



LED en energiezuinigheid en kwaliteit bij Red Naomi!

Arie de Gelder¹ en Rick van der Burg²

Rapport WPR-708

1 Wageningen University & Research Glastuinbouw, 2 Delphy- Improvement Centre

Referaat

Om een forse energiebesparing te realiseren is door WUR Glastuinbouw en Delphy in opdracht van Kas als Energiebron bij roos onderzoek gedaan onder een belichtingsinstallatie met alleen Diep Rood/Blauwe Top-LED. Doelstellingen waren een gelijkmatige groei door gelijkmatig lichtniveau, verbetering van bloemgrootte en steelgewicht en 25 % besparing op elektriciteit. In de zomer van 2016 was het klimaat door LED en koeling met behulp van OPAC- warmtewisselaars goed voor een prima kwaliteit rozen. In de winter 2016/2017 liep de kwaliteit van de rozen sterk terug door het optreden van kleine bladeren, veel 7-blad en kleine knoppen. De kleur van blad, bloem en steel werd te donker en de bedoorning te sterk. In het voorjaar nam dit weer af, met positieve gevolgen voor de kwaliteit. Over de oorzaak van de kwaliteitsachteruitgang is uitvoerig van gedachte gewisseld. Gedacht wordt aan temperatuur, knipstrategie en lichtspectrum. Ondanks de kwaliteitsproblemen was de productie in stuks en kg per m² prima. De lichtbenuttingsefficiëntie in de full-LED proef was gelijk aan die van de SON-T proef een jaar eerder.

De energiebesparing voor belichting realiseerde de gewenste 25%. Wel moet er meer warmte in de kas worden gebracht om het gewas een hogere temperatuur te laten ervaren, vooral op momenten dat er alleen belichting is en geen natuurlijk licht.

Abstract

In order to achieve a significant energy saving, WUR Greenhouse Horticulture and Delphy conducted research under a lighting system with Deep Red / Blue Top- LED. Objectives were consistent growth by uniform light level, improvement of flower size and stem weight and 25% saving on electricity. In the summer of 2016, the climate through LED and cooling using OPAC heat exchangers was nice for good quality roses. In the winter 2016/2017 the quality of the roses was strongly reduced by the occurrence of small leaves, many 7 leaflets leaves and small buds. The colour of leaf, flower and stem became too dark and had a high thorn density. In spring these effects became less severe, with positive effect on quality. The reason for the quality deterioration has been extensively discussed. Temperature, cutting strategy and light spectrum are considered. Despite the quality problems, production in stems and kg per m² was fine. The light use efficiency in the full-LED test was similar to that of the SON-T test a year earlier.

The energy saving for lighting achieved the desired 25%. However, more heat must be added to allow the crop to experience a higher temperature, especially at times when there is only artificial light.

Rapportgegevens

Rapport WPR-708

Projectnummer: 3742225900

DOI nummer: 10.18174/426915



Dit onderzoek is mede tot stand gekomen door de bijdragen van Kas als Energiebron, het innovatie programma van het ministerie van Economische Zaken en LTO Glaskracht Nederland, de gewascoöperatie roos, Koppert en Philips Lighting b.v.

Disclaimer

© 2017 Wageningen Plant Research (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research), 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.wur.nl/plant-research. Wageningen Plant Research.

Wageningen University & Research, BU 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 University & Research, BU 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

	Samenvatting	5
1	Inleiding en doelstelling	7
1.1	Doelstelling	7
1.1.1	Technische doelstellingen	7
1.1.2	Energiedoelstellingen	8
1.1.3	Nevendoelstellingen	8
2	Opzet en werkwijze	9
2.1	Waarnemingen	11
3	Verloop van de teelt en de begeleiding	13
3.1	Bemesting en watergift	14
3.2	Karakterisering van de teelt	15
4	Resultaten	17
4.1	Klimaat buiten	17
4.2	Productie	18
4.3	Energie	21
4.4	CO ₂	24
4.5	Kasklimaat	24
4.5.1	Lichtbenuttingsefficiëntie	25
4.5.2	Etmaaltemperatuur en lichtsom	26
4.5.3	Schermen en lichtemissie	28
4.5.4	Gewastemperatuur	29
4.5.5	Knopontwikkeling	30
4.6	Houdbaarheid	31
4.7	Gewasbescherming	31
5	Leerpunten en Conclusies	33
6	Literatuur	35
	Bijlage 1 Teelt van roos bij gebruik van LED als assimilatiebelichting	37
	Bijlage 2 Syndroom van rozen onder Dieprood- Blauwe LED	43
	Bijlage 3 Voorbeeld van een weekrapport	57
	Bijlage 4 Analyse gebruik van de OPAC's	61

Samenvatting

Om een grote stap te zetten in energiebesparing en lichtemissie bij roos, hebben WUR Glastuinbouw en Delphy in opdracht van Kas als Energiebron, de gewascoöperatie roos, Koppert Biological Systems en Philips het onderzoek 'LED als sleutel' uitgevoerd. Hiertoe is op het Improvement Centre de kasuitrusting van het project Perfecte Roos omgebouwd naar een installatie met alleen Diep Rood/Blauwe Top-LED geleverd door Philips Lighting met een intensiteit van $200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Deze LED armatuur heeft een hogere efficiëntie voor PAR licht per Joule elektrische input dan een SON-T assimilatielamp. De kas is naast de lampen uitgerust met OCAP warmtewisselaars voor koeling en verwarming. Het teeltkundige experiment liep van april 2016 tot en met juni 2017.

Het onderzoek had de volgende doelstellingen. De lichtintensiteit van de LED voor het gewas wordt gelijkmatiger met minder pieken en dalen in de tijd. Er is een kwaliteit verbetering in bloemgrootte en steelgewicht. De besparing op elektriciteit is 25%. De warmte wordt geleverd vanuit een lange termijn warmte- en koudeopslag (aquifer in combinatie met warmtepomp) doordat er bij de koeling in de zomerwarmte is geoogst. Uitbannen van lichtemissie zodat geen maatwerk regels meer nodig zijn voor de rozenteelt. Telen van een weerbaar gewas dat minder gevoelig is voor meeldauw.

In de zomer van 2016 was het klimaat in de combinatie van LED en OPAC goed voor een prima kwaliteit rozen. Wel werd opgemerkt dat de rozen donker blad en een donkere knop hadden met veel bedoorning op de steel. In augustus en september 2016 toen het buitenklimaat zeer warm en zonnig was, kon met de koeling overdag en 's nachts de etmaaltemperatuur een aantal graden onder de buitentemperatuur worden gehouden.

De combinatie van LED en lichtemissie scherm op 90% gaf geen problemen met warmte overschot en een daaraan gekoppelde hoge temperatuur. Wel werd de relatieve luchtvochtigheid 's nachts vaak hoger dan 85%, wat nadelig kan zijn voor de houdbaarheid.

In de winter 2016/2017 liep de kwaliteit van de rozen sterk terug door het optreden van kleine bladeren, veel 7-blad en kleine knoppen. De kleur van blad, bloem en steel werd te donker. De bedoorning nam nog verder toe. Dit beeld is samengevat onder de term 'syndroom'.

In het voorjaar toen de verhouding natuurlijk licht: LED licht weer steeg door het toenemende natuurlijke licht nam dit syndroom af, maar verdween niet volledig. Over de oorzaak van het 'syndroom' is uitvoerig van gedachte gewisseld met alle betrokkenen en voor de toekomst zijn plannen van aanpak hiervoor uitgewerkt. Een andere klimaat strategie en knipstrategie in combinatie met een ander spectrum LED wordt in een vervolg experiment onderzocht.

Ondanks de kwaliteitsproblemen was de productie in stuks en kg per m^2 prima. Maar zolang het probleem met het 'syndroom' niet wordt opgelost, is een commerciële teelt met Full-LED bij roos in combinatie met OPAC niet aan te raden. De lichtbenuttingsefficiëntie berekend op basis van in de kas gewogen geoogst product en gemeten PAR was in de full-LED proef gelijk aan die van de SON-T proef een jaar eerder.

De energiebesparing voor belichting realiseerde de doelstelling van 25%, ondanks dat er in het voorjaar van 2017 meer uren belicht is dan bij een teelt met SON-T. Deze besparing is te danken aan de efficiëntie van de lampen. Wel moet er meer warmte in de kas worden gebracht via het ondernet in plaats van via de OPAC om het gewas een hogere temperatuur te laten ervaren, vooral op momenten dat er alleen belichting is en geen natuurlijk licht. Voor energie behoort door de combinatie van koeling met LED de optie om uitsluitend elektriciteit als input te hebben tot de mogelijkheden. Daarmee zou een belangrijke stap gezet kunnen worden naar een meer duurzame rozen teelt.

De gewasbescherming was door intensief scouten en goede geïntegreerde aanpak goed te doen. Wel was de aantasting door meeldauw hardnekkig en mogelijk gestimuleerd door luchtbeweging in combinatie met koeling.

De houdbaarheid in de zomer was licht beter dan een jaar eerder en gelijk aan de praktijk; in de winter was de houdbaarheid gelijk aan een jaar eerder, maar minder dan de praktijk.

1 Inleiding en doelstelling

De urgentie is hoog om de configuratie van de rozenteelt zodanig in te richten dat de warmte- inbreng- en behoefte verder wordt gereduceerd, zodat volledige afscherming mogelijk wordt.

Uitgangspunt is dat de productiecapaciteit en stuurbaarheid van de kwaliteit behouden blijft of zelfs verbetert. Het gewas snijroos presteert het beste bij een hoge lichtsom en kan daarbij langdurig (20 tot 24 uur per etmaal) worden belicht. Tot nu zijn er kleine stappen gezet met betrekking tot het beheersen van het klimaat onder een gesloten schermdoek, maar deze stappen zijn op zichzelf niet toereikend om aan het bestaande lichtconvenant te voldoen.

