiddelde relatie tussen loosvorming en oogstbare rozen en per meting onder SON-T- en LED-belichting. Verticale lijnen geven de standaardfout aan.

4.2.2.3 Morfologische afwijkingen

Tijdens de proef is een aantal afwijkende bloemtakken geoogst van planten die werden belicht met LED-verlichting. De afwijking kenmerkt zich door een hoog takgewicht en kleine, roodkleurige bladeren ('vochtblaadjes') (Figuur 12).

De bedrijfsmanager schreef deze afwijking toe aan een ophoping van vocht in de plant, als gevolg van een hoge luchtvochtigheid en een lage gewastemperatuur. Na installatie van een extra verwarmingsbuis ter hoogte van de LED-tussenbelichting was het probleem snel verholpen (zie paragraaf *Praktijkbevindingen*).



Figuur 12. Afwijkende bloemtak ontwikkeld onder LED-belichting. Dit is een zeer zware tak met kleine bladeren.

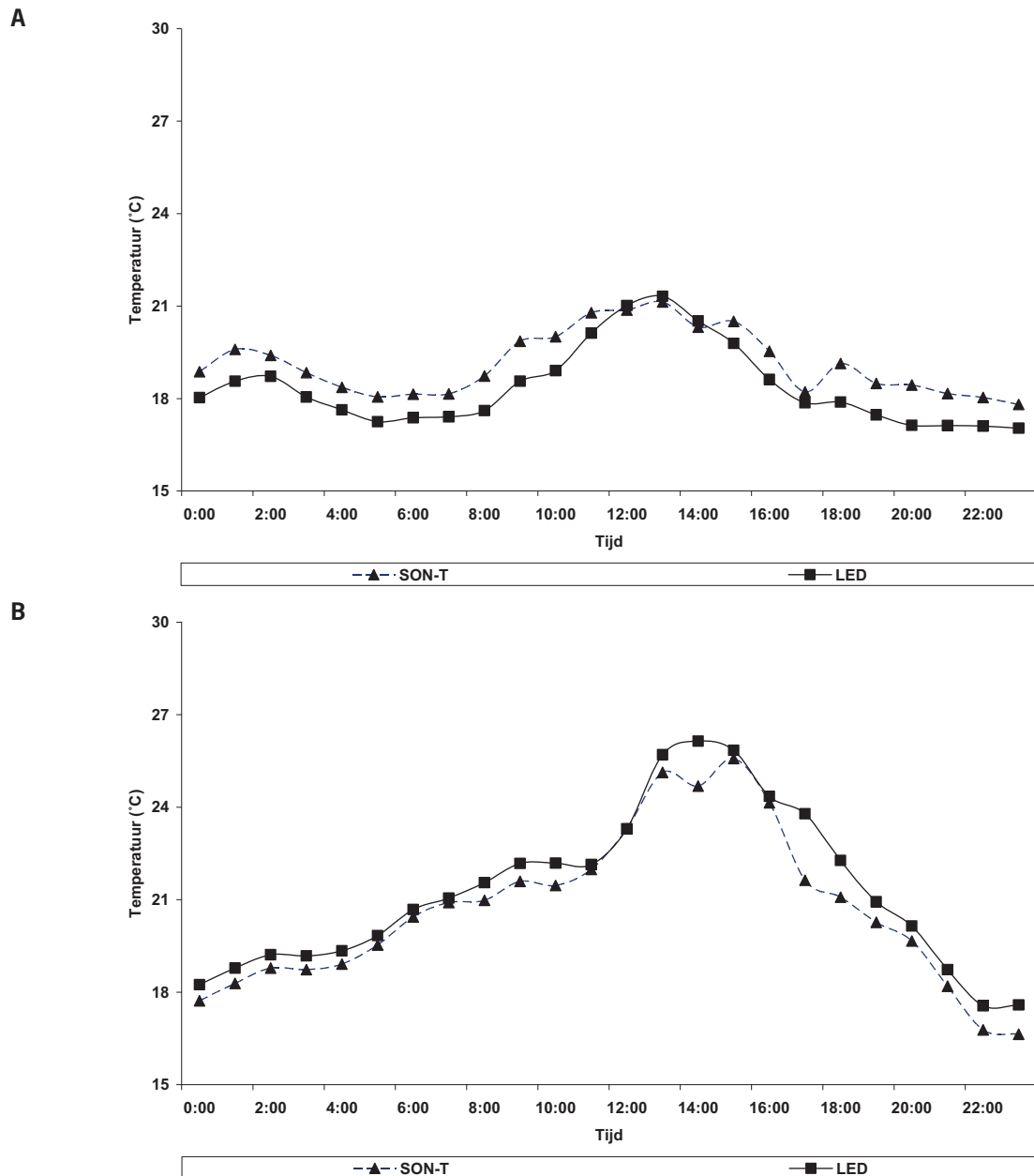
4.3 Gewasgroei

4.3.1 Gewastemperatuur

Na correctie voor het meetverschil tussen de infraroodcamera's was de gemiddelde gewastemperatuur tussen 2 januari en 21 mei niet verschillend tussen SON-T en LED. Gewastemperatuur lag tussen de 12 en de 31 graden.

Het is opmerkelijk dat er geen verschil in gewastemperatuur tussen de behandelingen is gevonden, aangezien wij een temperatureffect verwachtten door de ligging van de proefvelden, NIR van de lampen en natuurlijke lichtinval.