LED lampen hebben het voordeel van een efficiënte omzetting van elektriciteit in PAR-licht met een lagere warmte belasting van de kas. Hierdoor kan het schermdoek langer en meer gesloten blijven en kunnen telers beter voldoen aan de lichtemissieregels. In de praktijk wordt geëxperimenteerd met hybride belichting, waarbij naast de bestaande SON-T assimilatiebelichting extra LED-belichting wordt opgehangen of de SON-T deels wordt vervangen door LED-belichting. Dit gaat met redelijk goede resultaten, maar geeft nog onvoldoende effecten om aan de lichtemissie regels te voldoen, daarvoor is het nodig dat er volledig onder LED- belichting geteeld gaat worden. Bij hybride belichting blijft de hoge warmte belasting door de SON-T lampen aanwezig. De adoptie en diffusie van LED technologie kan worden versneld– ondanks de hoge investeringskosten ervan- als blijkt dat rozen goed onder LED lampen geteeld kunnen worden. Bij tomaat is aangetoond dat onder volledig LED-licht kan worden geteeld. Het onderzoek wil aantonen dat ook rozen onder volledige LED belichting kunnen worden geteeld, waarbij geen lichtemissie meer ontstaat. Daarbij wordt verwacht dat de kwaliteit van de rozen verbetert door de combinatie van LED en verwarming en koeling middels OPAC's boven het gewas. Voor gebruik van OPAC is dit al aangetoond in combinatie met SON-T (De Gelder *et al.* 2015, 2016). Deze kwaliteitsverbetering is samen met de energiebesparing de basis voor de economische haalbaarheid van het systeem, nog afgezien van de regelgeving omtrent lichtafscherming.

In Bijlage 1 zijn de verwachte effecten van LED belichting in plaats van SON-T beschreven.

Die beschrijving laat zien dat er een groot aantal veranderingen zullen optreden, waarvan het integrale effect op de teelt in samenhang moet worden onderzocht.

Deze integrale benadering wordt in dit rapport beschreven voor een experiment dat is uitgevoerd op het Improvement Centre in de periode april 2016 tot en met juni 2017.

1.1 Doelstelling

Het onderzoek kent een aantal doelstellingen die als volgt zijn omschreven.

1.1.1 Technische doelstellingen

- LED belichting in rozenteelt waarbij de licht intensiteit van de LED zodanig wordt geregeld dat de lichtintensiteit voor het gewas gelijkmatiger wordt dan bij SON-T in intensiteit in de tijd.
- Het doel is een kwaliteit verbetering in bloemgrootte en steelgewicht ten opzichte van de prestaties in het lopende onderzoek: Een bloemgrootte van 52 mm en een steelgewicht van 55 gram bij een lengte van 80 cm. Er wordt geen productie voordeel in lichtbenutting verwacht.

1.1.2 Energiedoelstellingen

- Als assimilatie belichting in rozenteelt wordt vervangen door LED dan levert dit een besparing op van 25% op elektriciteit. Het elektriciteit gebruik voor belichting daalt van 575 naar 400 kWh·m⁻²·jaar⁻¹ bij een gelijke lichtintensiteit.
- De warmte wordt geleverd door de koeling in de zomer.
In de proeven van 2014 en 2015 was warmte verzameld middels koeling voldoende om aan de totale warmtevraag te voldoen. Voor deze energie verzameling is wel een elektrische warmtepomp (WP) nodig, die ca 20% van de verzamelde energie nodig heeft als aandrijfenergie. Dit is ca 50 kWh·m⁻²·jaar⁻¹.
Als hierdoor de WKK vervangen wordt door inkoop van elektriciteit wordt geen warmte overschot gecreëerd. Dit levert een bijdrage aan de vermindering van uitstoot van CO₂.

1.1.3 Nevendoelstellingen

- Volledig uitbannen van lichtemissie zodat geen maatwerk regels meer nodig zijn voor de rozenteelt.
- Telen van een weerbaar gewas dat minder gevoelig is voor meeldauw.
- Volledig recirculeren van de voedingsoplossing binnen de afdeling zodat zonder emissie kan worden geteeld.

Het onderzoek wordt uitgevoerd als een demonstratie teelt in enkelvoud. Er zijn geen behandelingen die met elkaar vergeleken kunnen worden. Het resultaat van de teelt wordt vergeleken met de geformuleerde doelstellingen en met de resultaten van de projecten Een Perfecte Roos – Energiezuinig geteeld (De Gelder *et al.* 2015) en Duurzaamheid als Leidraad voor roos (De Gelder *et al.* 2016). Het rapport is daarom vooral beschrijvend.

De vergelijking met de gewasreactie en energie prestaties is mogelijk omdat het onderzoek wordt gedaan in dezelfde kas met het gewas dat in die projecten gebruikt is. De aanpassing van de belichtingsinstallatie is de grootste verandering ten opzichte van de eerdere jaren.

2 Opzet en werkwijze

Voor de uitvoering van dit onderzoek is gestart met het rozen gewas van Red Naomi! zoals dat is geteeld in de projecten Een Perfecte Roos- Energiezuinig geteeld en Duurzaamheid als leidraad voor roos (De Gelder *et al.* 2015, 2016).

De kasuitrusting is:

Afdeling op het IC	Afdeling 4
Afdelingsgrootte	1008 m ² , waarvan 3.5 m aan de voorzijde als werkpad en 1 m aan achterzijde voor technische installaties niet benut worden. Aan de beide zijgevels een breed pad van ca 1 meter omdat dit beter uitkomt met de inrichting van het teeltsysteem. De achtergevel is de zuidgevel van de kas.
Kasdek type:	Venlo dek - tralie ligger met 2 kappen per tralie.
Glastype	Diffuus glas: Prismatic met een loodrechte lichtdoorlatendheid van 92.2%, een hemisferische lichtdoorlatendheid van 82.6% en een haze van 70%.
Dakhelling:	22° helling.
Traliebreedte:	9.60 meter.
Poothoogte:	6.68 meter.
Luchting:	2 halve ramen per 5 meter aan weerszijden van elke kap.
Verwarming:	Buisrail - per tralie 5 x 2 buizen van 51 mm ø. Gevelverwarming gekoppeld aan buisrail.
CO ₂ dosering:	OCAP, overschakelbaar op zuiver CO ₂ . Doseercapaciteit maximaal 250 kg/(ha/uur).
Klimaatcomputer:	Priva, met alle nodige sensoren voor temperatuur, luchtvochtigheid, buistemperaturen, doekstanden, watergift en drainmeting, meteo station etc.

De scherminstallatie bestaat uit drie schermen:

Boven (op zelfde dradenbed):	XLS SL 99 = OBSCURA 9950 FR W (Lichtuitstoot doek 99%) en Harmony 25 = HARMONY 2515 O FR (zonnescerm).
Onder:	XLS10 = LUXOUS1547 D FR (energiescherm). Alle schermen afkomstig van LS.
In de gevel zitten rolschermen die afzonderlijk stuurbaar zijn.	

Teeltsysteem:	4 rijen planten op een bed met een breedte van 1.2 meter. De afstand tussen de bedden, hart op hart, is 1.92 m.
Plantdichtheid:	7.5 planten per netto m ² .
Planthoogte:	De teeltmat ligt op 60 cm hoogte.
Substraat:	Cultilene FloramaxX.
Watergift:	1 druppelaar per plant met een afgifte capaciteit van 1.6 liter/uur. De middelste rijen planten apart stuurbaar van de buiten rijen.
Assimilatiebelichting:	Twee tralies uitgerust met Philips LED DiepRood/Blauw en een tralie met Philips LED DiepRood/Wit (Tabel 1 en Figuur 2).
Koeling en Verwarming	12 OPAC 106 systemen aangesloten op het koud en warmwater leidingsysteem van de kas. Setpoint sturing vanuit de PRIVA computer, operationele regeling door regelsysteem van Lek Habo.
Geforceerde ventilatie	Per OPAC een systeem met aanzuiging van lucht boven het scherm.
Energiemeting	kWh meters voor elektriciteit. Warmtemeters op verwarming en koelingsnetten.
Lichtmeting in de afdeling	2 LICOR 190 PAR sensoren op 2 meter boven de teeltgoot. 1 LICOR 191 line sensor op 3 meter boven de teeltgoot.
Planttemperatuur	IR-camera. Thermoview 48 camera aangesloten op Lets Grow.
Verdamping	Priva Growscale met 2 matten planten uit het midden van een teeltbed.

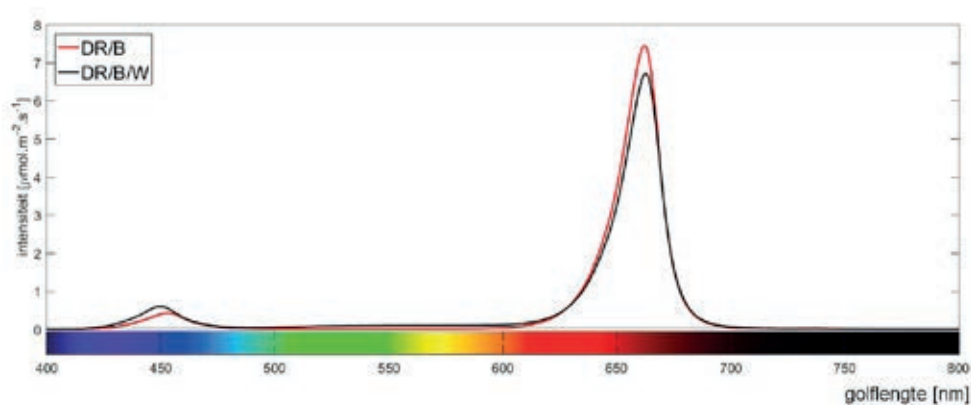


Figuur 1 De kasinrichting voor het experiment: OPAC met luchtaanzuiging; Belichting met LED: links DR/B (DiepRood, Blauw) , rechts DR/W (DiepRood, Wit). Verlichting is aan voor 50%. Het XLS 25 Harmony doek is deels gesloten. (Dit kan optreden als de lichtintensiteit door een wolk voor de zon snel daalt. Het scherm is dan nog gesloten door de vertraging in de regeling. De LED gaat dan al aan om lage lichtintensiteit op te vangen).

Tabel 1

De verdeling van het spectrum over blauw, groen/geel en rood licht, met de piek golflengten.

Kleur	Blauw	Groen/ Geel	Rood	Verrood	Som [$\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$]		Piek golflengte [nm]	
Golflengte-gebied	401- 500 nm	501- 600 nm	601- 700 nm	701- 800 nm	PAR	Totaal	Blauw	Rood
DR/B [$\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$]	11.2	0.8	182.5	0.8	194	195	453	662
%	5.8	0.4	93.8					
DR/W [$\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$]	16.3	9.1	169.7	1.4	195	196	450	663
%	8.3	4.7	87.0					



Figuur 2 Golflengte verdeling voor de beide LED lamptypes.

Hoewel de hoeveelheid licht in DR/W tussen 500 en 600 nm laag (4.7%) is geeft dit bij het werken in het gewas een duidelijk ander beeld, dan bij de alleen DR/B licht. De ooggevoeligheid is juist hoog voor licht bij 500 tot 600 nm en daardoor wordt het gewas meer als een normaal kleurend gewas gezien. De keuze voor het DR/W spectrum is gebaseerd op de positieve effecten voor de werkomstandigheden en niet op grond van verwachte effecten van het gewas.

De efficiëntie van de LED lampen is $2.7 \mu\text{mol} \cdot \text{J}^{-1}$.

2.1 Waarnemingen

Dagelijks is er twee keer geoogst en is de productie in stuks en gewicht per bed geregistreerd. Deze productie is drie keer per week opgehaald en centraal verwerkt bij Flora Holland. Bij de verwerking van de bloemen die dan al een nacht over op water hebben gestaan wordt per lengte klasse het gewicht en de knophoogte gemeten voor de takken. Voor de sortering van A1, A2 of B kwaliteit is op het Improvement Centre wekelijks van ruim 100 takken de kwaliteitssortering bepaald. Al deze gegevens samen met klimaatdata worden weergegeven in week rapporten. Een voorbeeld hiervan is opgenomen als Bijlage 3. Omdat de derde tralie bij het Improvement Centre is uitgerust met een andere type LED wordt voor in het weekrapport de productie voor de 3 tralies apart weergegeven.

Voor de houdbaarheid zijn om de twee weken op maandag 20 takken van het Improvement Centre en 20 takken afkomstig van Marjoland voor 4 dagen in een koelcel geplaatst. Dit waren ook Red Naomi! takken van lengte 70 en één keer 60 cm in veilingrijp stadium. Het gewas bij Marjoland is een half jaar ouder dan van het Improvement Centre. Op vrijdag werden de takken in de uitbloeiruimte individueel op de vaas gezet. Na zeven dagen is de mate van openkomen beoordeeld en dagelijks zijn de bloemen beoordeeld op duur van het vaasleven.

3 Verloop van de teelt en de begeleiding

De teelt is begeleid door een groep telers, voorlichters en onderzoekers, participanten, die wekelijks op vrijdagmiddag de proef bezochten. De samenstelling van deze groep is wisselend geweest. Zonder uitputtend te zijn bestond deze groep uit de telers: Marc van der Drift, Sam van der Ende, Bart van Os, Tom Meewisse, Aad Meewisse, Steef Meewisse en Richard van der Lans, en verder uit Leontiene van Genuchten en Stefan Hendriks (Philips Lighting), Peter Kamp (Priva), Johan Sonneveld (particulier adviseur), Edwin van der Knaap (Delphy, tot december 2016), Floris van der Helm (Koppert), Lisanne Helmus-Schuddebeurs en Rick van der Burg (Improvement Centre).

In de wekelijkse bijeenkomsten van de begeleidingsgroep, die wordt voorgezeten door Arie de Gelder, is de ontwikkeling van het gewas een vast onderdeel, vervolgens wordt stilgestaan bij de klimaatregeling en zo nodig de aanpassingen daarin, de watergift en bemesting en de gewasbescherming.

Uit de verslagen van de wekelijkse bijeenkomsten is een beeld te vormen van het verloop van de teelt in hoofdlijnen. De overgang van SON-T naar LED belichting rond 1 april is goed verlopen. Er is gekozen voor goed onderdoor te knippen in april en alle rommel uit te knippen zodat het gewas een goede uitgangspositie zou krijgen voor takken van gemiddeld 60 gram. In april werd het gewas donkerder van kleur. Door het onderdoor knippen en uitknippen, kwamen er wel planten voor die vrijwel geheel kaal kwamen te staan. In mei is vooral bovendoor geknipt. Ondanks het "vrij kale gewas" was de groei goed. De uitloop is goed en het bladpakket is eind mei weer voldoende. Begin juni wordt gesproken van een uitstekende gewasstand die vrijwel vrij van meeldauw is. In de periode daarvoor moest wel om de 5 dagen met Meltatox worden gespoten om de meeldauw onder controle te houden. De snelheid waarmee de bloemen afrijpen lijkt wat trager zodat er soms maar één keer per dag geknipt hoeft te worden. Dit komt echter de uniformiteit niet ten goede, daarom is er in juli voor gekozen weer standaard 2 keer per dag te oogsten. De gewasstand is dan uitstekend en er wordt om de zeven dagen gespoten tegen meeldauw. Wel wordt gezegd dat de knop wat groter zou mogen zijn, daarbij wordt opgemerkt dat het oogsten gemiddeld in een vroeg stadium van ontwikkeling, relatief rauw, wordt gedaan omdat het product na de oogst maar 3 keer per week wordt opgehaald en verwerkt. In augustus wordt opgemerkt dat het gewas productief blijft met een goede knophoogte wat in de weken tot begin oktober blijft stijgen. De knop/steelverhouding is dan prima, met een heldere knopkleur en donker blad: 'Een imponerend gewas'.

In oktober wordt ruim 50% van de takken weer onderdoor geknipt zodat het gewas lager moet gaan uitlopen. Er worden in oktober enkele "vochtblaadjes" geconstateerd en eind oktober/begin november wordt opgemerkt dat de bladgrootte begint af te nemen. Met het afnemende natuurlijke licht en een lichte daling van de lichtsom per dag wordt verwacht dat de knopgrootte en takgewicht zullen afnemen. Begin november wordt opgemerkt dat er relatief veel zevenblad ontstaat aan de takken, iets wat in de praktijk wel wordt gezien maar minder duidelijk. De gedachte is dat de verwarming via de OPAC met een hoge ventilator stand de bladgrootte negatief beïnvloed, daarom wordt de ventilator van de OPAC in verwarmingsmodus begrensd en in december wordt er voor gekozen om de warmte primair via het buisrailnet in de kas te brengen (zie Bijlage 4).

Begin december wordt opgemerkt dat de takken opvallend zwaar bedoornd zijn, daarbij blijven de takken donker van de anthocyaan en kleuren niet naar groen en is de bladstrekking onvoldoende. Op dat moment is de kwaliteit van het gewas niet goed. In 8 weken tijd is de stand van het gewas en de morfologische ontwikkeling van "imponerend" teruggedaald naar "niet goed". Er wordt dan gekozen voor meer "traditioneel telen" waarbij verwarmd wordt met de buizen en de ontvochtiging via aanzuiging van boven het doek niet wordt benut. Eind december is het takgewicht gedaald naar minder dan 50 gram door het kleinere blad en de kleine knoppen. De bladeren zijn donker en binnen een knop komt kleurverschil voor tussen de kroonbladeren. Het takgewicht is gedaald, maar het aantal geoogste takken per m² is hoog. De ogen blijven gemakkelijk uitlopen. In januari 2017 is naast de buisrail verwarming, de groeibuis verwarming die net onder de teeltgoten ligt ingezet, dit om de temperatuur onderin het gewas beter te sturen. Eind januari worden de bladeren weer iets groter, maar nog wel veel bedoornig al lijkt die wel iets af te gaan nemen. Eind januari zijn de takken niet mooi recht, maar iets gebogen met meerdere krommingen.

Half februari begint het gewas op te knappen, nog wel symptomen van klein blad en bedoornig, maar de knop wordt hoger en breder, het takgewicht neemt toe en de lengte is goed. De problemen die in de winter zijn gezien, onder beide type LED lampen en die samengevat kunnen worden als een 'syndroom' (zie Bijlage 2) nemen af.



Figuur 3 Verschil in bladkleur tussen rozen uit de LED kas (rechts) en een praktijk bedrijf (links).

Begin maart zien we duidelijk verbetering in takkwaliteit al gaat het langzaam, er wordt dan weer meer bovendoor geknipt waarbij voldoende taklengte (= ogen) blijft staan om later weer onderdoor te kunnen knippen.