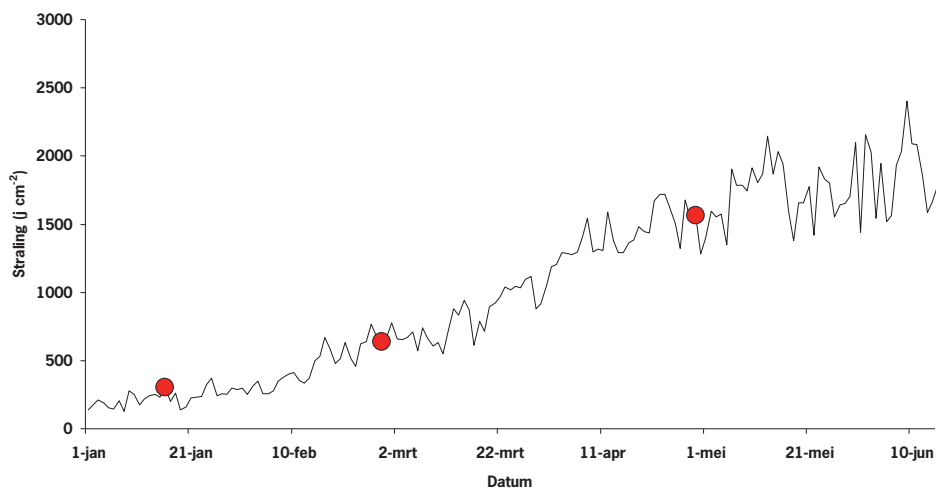
Kijkt men echter naar de gewastemperatuur tussen 2 januari tot en met 28 februari en 1 maart tot en met 21 mei, dan waren er wel verschillen in gewastemperatuur tussen SON-T en LED. In de eerste twee maanden was het gewas onder SON-T iets warmer dan onder LED (Figuur 13A) (gemiddeld 18.2 en 17.8 °C), terwijl in de daaropvolgende drie maanden het gewas onder LED iets warmer was dan onder SON-T (Figuur 13B) (gemiddeld 19.8 en 19.5 °C). Het effect van LED is wellicht niet het effect van de belichting zelf, maar van de extra verwarmingsbuis die boven het gewas was gehangen in verband met 'vochtblaadjes' (zie paragraaf *Praktijkbevindingen*). Zonder die verwarmingsbuis was het gewas onder LED-belichting ongetwijfeld kouder geweest. Gewastemperatuur heeft effect op ontwikkelingsnelheid; een kouder roosgewas ontwikkelt langzamer waardoor de aantalproductie zal dalen en bij gelijke assimilatie het takgewicht zal toenemen.



Figuur 13. Gewastemperatuur onder SON-T- en LED-bovenbelichting over de dag. (A) 28 februari, (B) 21 mei.

4.3.2 Uitgroeiduur

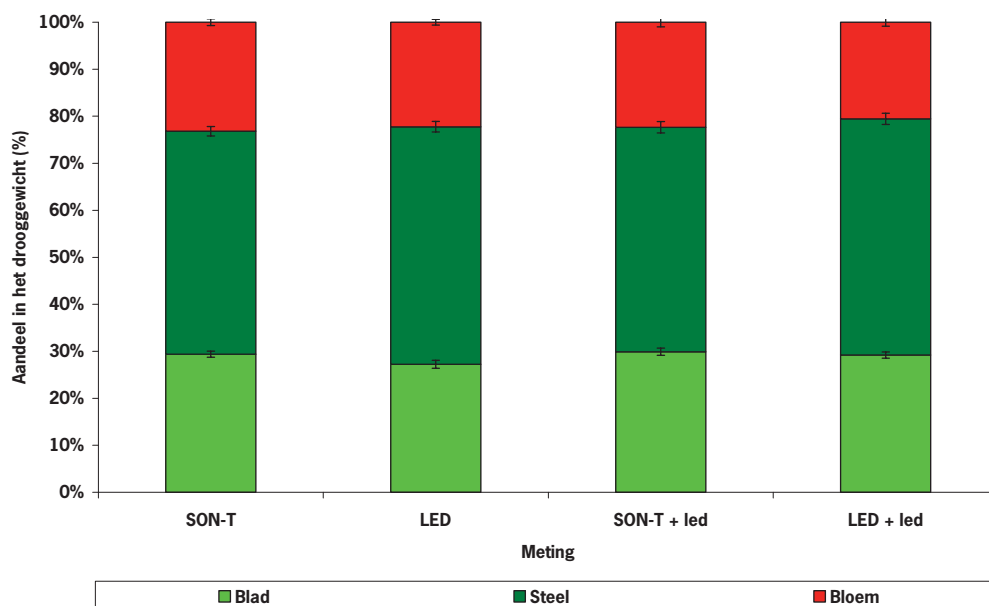
Er was geen verschil in uitgroeiduur tussen de verschillende lichtbehandelingen, maar er was wel een verschil in uitgroeiduur tussen de opeenvolgende metingen. Bij de eerste twee metingen ontwikkelden de bloemstengels langzamer (gemiddeld 42 en 39 dagen) dan bij de derde meting (gemiddeld 29 dagen). Dit is waarschijnlijk het gevolg van een toename in natuurlijke lichtintensiteit (Bredmose, 1997) (Figuur 14) en de daarmee gepaard gaande toename in temperatuur.