Begin april is de temperatuur in de periode tussen middernacht en zon-op verhoogd van 16°C naar 17°C, omdat LED de gewastemperatuur minder beïnvloed dan SON-T belichting. Door bij een hogere ruimte temperatuur te gaan telen wordt het gewas warmer en dat is gunstig voor de fotosynthese en de ontwikkeling. In april is er ook een minimumbuis op verwarmen ingezet. De takken ontwikkelen goed, al blijft de knopgrootte aan de lage kant. In juni wordt het relatief warm in de kas omdat de koeling niet maximaal kon worden gebruikt. De aanvoertemperatuur van het koude water voor de OPAC was te hoog, als gevolg van een regeltechnische storing. In de klimaatregeling zijn steeds de opstookstrategie en de strategie van afkoelen naar de nacht aandachtspunten geweest evenals het gebruik van de schermen en de inzet van de OPAC voor koelen en verwarmen. Daarbij moest goed gelet worden op ongewenste combinaties van instellingen zoals koelen met de OPAC en gelijktijdig verwarmen met buizen, lampen aan en schermen dicht als zonwering.

3.1 Bemesting en watergift

Voor de start van het experiment is de watergeefunit van het Improvement Centre zo aangepast dat er met recirculatie op alleen de rozen-afdeling geteeld kan worden. Daarvoor is de drainopvang gescheiden van de drainopvang van het overige deel van het Improvement Centre. In de zomer 2016 is het gebruik van de recirculatie goed gegaan, maar in december werd geconstateerd dat de voedingscijfers niet stabiel waren en er veel sporenelementen aanwezig waren in mat en voeding. Dit had te maken met het niet apart kunnen doseren van een sporenmengsel dat is gericht op roos, maar het sporenmengsel werd gemaakt voor het gehele IC. Er is daarom omgeschakeld naar niet recirculeren en werken met een verse voedingsoplossing. Dit heeft de voedingstoestand van het gewas genormaliseerd. Na installatie van een aparte voorziening om sporenelementen toe te voegen is teruggegaan naar recirculatie. In de BCO is vanaf half december meer aandacht besteed aan de nutriënten analyses en de pH en EC van gift en drain. De voeding en watergift is daarna weer gestabiliseerd met lagere gehalten aan sporenelementen. Het recirculeren van de voeding bleek in deze proef mogelijk als er nauwkeurig wordt gelet op de gerealiseerde toestand in de mat.

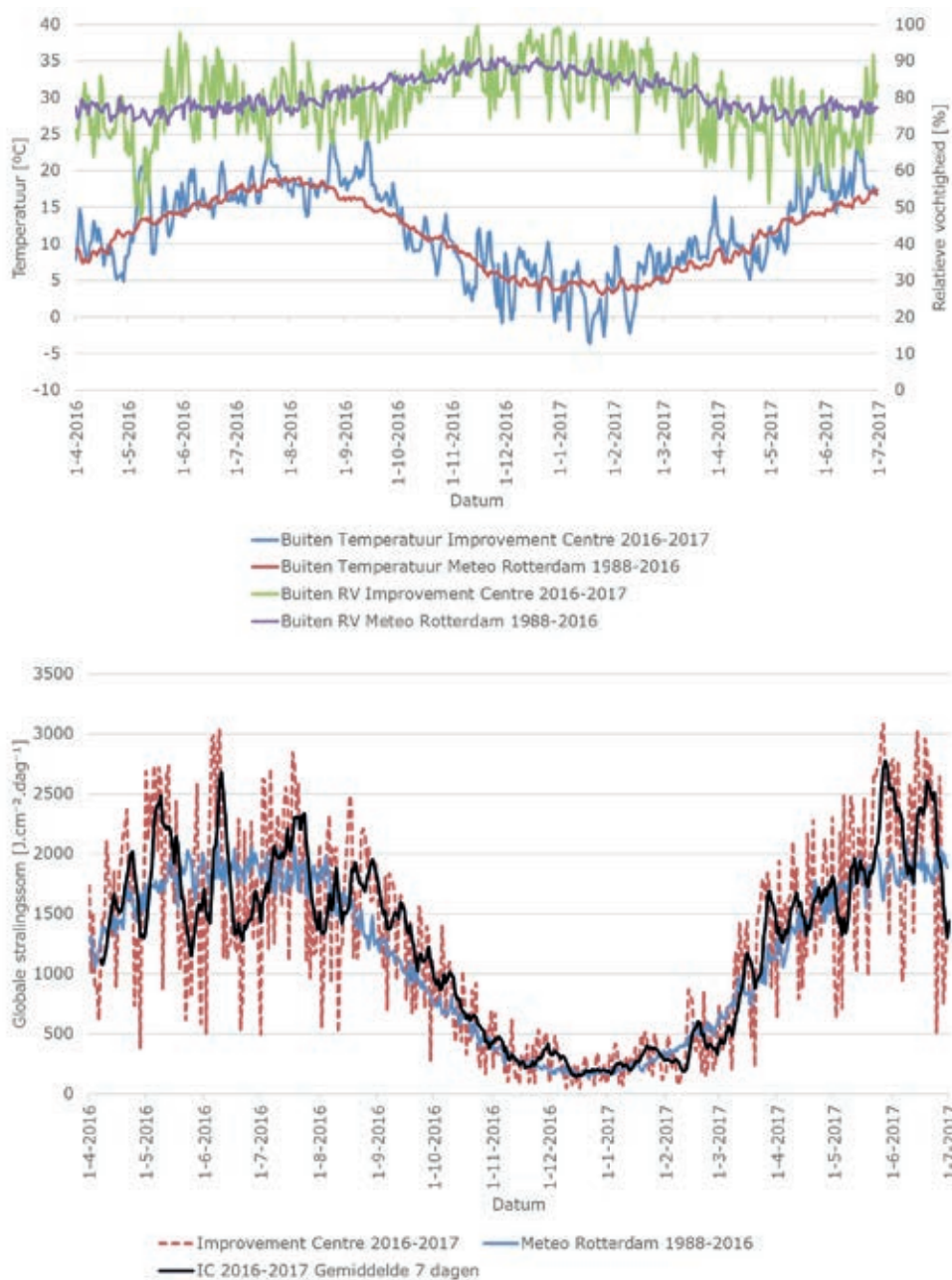
3.2 Karakterisering van de teelt

Samengevat is de teelt in de zomer van 2016 uitstekend verlopen en in de winter van 2016-2017 schoot de gewaskwaliteit te kort, in het voorjaar van 2017 hersteld het gewas. De hoeveelheid productie is vergelijkbaar met voorgaande jaren. Voor de mindere gewaskwaliteit in de winter worden de oorzaken gezocht in de verhouding natuurlijk licht- LED licht, mogelijk gerelateerd aan het spectrum van de LED, de gewas temperatuur en mogelijk effecten van bemesting.

4 Resultaten

4.1 Klimaat buiten

De klimaatregeling voor temperatuur, licht en vochtigheid in de kas bij het IC is dankzij de belichting en koeling beter te sturen dan in normale kassen. Toch zijn de buitenomstandigheden wel belangrijk. In 2016 was het eind augustus en begin september in vergelijking met andere jaren warm en zonnig. Er was sprake van bijna een hittegolf en ook in mei en juni 2017 was het warm vergeleken met andere jaren. In juni 2017 ging de warmte wel gepaard met een hogere stralingssom, zodat de verhouding lichtsom en etmaaltemperatuur beter te handhaven was.



Figuur 4 Buitentemperatuur, relatieve luchtvochtigheid en lichtsom per dag gedurende de proef gemeten op het Improvement Centre en het langjarige [1988-2016] gemiddelde van het meteo station Rotterdam. [BRON: KONINKLIJK NEDERLANDS METEOROLOGISCH INSTITUUT (KNMI)].

4.2 Productie

In het projectplan was voorzien dat de periode april tot en met juni 2016 nodig zou zijn om het gewas aan te passen aan het telen onder de LED belichting. In de groei en ontwikkeling is dit echter niet visueel geconstateerd. De overgang ging zonder direct zichtbare negatieve effecten zodat voor de voortgang in de weekrapporten de productie vanaf 1 april is gerapporteerd en in de gegevens in de grafieken ook de hele teeltperiode is genomen.

Voor het leesbaar houden van de productiecijfers worden de gegevens in de tabellen wel als jaar productie voor de periode week 27, 2016 tot en met week 26, 2017 vermeld. De productiegegevens worden vergeleken met de gegevens van de teelt onder SON-T van het jaar 2015-2016. Gegevens over de prognose die gemaakt was voorafgaand aan het gehele rozen project in 2013 zijn niet meer gegeven omdat die duidelijk lager was dan nu wordt gerealiseerd.

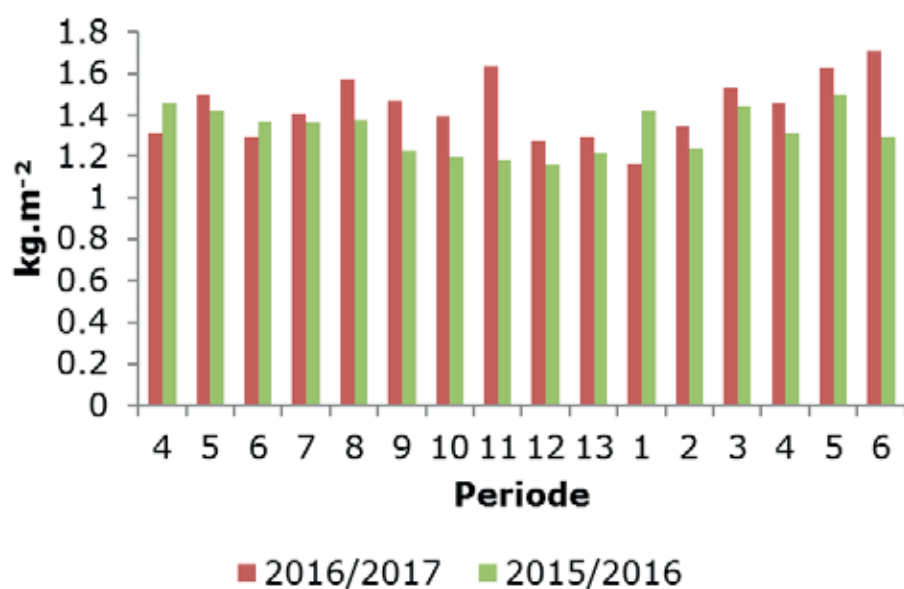
Tabel 2

Jaar productie over week 27-2016 tot en met week 26-2017 vergeleken met de productie over de periode week 13-2015 tot en met week 12-2016.