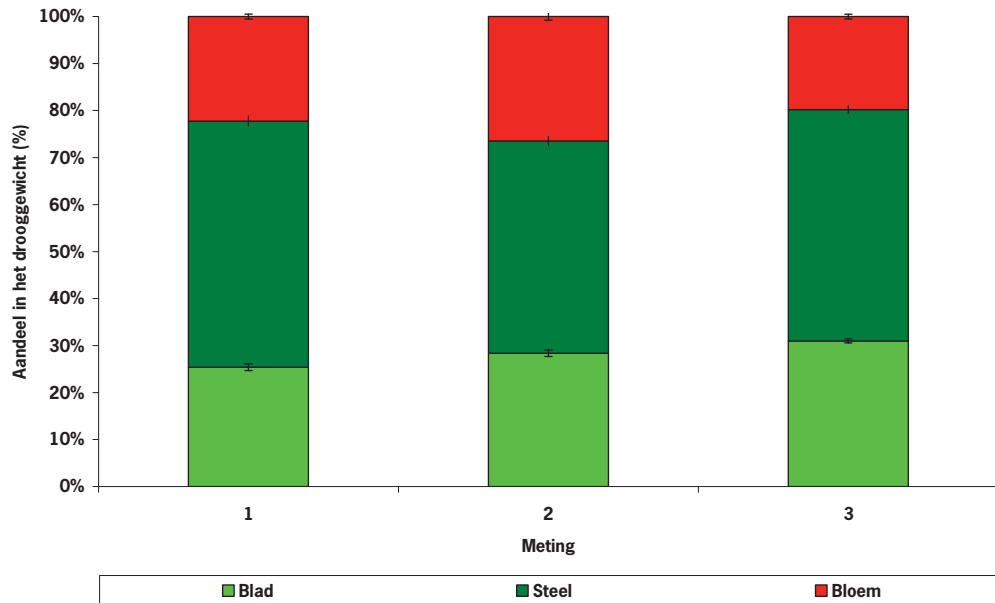
Figuur 14. Gemiddelde stralingssom per kalenderdag tussen 1999 en 2009. Rode cirkels geven meetdagen aan.

4.3.3 Drogestofgehaltenes

Er was nauwelijks verschil in drogestofverhouding van de bloemtakken tussen de verschillende lichtbehandelingen (Figuur 15), maar wel tussen de opeenvolgende metingen (Tabel 5). Bij de tweede meting was het percentage drogestof in de knop hoger dan in de eerste meting, en dat ging ten koste van het drogestof gehalte in de steel (Figuur 16). Deze tendens is ook geregistreerd in het aantal bladeren per bloemtak. Er is echter geen direct verband tussen het drogestof gehalte in de steel en het aantal bladeren per bloemtak, want het aantal bladeren dat de bloemtak zal dragen wordt bepaald door de hoeveelheid assimilaten die beschikbaar is tijdens het uitlopen van het oog, terwijl de groei van de bloemtak wordt bepaald door de hoeveelheid assimilaten die beschikbaar is terwijl de tak groeit (Marcelis-van Acker, 1994).



Figuur 15. Relatieve drogestof gehaltenes binnen de bloemtakken onder SON-T- en LED-belichting, gemiddeld over drie oogstdata. Verticale lijnen geven de standaardfout aan ($n=40$).



Figuur 16. Relatieve drogestof gehalten in bloemtakken voor de verschillende meetdata, gemiddeld over de behandelingen. Verticale lijnen geven de standaardfout aan ($n=40$ voor de eerste twee metingen en 80 bij de derde meting).

Steel

Er was geen verschil in steel drogestofgehalte tussen de verschillende lichtbehandelingen, maar er was wel een verschil in steel drogestofgehalte tussen de opeenvolgende metingen (Tabel 5). Bij de eerste twee metingen was het drogestofgehalte hoger (gemiddeld 29.0 en 28.8%) dan bij de derde meting (gemiddeld 27.7%). Dit hangt samen met de uitgroei duur van de bloemtakken.

Knop

Er was een verschil in knop drogestofgehalte tussen de verschillende lichtbehandelingen en een verschil in knop drogestofgehalte tussen de opeenvolgende metingen (Tabel 5). De bloemtakken die waren belicht met LED en SON-T hadden gemiddelde het hoogste knop drogestofgehalte en de bloemtakken die waren belicht met LED + led hadden gemiddeld een lager knop drogestofgehalte. De bloemtakken die waren belicht met SON-T + led hadden een gemiddeld knop drogestofgehalte dat iets lager was dan dat van de bloemtakken die waren belicht met SON-T en iets hoger was dan dat van de bloemtakken die waren belicht met LED + led, maar die verschillen waren niet significant. De volgorde was dus van hoog naar laag knop drogestof gehalte: LED, SON-T, SON-T + led en LED + led.

Bij de eerste twee metingen was het drogestofgehalte hoger (gemiddeld 17.8 en 18.0%) dan bij de derde meting (gemiddeld 17.1%). Dit hangt samen met de uitgroei duur van de bloemtakken.

Blad

Er was een verschil in blad drogestofgehalte tussen de verschillende lichtbehandelingen en tussen de opeenvolgende metingen (Tabel 5). De bloemtakken die waren belicht met LED en SON-T hadden gemiddelde het hoogste blad drogestofgehalte en de bloemtakken die waren belicht met LED + led hadden gemiddeld een lager blad drogestofgehalte. De bloemtakken die waren belicht met SON-T + led hadden een gemiddeld blad drogestofgehalte dat iets lager was dan dat van de bloemtakken die waren belicht met SON-T, maar dat verschil was niet significant. De volgorde was dus van hoog naar laag blad drogestof gehalte: LED, SON-T, SON-T + led en LED + led.

Bij de eerste twee metingen was het drogestofgehalte hoger (gemiddeld 25.9 en 26.3%) dan bij de derde meting (gemiddeld 25.5%). Dit hangt samen met de uitgroei duur van de bloemtakken.