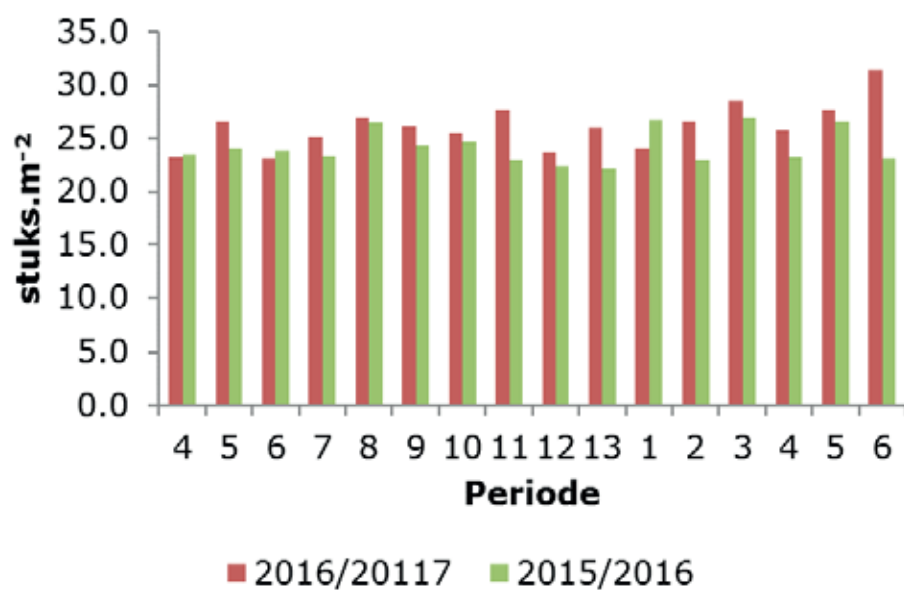
	Productie 2015-2016 (rapport duurzaamheid)	Productie 2016-2017
Gewicht [kg/m ²]	17.4	18.9
Aantal [# /m ²]	320	346
Takgewicht [gram]	54.3	54.7

De productie was op jaarbasis 18.9 kg.m⁻². Dat zijn 346 takken van gemiddeld 54.7 gram. Hiervan werd 90% geclassificeerd als A1, 9.9% als A2 en 0.1% als B. Het takgewicht is een fractie hoger dan in 2015-2016 het aantal stuks en het totaalgewicht zijn ruim 8% hoger. De reden hiervoor is de hogere lichtsom die de planten kregen (zie 4.5).

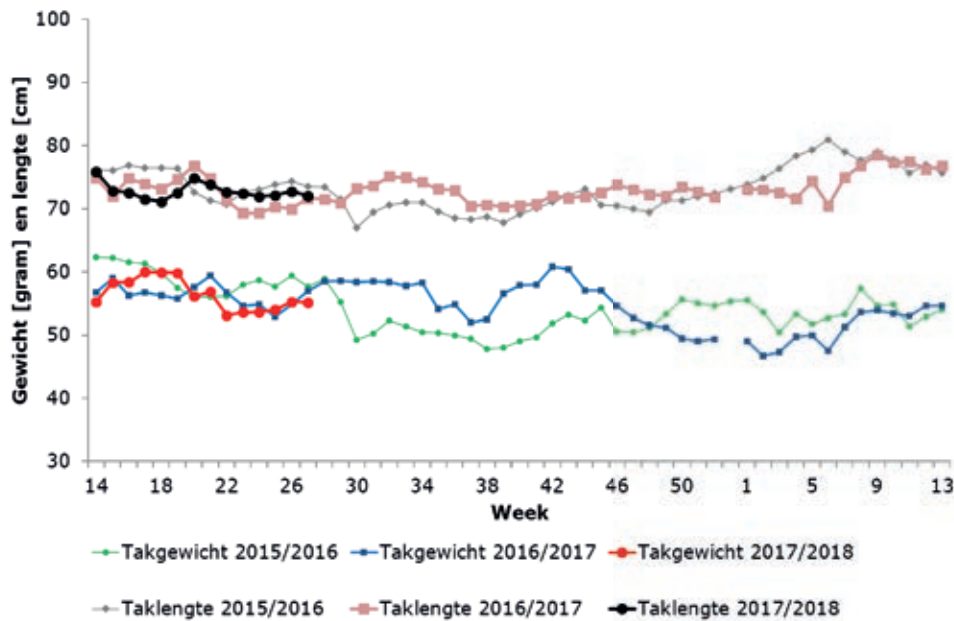
Uit de productie per periode van vier weken is af te leiden dat de meer productie voor de LED proef 2016-2017 is gerealiseerd in het najaar van 2016 (periode 8 tot en met 11) en in voorjaar 2017 (periode 5 en 6). In de winter is de productie vergelijkbaar alleen in periode 1 was de productie in de LED proef lager dan een jaar eerder. Vooral in periode 11 (week 41-44) is de productie in kilogram en stuks per m² hoger dan een jaar eerder. Dit is waarschijnlijk het resultaat van de zonnige periode daarvoor waarbij de planten meer PAR licht kregen dan in 2015.



Figuur 5 Productie in kilo per m² per periode van 4 weken voor de proef onder LED en van de teelt het jaar er voor onder SON-T.



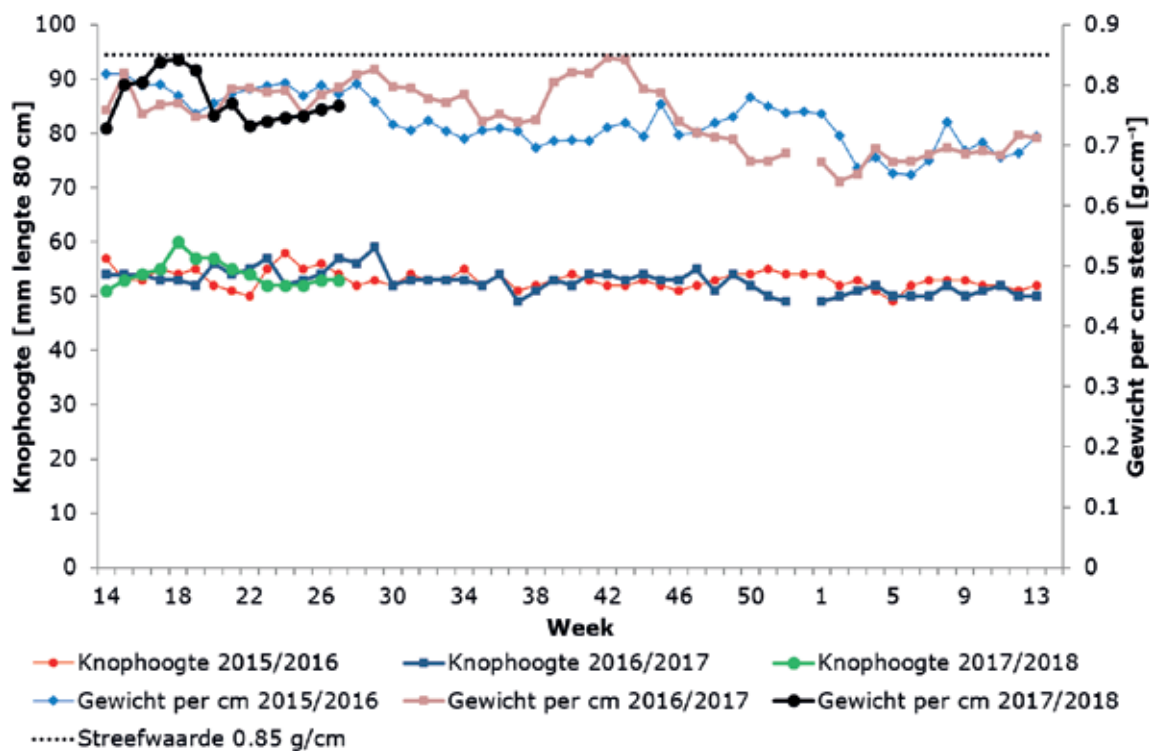
Figuur 6 Productie in stuks per m² per periode van 4 weken voor de proef onder LED en de teelt het jaar er voor onder SON-T.



Figuur 7 Takgewicht gemiddeld over alle geoogste takken per week en de gemiddelde taklengte voor de proef onder LED en voor de teelt het jaar ervoor onder SON-T.

Opvallend in het takgewicht, zoals gemeten in de kas direct na het oogsten, is dat dit in de zomer van 2016 tot en met week 43 hoog bleef met ongeveer 60 gram en een taklengte van iets boven de 70 cm. Na week 43 (ongeveer 1 november) nam het takgewicht wekelijks af tot onder de 50 gram in week 2 van 2017. Dat is een daling van ruim 10 gram in 10 weken. In diezelfde periode daalde ook het gewicht per cm van 0.85 naar 0.64 gram/cm en de knophoogte van 54 naar 49 mm. Tot week 43 is de productie en kwaliteit van de rozen prima en was het een goed gewas, zoals ook uit de beschrijving van het verloop van de teelt blijkt, daarna is de kwaliteit sterk afgenomen. De periode van 10 weken is een paar weken langer dan de uitgroeiduur van een tak, die ongeveer 7 weken is.

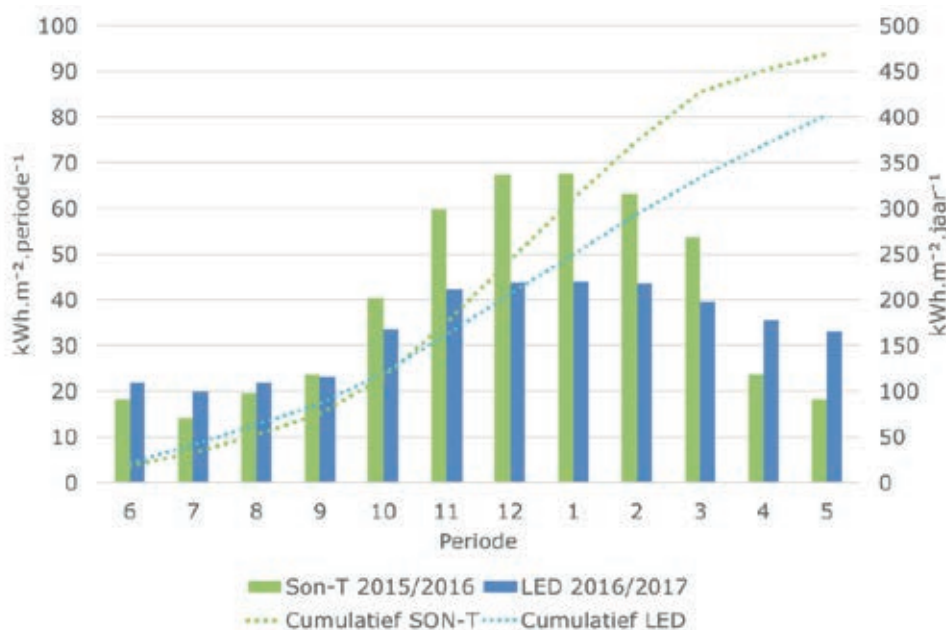
Na het dieptepunt in januari knapt het gewas geleidelijk weer op. In het voorjaar van 2017 (april) is het gewicht per cm weer 0.85 gram/cm en de knophoogte boven de 55 mm. De takken worden daarna wel weer iets lichter, maar de kwaliteit blijft gemiddeld voldoende. De cijfers van de productie onderbouwen wat in paragraaf 3 al is beschreven over het kwaliteitsverloop en de problemen daarin die samengevat zijn in het begrip "syndroom" (Bijlage 2).



Figuur 8 Knophoogte bij een taklengte van 80 cm en het gewicht per cm steel voor de proef onder LED en voor de teelt het jaar ervoor onder SON-T.

4.3 Energie

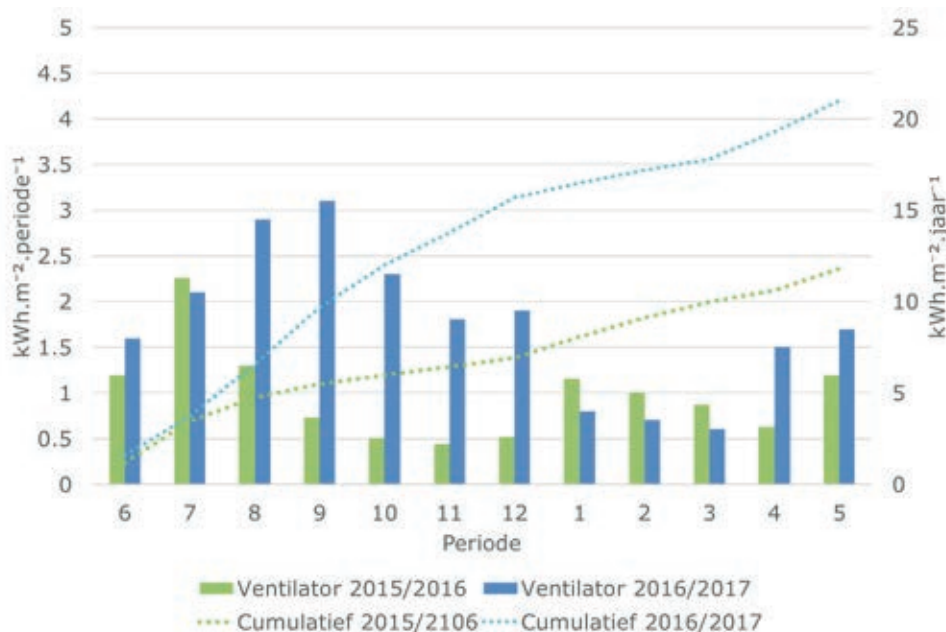
De toepassing van LED zou tot een grote besparing op elektriciteit moeten leiden. De doelstelling is een besparing van 500 naar 400 kWh per m² per jaar. Over een jaar gemeten - periode 6, 2016 tot en met periode 5, 2017 - was het cumulatieve gebruik aan elektriciteit 402 kWh·m⁻² (Figuur 8). Daarmee is het gebruik voor belichting precies op de doelstelling uitgekomen. In de zomer periode is er met de LED belichting meer elektriciteit gebruikt dan met de SON-T omdat er in de morgen meer is belicht, zonder dat dit leidt tot een warmte overschot in de kas. Bij wisselende omstandigheden wordt op momenten dat de globale straling daalt tot onder de 400 W·m⁻² de LED aangezet. De SON-T blijft bij wisselende omstandigheden uit. Het voordeel van het snel schakelen is dat de plant altijd tenminste 200 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ aan licht krijgt.



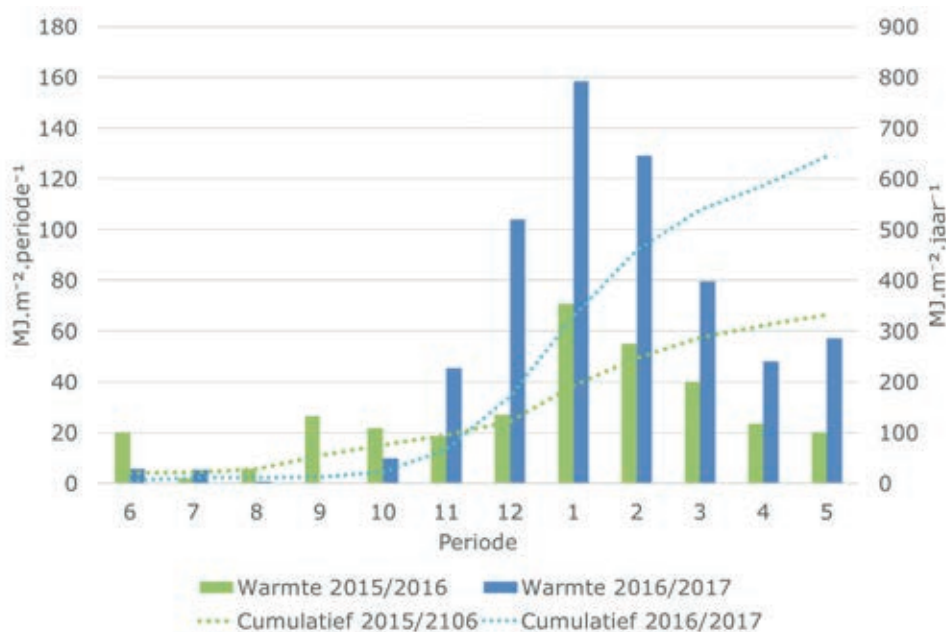
Figuur 9 Energie voor belichting per m² in de LED proef 2016-2017 en in de SON-T proef een jaar daarvoor, zowel per periode van 4 weken als cumulatief.

De besparing op elektriciteit wordt in de winter gerealiseerd als voor dezelfde hoeveelheid licht met de LED minder energie nodig is dan bij SON-T. In de winter wordt zowel met LED als met SON-T het maximale aantal (20) uren per dag belicht. Door de verschillen in rendement van LED en SON-T wordt er voor dezelfde hoeveelheid licht minder elektriciteit gebruikt. Een SON-T geeft maximaal $1.9 \mu\text{mol} \cdot \text{J}^{-1}$ en de LED geeft $2.7 \mu\text{mol} \cdot \text{J}^{-1}$. In de zomer wordt er met de LED meer uren belicht en is daardoor het energiegebruik hoger dan het jaar daarvoor toen alleen SON-T kon worden gebruikt. Door de hogere inzet in de zomer en het lagere gebruik in de winter is het afname patroon voor elektriciteit voor belichting met LED veel vlakker dan bij gebruik van SON-T.

Naast elektriciteit voor de lampen wordt in de kas elektriciteit gebruikt voor de ventilatoren van de OPACs. Dat is in verhouding maar een klein deel van het elektriciteits gebruik. De ventilatoren worden het meeste gebruikt als de OPAC in koel modus draait, dat was in periode 8, 9 en 10 (Figuur 10 en Figuur 12).