Tabel 5. *Drogestof gehalte bloemtakblad onder SON-T- en LED-belichting op verschillende oogstdata (\pm standaardfout), (n=10 voor de eerste twee metingen en 20 bij de derde meting).*

	SON-T	LED	SON-T + led	LED + led
<i>28 Januari</i>				
Steel	29 \pm 0.8	28 \pm 0.6	30 \pm 0.3	29 \pm 0.5
Blad	26 \pm 0.6	26 \pm 0.7	25 \pm 0.5	26 \pm 0.7
Knop	18 \pm 0.4	18 \pm 0.2	18 \pm 0.4	17 \pm 0.3
<i>30 Maart</i>				
Steel	29 \pm 0.6	29 \pm 0.5	28 \pm 0.4	29 \pm 0.4
Blad	26 \pm 1	27 \pm 0.3	26 \pm 0.5	26 \pm 0.6
Knop	19 \pm 0.4	18 \pm 0.3	18 \pm 0.4	17 \pm 0.4
<i>29 April</i>				
Steel	28 \pm 0.7	28 \pm 0.3	27 \pm 0.4	28 \pm 0.4
Blad	25 \pm 0.4	26 \pm 0.3	25 \pm 0.4	26 \pm 0.4
Knop	17 \pm 0.2	18 \pm 0.2	17 \pm 0.2	17 \pm 0.2

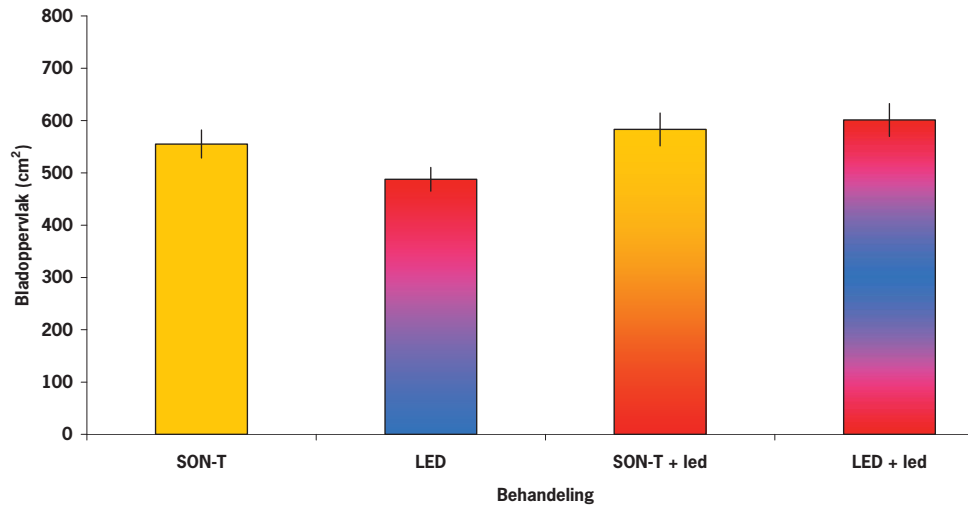
4.3.4 Aantal bladeren

Er was geen verschil in het aantal bladeren per bloemtak tussen de verschillende lichtbehandelingen, maar er was wel een verschil in het aantal bladeren per bloemtak tussen de opeenvolgende metingen. Bij de eerste meting was het aantal bladeren per bloemtak hoger (gemiddeld 12.2) dan bij de tweede meting (gemiddeld 10.2). Het aantal bladeren per bloemtak bij de derde meting ligt tussen, maar verschilt niet significant van het aantal bladeren per bloemtak bij de eerste en de tweede meting.