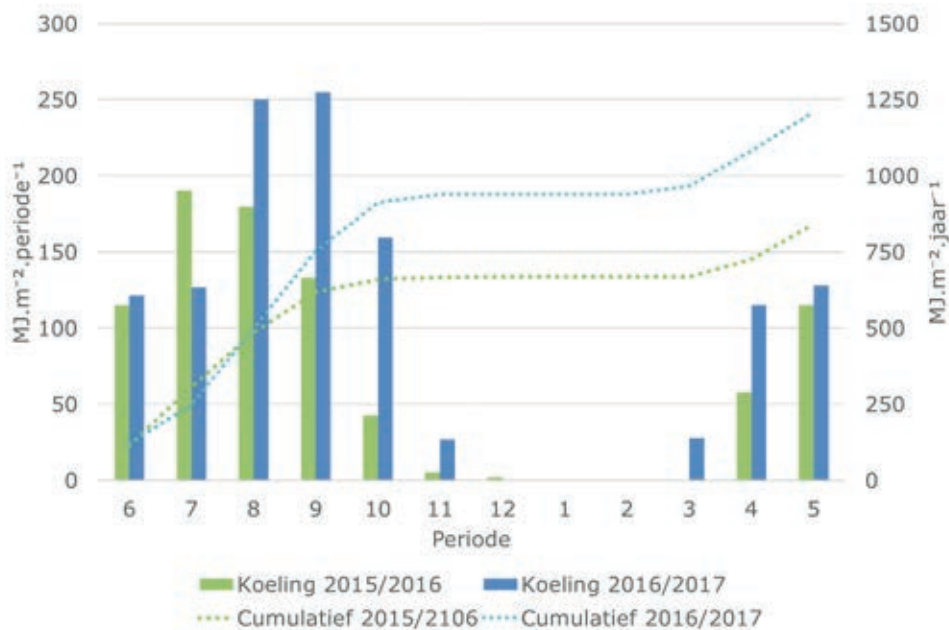


Figuur 10 Gebruik van elektriciteit voor de OPAC ventilatoren in de LED proef 2016-2017 en in het jaar daarvoor met SON-T.



Figuur 11 Warmte gebruik per periode in de LED proef 2016-2017 en in het jaar daarvoor met SON-T.

Het totale warmte gebruik is in de LED proef aanzienlijk hoger dan in het jaar dat met SON-T werd verwarmd. Dit heeft te maken met de warmteafgifte van de LED die lager is dan de SON-T en met het feit dat om het "syndroom" te bestrijden er in de winter bewust meer warmte via het ondernet is ingebracht. De hoeveelheid warmte is echter nog steeds lager dan de verzamelde hoeveelheid energie via de koeling. Alle warmte die nodig is kan dus via koeling worden verzameld en er is geen aanvullende warmtebron nodig.



Figuur 12 Energie verzameld via de koeling in de LED proef 2016-2017 en in het jaar daarvoor met SON-T.

De toepassing van de LED in combinatie met koeling zal voor de energiebehoefte van een bedrijf gunstiger zijn dan de combinatie SON-T met koeling. Er is minder elektriciteit nodig, die een vlakker afname patroon over het jaar kent en de verhouding gebruikte warmte en geoogste energie door koeling is beter zodat een aquifer beter in balans blijft.

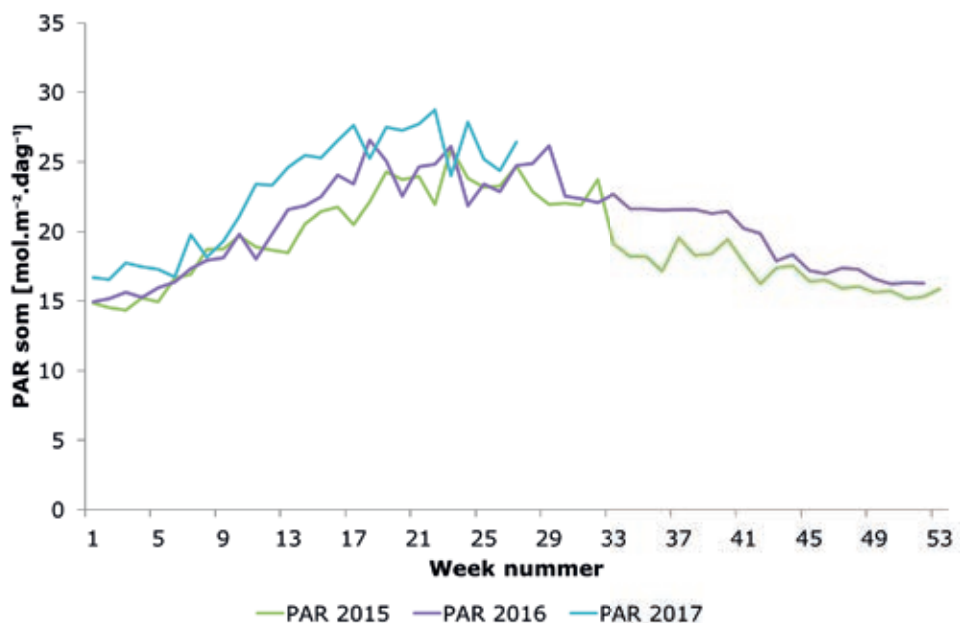
Voor energie behoort door de combinatie van koeling met LED de optie om uitsluitend elektriciteit als input te hebben tot de mogelijkheden. Daarmee zou een belangrijke stap gezet kunnen worden naar een meer duurzame rozen teelt.

4.4 CO₂

In de teelt wordt gedurende de belichting en dag gestreefd naar een CO₂ concentratie van 1000 ppm. Hiervoor is tussen de 4 en 8 kg.m⁻² CO₂ per periode van 4 weken nodig. De hoeveelheid is afhankelijk van de mate van ventilatie. Het gebruik in de LED proef was niet afwijkend van het gebruik in de periode daarvoor met SON-T belichting. Totaal werd in een jaar ongeveer 75 kg CO₂ per m² gebruikt.

4.5 Kasklimaat

Eén van de belangrijkste factoren voor de productie van roos is de lichtsom op het gewas. In de LED proef is de PAR-som gemiddeld hoger geweest dan bij gebruik van SON-T.

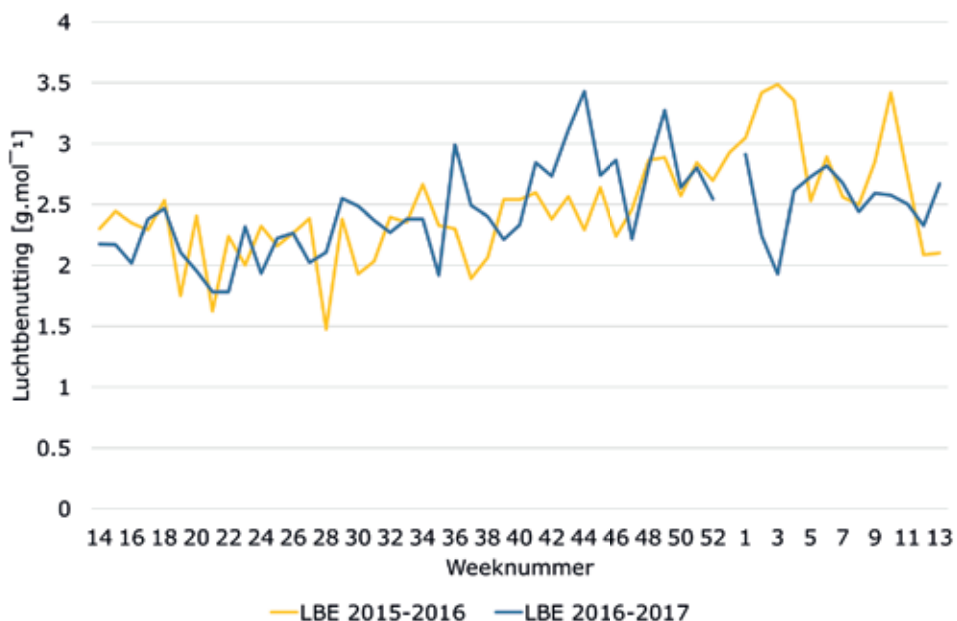


Figuur 13 De lichtsom per week voor de LED proef 2016-2017 en het jaar daarvoor met SON-T.

Over een jaar gemeten was de lichtsom in de LED proef $7852 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2}$ en 7114 in de SON-T proef. Dit moet ook leiden tot een hogere productie. Het verschil in lichtsom is 10.4% en het productieverhaal over die periode is 8.9% (zie 4.2). De meer productie is dus vrijwel geheel verklaarbaar uit de hogere PAR som en niet toe te schrijven aan een hogere effectiviteit van de LED.

4.5.1 Lichtbenuttingsefficiëntie

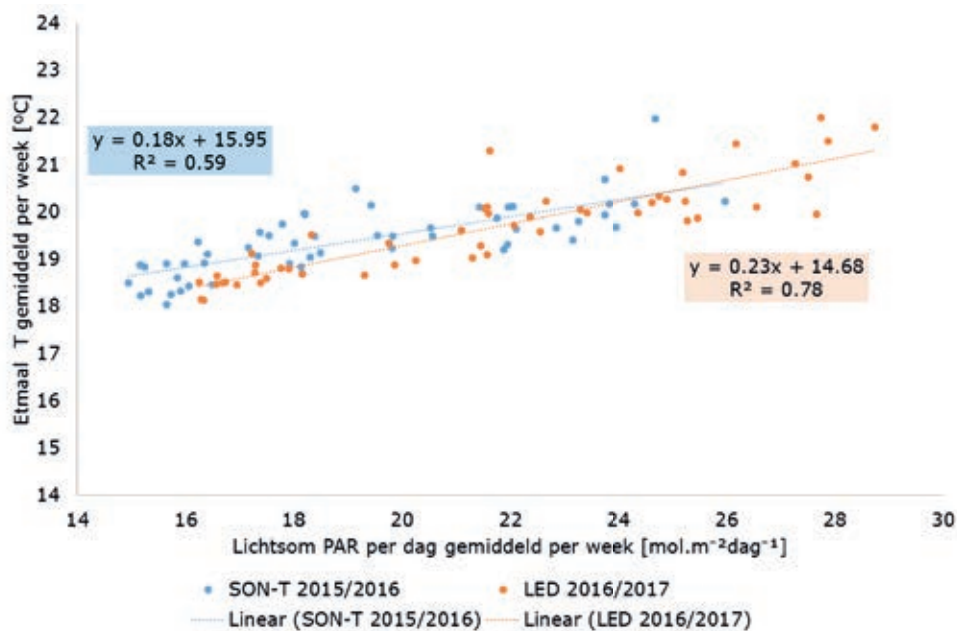
Zoals hierboven is aangegeven is de productiestijging vrijwel gelijk aan de stijging van de lichtsom. Dat betekent dat de lichtbenuttingsefficiëntie van de plant vrijwel gelijk moet zijn geweest met het 2015-2016. Gemiddeld over een jaar was de lichtbenutting $2.43 \text{ gram} \cdot \text{mol}^{-1}$ in beide jaren. Natuurlijk waren er verschillen tussen weken, maar op jaarbasis was er geen verschil. De pieken en dalen in de LBE per week hebben te maken met pieken en dalen in de productie per week. In week 2 en 3 van 2016 was er een kleine piek in productie en in 2017 juist een dal in de productie. Dat zie je dan terug in de LBE voor die week.