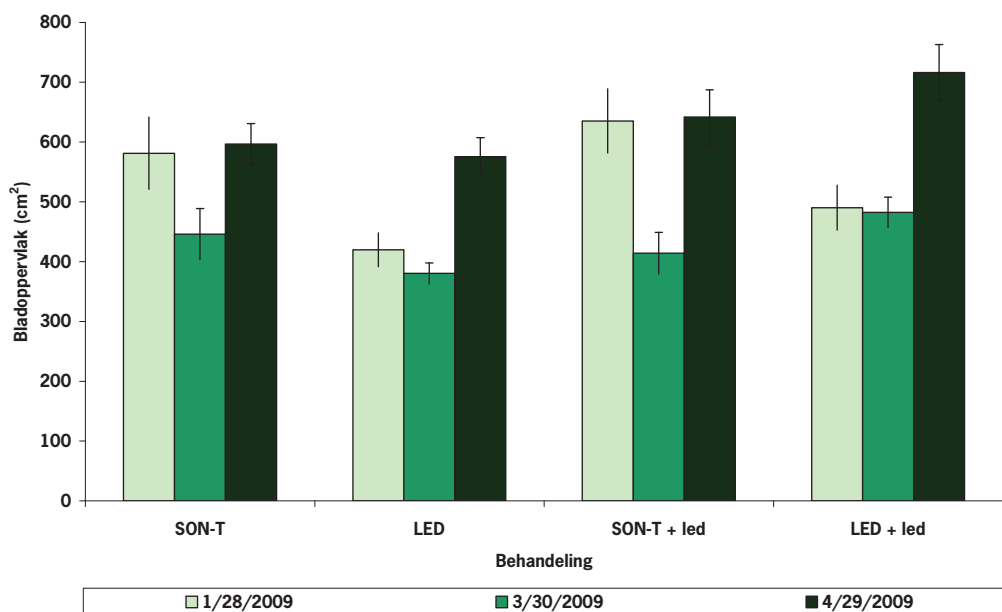
4.3.5 Bladoppervlakte

Er was een verschil in bladoppervlakte per bloemtak tussen de verschillende lichtbehandelingen (Figuur 17) en tussen de opeenvolgende metingen (Figuur 18). De bloemtakken die waren belicht met LED hadden gemiddeld een lager bladoppervlakte per bloemtak dan de bloemtakken die waren belicht met SON-T, SON-T + led en LED + led. Een lager bladoppervlakte en een gelijk aantal bladeren betekent dat er onder LED kleinere bladeren werden ontwikkeld. Meinen vonden vergelijkbare resultaten voor chrysant (Meinen *et al.*, 2009). Hier kan de relatie tussen lichtkleur en bladoppervlakte aan ten grondslag liggen. Hemming *et al.* (2004) concludeerden dat een toename in rood licht leidt tot een hoger oppervlakte per blad en een lagere bladoppervlakte, terwijl verrood licht leidt tot een hogere bladoppervlakte. Mortensen (1987) concludeerde dat een toename in blauwe licht leidt tot een lagere bladoppervlakte. De LED-bovenbelichting bestond uit rood en blauw licht, en er zijn geen lichtspectra gemeten, dus het is niet mogelijk om in dit onderzoek een relatie aan te tonen tussen bladoppervlakte en lichtkleur. Aangezien deze data niet per mol PAR, maar per bloemtak is weergegeven, kan het verschil in bladoppervlakte ook het gevolg zijn geweest van het verschil in lichtsom.

Het bladoppervlak per bloemtak was het hoogst bij de derde meting en het laagst bij de tweede meting.



Figuur 17. Bladoppervlakte per bloemtak onder SON-T- en LED-belichting gemiddeld over de verschillende oogstdata. Verticale lijnen geven de standaardfout aan ($n=40$).



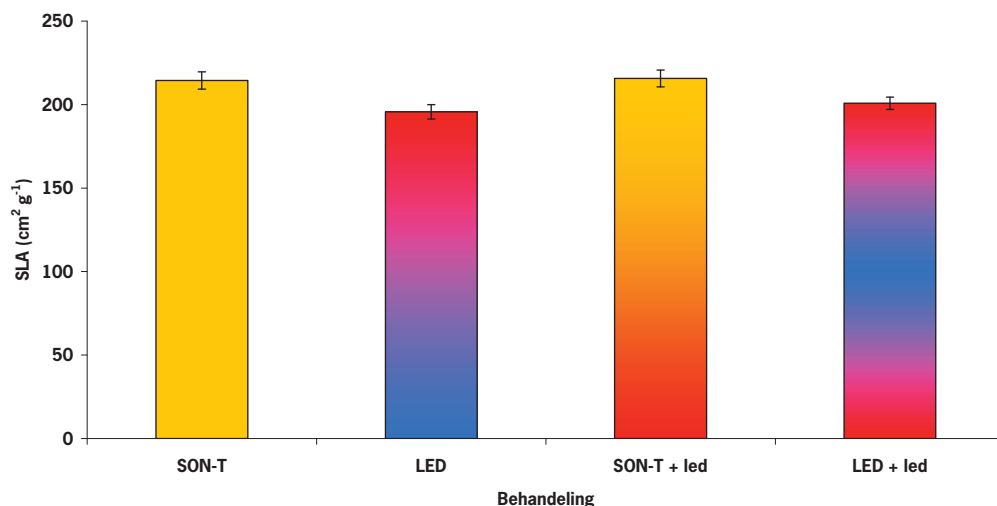
Figuur 18. Bladoppervlakte per bloemtak onder SON-T- en LED-belichting op verschillende oogstdata. Verticale lijnen geven de standaardfout aan ($n=10$ voor de eerste twee metingen en 20 bij de derde meting).

4.3.6 Specifieke bladoppervlakte

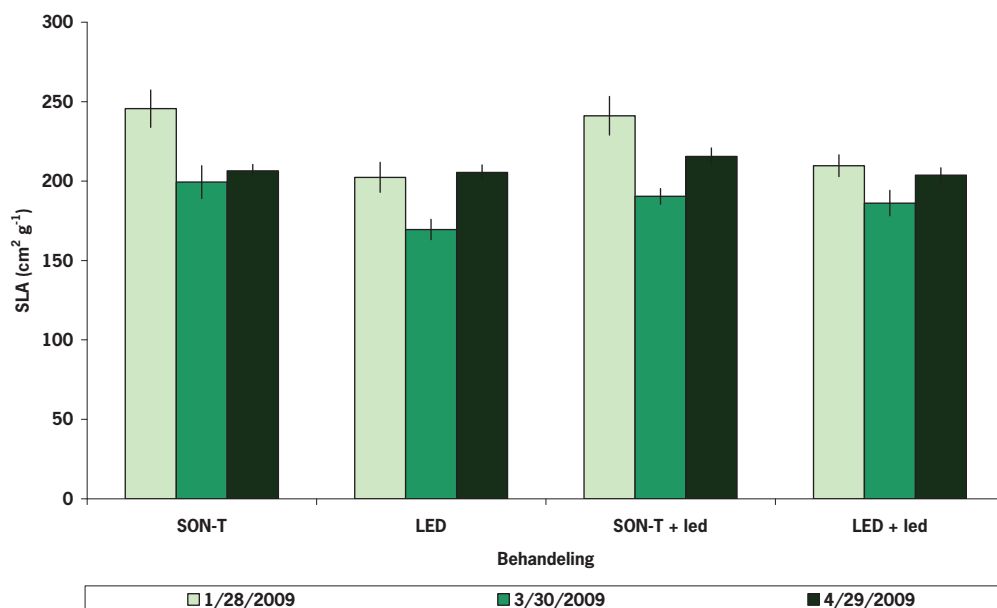
Er was een verschil in specifieke bladoppervlakte tussen de verschillende lichtbehandelingen (Figuur 19) en tussen de opeenvolgende metingen (Figuur 20). De bloemtakken die waren belicht met LED en LED + led hadden gemiddeld een lager specifiek bladoppervlak per bloemtaken dan de bloemtakken die waren belicht met SON-T en SON-T + led. Blijkbaar heeft het extra rode licht van de LED-bovenbelichting een negatief effect op de specifieke bladoppervlakte. Dit komt overeen met de conclusies van Hemming *et al.* (2004).

Het verloop van specifieke bladoppervlakte (bladoppervlakte per gram droge stof) in de tijd komt overeen met het patroon in het aantal bladeren; het was het hoogst bij de eerste meting en het laagst bij de tweede meting. Dat betekent dat er bij de tweede meting weinig en dik blad was en dat er bij de derde meting veel en dik blad was. Bij de derde meting is het verschil in specifieke bladoppervlakte tussen de behandelingen zo goed als verdwenen. Dit komt waarschijnlijk doordat het natuurlijk daglicht een steeds grotere rol is gaan spelen.

Zowel het bladoppervlak als de specifieke bladoppervlakte was bij de eerste meting hoger onder SON-T-belichting. Mogelijk houdt dit verband met de gewastemperatuur; het gewas was warmer onder SON-T in het voorjaar.



Figuur 19. Specifiek bladoppervlak (SLA) onder SON-T- en LED-belichting. Verticale lijnen geven de standaardfout aan (n=40).



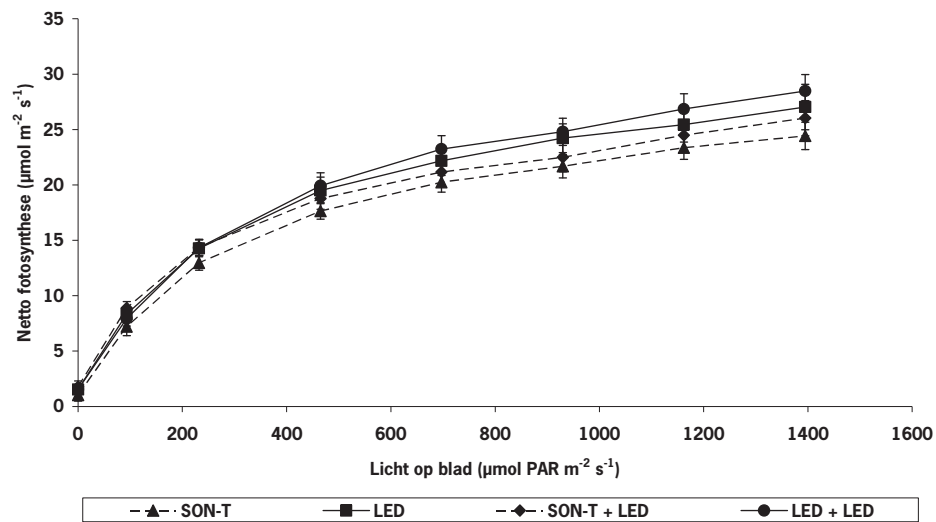
Figuur 20. Specifiek bladoppervlak (SLA) onder SON-T- en LED-belichting op verschillende oogstdata. Verticale lijnen geven de standaardfout aan (n=10 voor de eerste twee metingen en 20 bij de derde meting).

4.3.7 Fotosynthese

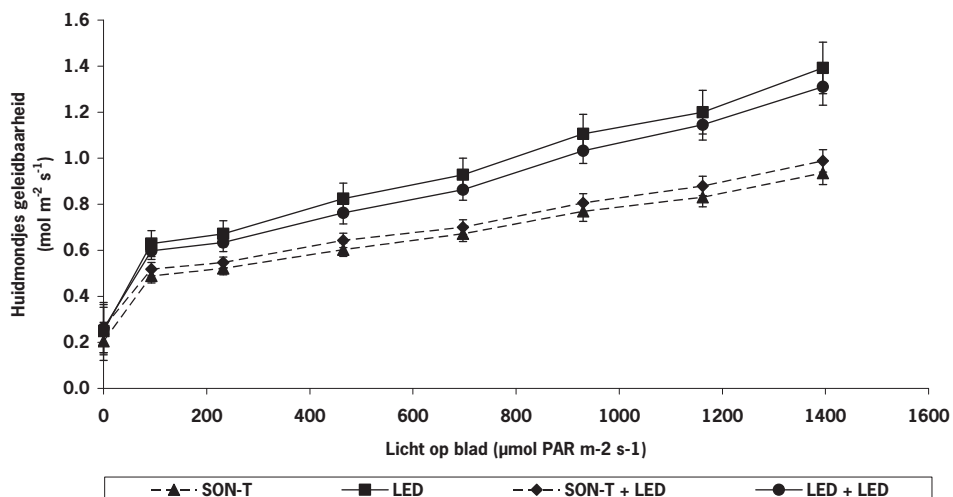
LED belichte bladeren hadden bij lichtintensiteiten boven de 400 $\mu\text{mol PAR m}^{-2} \text{s}^{-1}$ een hogere fotosynthese dan SON-T belichte bladeren (Figuur 21A). In een parallel project is bij hetzelfde rozengewas gemeten dat de quantum efficiëntie (fotosynthese per foton) bij LED-belichting net iets hoger is dan bij SON-T-belichting. Dit kan het gevolg zijn van de hogere lichtintensiteit of een mogelijk stuurlicht effect in de LED behandelingen.

Gelijk aan het verschil in netto fotosynthese, is de huidmondjes geleidbaarheid hoger bij LED belichte bladeren (Figuur 21B). Een hoge huidmondjes geleidbaarheid kan een negatief effect hebben op de houdbaarheid, omdat de bloemtakken een vocht disbalans kunnen ontwikkelen wanneer de huidmondjes niet goed sluiten na het oogsten. Dit is een probleem dat zich vaak voordoet wanneer het gewas is bijbelicht (Slootweg, Meeteren, 1991).

A



B



Figuur 21. Gemiddelde bladfotosynthesecapaciteit en huidmondjes geleidbaarheid bij toenemende lichtintensiteit voor de verschillende lichtbehandelingen gemeten op 3 en 4 februari. Verticale lijnen geven de standaardfout aan. (A) Netto bladfotosynthese, (B) huidmondjes geleidbaarheid.

4.4 Praktijkbevindingen

Bedrijfsmanager Rosaline Zuurbier op 7 oktober 2009:

- Over het algemeen genomen was het bedrijf zeer tevreden over het telen onder LED-belichting aangezien de productie duidelijk hoger lag dan onder SON-T.
- In november 2008 werd het LED-systeem geïnstalleerd. In de eerste maanden na installatie waren er problemen met een zekering, waardoor het LED-systeem vaak uitviel, maar toen dat verholpen was, begin januari, werkte het systeem goed.
- In december ontstonden er vochtproblemen in de kas. Een van de grote voordelen van LEDs is dat ze minder warmte uitstralen dan SON-T; LEDs produceren geen gewasverwarmende NIR en de lampen kunnen gekoeld worden met behulp van koudwaterbuizen. Toen de buitenluchttemperatuur daalde in december ontstonden er vochtproblemen.
- Ten eerste was het door de kou onmogelijk om voldoende te ventileren om de luchtvochtigheid te verlagen; daardoor kon het gewas het opgenomen vocht niet goed verdampen. Onder SON-T kon het gewas genoeg worden verwarmd om de verdamping voldoende op gang te houden maar onder LED-belichting bleef het gewas te koud. De resulterende vochtophoping leidde tot ongeveer 20% inferieure bloemtakken met 'vochtblaadjes' (zie paragraaf *Morfologische afwijkingen*) en 'vlekkerig blad' (waarschijnlijk zetmeelophoping). Om het ontstaan van 'vochtblaadjes' tegen te gaan werd een extra verwarmingsbuis boven de tussenbelichting geïnstalleerd. Deze buis liep mee met de gewone verwarmingsbuizen en werd niet warmer dan 40°C. Na installatie van de extra verwarmingsbuis ontstonden er geen nieuwe vochtblaadjes meer.
- Ten tweede was het water in de koudwaterbuizen zo koud dat er op de buizen condens ontstond dat in het gewas druppelde en natte plekken veroorzaakte, met als gevolg verminderde groei. Om de condensvorming tegen te gaan zou men kunnen werken met verwarmd koelwater. Warmer koelwater betekent echter een lager rendement van de lampen. Dit is gemeten bij de installatie van het LED-systeem; bij een toenemende lengte van de koudwaterbuizen is een afnemende lichtintensiteit gemeten.
- Gedurende de hele proef viel het op dat de bovenste blaadjes dik, stug en donkerder groen waren.
- De arbeidsomstandigheden in de LED behandelingen was redelijk. Na lange tijd in LED-belichting te werken ziet men alles eventjes groen, omdat de ogen en hersenen groen gaan prononceren, maar de werknemers hadden daar geen enkel probleem mee, omdat zij enthousiast waren over het onderzoek. Het effect van het langdurig werken onder (uitsluitend) rood/blauwe LED-belichting op de gezondheid van de mens verdient meer aandacht.
- Er was geen verschil in houdbaarheid tussen de verschillende behandelingen.

5 Conclusies

Telen onder LED-belichting leverde tussen januari en maart een hogere productie per mol PAR op, zowel in aantal takken als in gewicht. Die verschillen waren veel kleiner tot niet aanwezig wanneer men de resultaten middelt over de periode januari tot en met juni. Tussenbelichting met LEDs had een positief effect op het gewicht van de geproduceerde takken, waarbij het effect groter was in combinatie met LED bovenbelichting. Het toegepaste LED licht had een hogere rood/verrood verhouding dan het SON-T licht en dat heeft er waarschijnlijk voor gezorgd dat meer ogen zijn uitgelopen.

Tussenbelichting met LEDs had een licht stimulerend effect op gewicht en geen effect op aantal. Het individuele takgewicht was het hoogst onder SON-T + led-belichting.

Aangezien het individuele takgewicht een belangrijk kwaliteitskenmerk is, zou het interessant zijn om takgewicht bij exact gelijke lichtkwantiteit SON-T en LED te vergelijken.

Loosvorming kwam meer voor onder SON-T- dan onder LED-belichting. Dit kan het gevolg zijn van een verschil in lichtkwantiteit en van een verschil in rood/verrood verhouding. Aangezien er cultivars bestaan met een loosvorming oplopend tot 50%, zou het interessant zijn om ook loosvorming bij exact gelijke lichtkwantiteit SON-T en LED te vergelijken.

Het is echter moeilijk om in de praktijk een proef te ontwerpen, waarbij er geen verschil in natuurlijk lichtinval, lampintensiteit en lichtregime is. Zo zijn er sterke aanwijzingen dat de SON-T lampen tijdens de proef 11% aan lichtintensiteit hebben verloren, terwijl de lichtintensiteit bij de LEDs gelijk bleef. Voor chrysant is recent een vergelijking tussen gelijke lichtkwantiteit SON-T en LED uitgevoerd in een afgesloten groeicel (Meinen *et al.*, 2009). Wellicht kan een soortgelijk onderzoek meer informatie verschaffen over het effect van gelijke lichtkwantiteit SON-T en LED op het takgewicht en loosvorming bij rozen.

Bij alle fysiologische resultaten was er een duidelijk effect van tijd; met het toenemen van natuurlijk licht en temperatuur in het voorjaar werden de verschillen tussen SON-T en LEDs kleiner. Het effect van LED-belichting op uitgroei duur, drogestof gehaltes en drogestof verdeling was zo goed als afwezig. Bladoppervlakte per bloemtak was het laagst onder LED bovenbelichting. Wellicht heeft dit te maken met het spectrum van de belichting. Bladoppervlakte per gram droge stof was, als verwacht, lager onder LED-belichting, behalve wanneer de LED-belichting werd gecombineerd met SON-T. Bij SON-T + led was het LED effect waarschijnlijk niet sterk genoeg om effect te hebben.

Gewastemperatuur was aan het begin van het jaar hoger onder SON-T en aan het eind van het jaar hoger onder LED. De gewastemperatuur onder LED werd mede bepaald door een extra verwarmingsbuis boven het gewas. Deze verwarmingsbuis was in december aangelegd toen bleek dat de bloemtakken onder LED-belichting hun vocht niet kwijt konden en daardoor misvormden. Dit is een duidelijke indicatie dat een roosgewas onder LED-belichting in de winter bijverwarmd moet worden om te compenseren voor het verlies in NIR.

Actuele bladfotosynthese en huidmondjes geleidbaarheid was hoger bij planten die zijn geteeld onder LED. Het eerste is positief, want het betekent meer assimilatie dus meer productie. Het tweede kan positief zijn voor de fotosynthese, maar het kan ook negatief zijn voor de kwaliteit, omdat een verhoogde huidmondjes geleidbaarheid het vaasleven kan verkorten. De verhoogde fotosynthese onder LED wordt ondersteund door de conclusie van Snel *et al.* (in voorbereiding), dat bladfotosynthese piekt tussen 625 nm en 660 nm en dat bladeren van planten opgekweekt onder LED-belichting tussen 550nm en 660nm een iets hogere fotosynthese efficiëntie hebben.

6 Referenties

- Bredmose N., 1997.
Chronology of three physiological development phases of single-stemmed rose (*Rosa hybrida* L.) plants in response to increment in light quantum integral. *Scientia Horticulturae* 69: 107-115.
- Hemming S., D. Waaijenberg, G. Bot, P. Sonneveld, F.de Zwart, T.A. Dueck, C.J. van Dijk, J.A. Dieleman, N. Marissen, E.van Rijssel & G. Houter, 2004.
Optimaal gebruik van natuurlijk licht in de glastuinbouw. pp. 155. Wageningen: Agrotechnology & Food Innovations.
- Kim W.S. & J.S. Lee, 2002.
Evaluation of photosynthate accumulation and distribution and radiation use efficiency in roses in relation to irradiance and night temperature *Acta Horticulturae* 593: 129-136.
- Marcelis-van Acker C.A.M., 1994.
Effect of Assimilate Supply on Development and Growth Potential of Axillary Buds in Roses. *Ann Bot* 73: 415-420.
- Meinen E., L.F.M. Marcelis, J.W. Steenhuizen & T.A. Dueck, 2009.
Is een μmol een μmol ? Groei en ontwikkelinge van chrysant geteeld onder SONT en onder LED belichting. Wageningen: Wageningen UR, Glastuinbouw.
- Moe R., 1988.
Growth and flowering in roses. *Acta Horticulturae* 218: 121-130.
- Mor Y. & A.H. Halevy, 1984.
Dual effect of light on flowering and sprouting of rose shoots. *Physiologia Plantarum* 61: 119-124.
- Mortensen L.M. & E. Strømme, 1987.
Effects of light quality on some greenhouse crops. *Scientia Horticulturae* 33: 27-36.
- Slootweg G. & U. van Meeteren, 1991.
Transpiration and stomatal conductance of roses cv. Sonia grown with supplemental lighting. *Acta Horticulturae* 298: 119-125.
- Snel J., 2009.
In voorbereiding. Wageningen: Wageningen UR, Glastuinbouw.
- Zieslin N. & Y. Mor, 1990.
Light on roses. A review. *Scientia Horticulturae* 43: 1-14.

Bijlage I.

Aanvullende informatie



Figuur I-1. Bovenaanzicht van de kassen van firma Zuurbier & Co Rozenkwekerijen B.V. in Heerhugowaard. Het rose gekleurde vlak geeft de locatie van de proefvelden aan. Het witte vlak links van de proefvelden is een verwerkingsruimte. De proefvelden lagen in rijen parallel aan de verwerkingsruimte. Van zuidwest naar noordoost; SON-T + led, LED + led, LED en SON-T. De oppervlaktes van de vlakken zijn niet op schaal. Bron: Google earth.