Figuur 14 Lichtbenuttingsefficiëntie in $\text{gram} \cdot \text{mol}^{-1}$ per week.

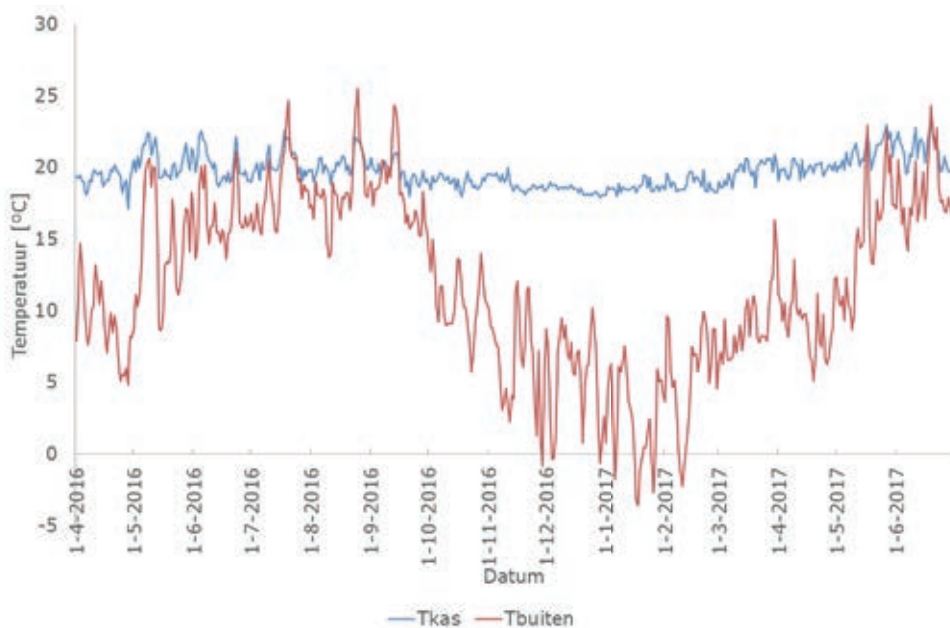
4.5.2 Etmaaltemperatuur en lichtsom

De etmaaltemperatuur was in de LED proef 19.65 en 19.40 in de SON-T proef. Vooral bij lagere lichtsommen is de etmaaltemperatuur in de LED proef iets lager geweest dan bij gebruik van SON-T. Terwijl vanuit gewastemperatuur gedacht de kastemperatuur juist iets hoger zou moeten zijn om een gelijke gewastemperatuur te bereiken. Dit leidt tot de conclusie dat er meer warmte in de kas moet worden gebracht om bij gelijke lichtsommen een vergelijkbare etmaaltemperatuur te halen als er moet worden gestookt. De andere kant op geredeneerd is het met LED makkelijker om een lage etmaaltemperatuur te handhaven, dit is weer gunstig met het oog op sluiten van schermen tegen lichtemissie.



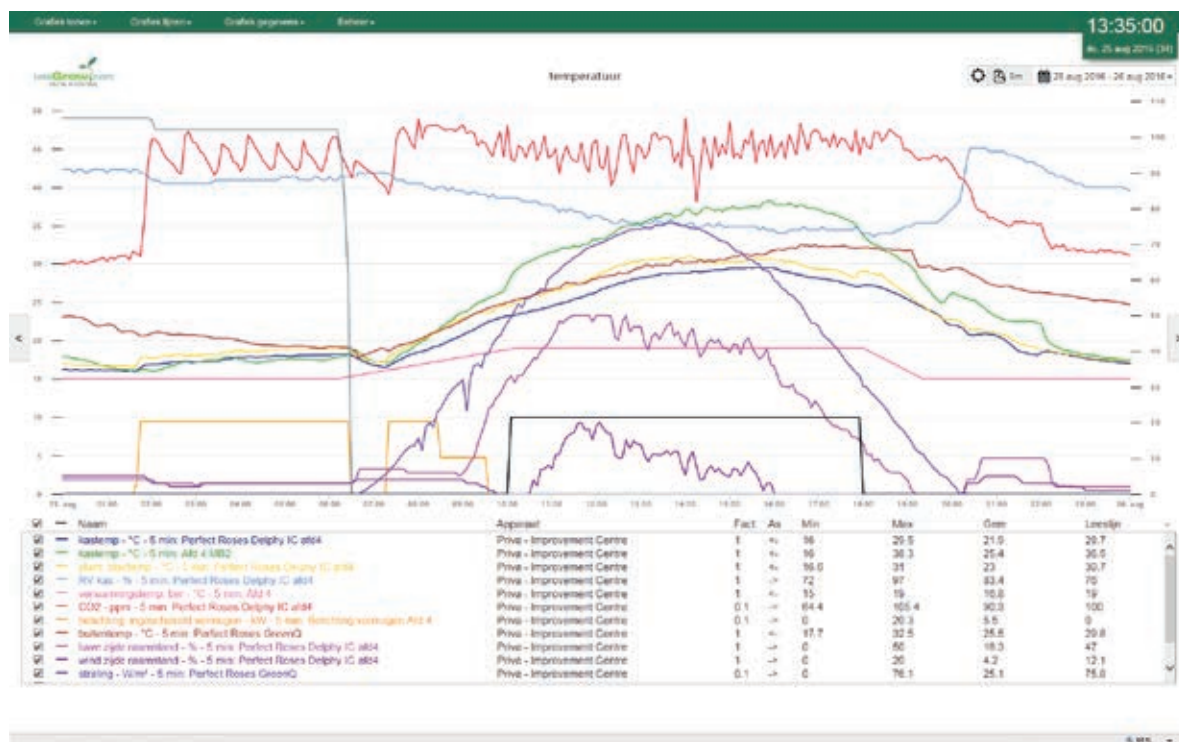
Figuur 15 De etmaaltemperatuur gemiddeld per week tegen de gemiddeld lichtsom per week voor de LED proef en voor de SON-T proef een jaar eerder.

De kastemperatuur over het jaar is redelijk constant. Als de etmaaltemperatuur buiten boven de ongeveer 20°C komt dan blijkt dat de koeling in staat is om de etmaaltemperatuur van de kas te beheersen en onder de buitentemperatuur te houden. De meest extreme dag in dit opzicht was 25 augustus 2016 (Figuur 17).



Figuur 16 Etmaaltemperatuur van de kas en van de buitenlucht.

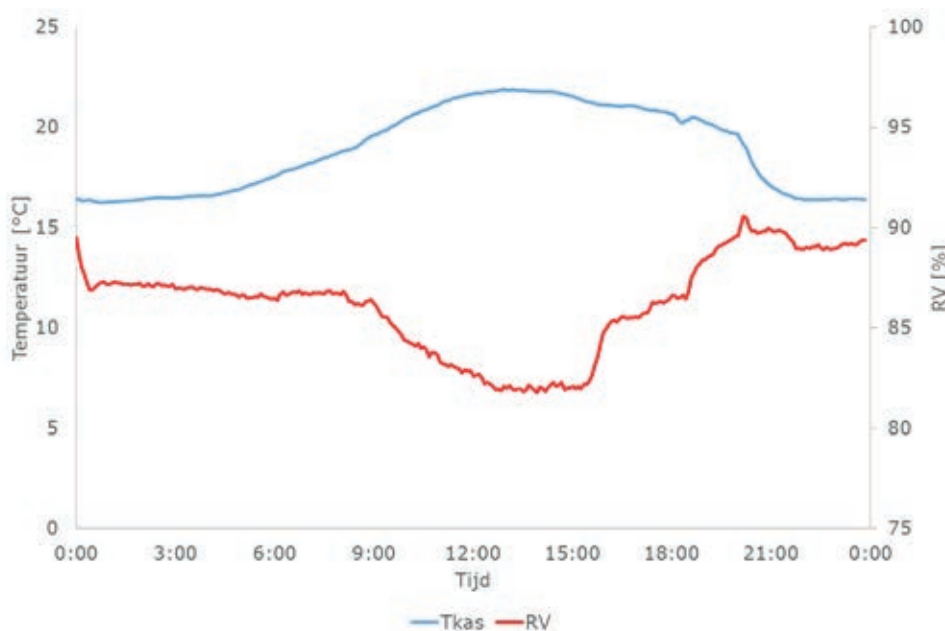
Ondanks de koeling en de belichting in de ochtend was de kastemperatuur met 22°C nog hoog in verhouding tot de lichtsom van 21.2 mol·m⁻² die dag. Voor een constante lichtsom etmaaltemperatuur verhouding zou de etmaaltemperatuur ongeveer 20°C geweest moeten zijn. Toch is het veel beter dan de normale praktijk die op deze dag rond de 24°C etmaaltemperatuur realiseert.



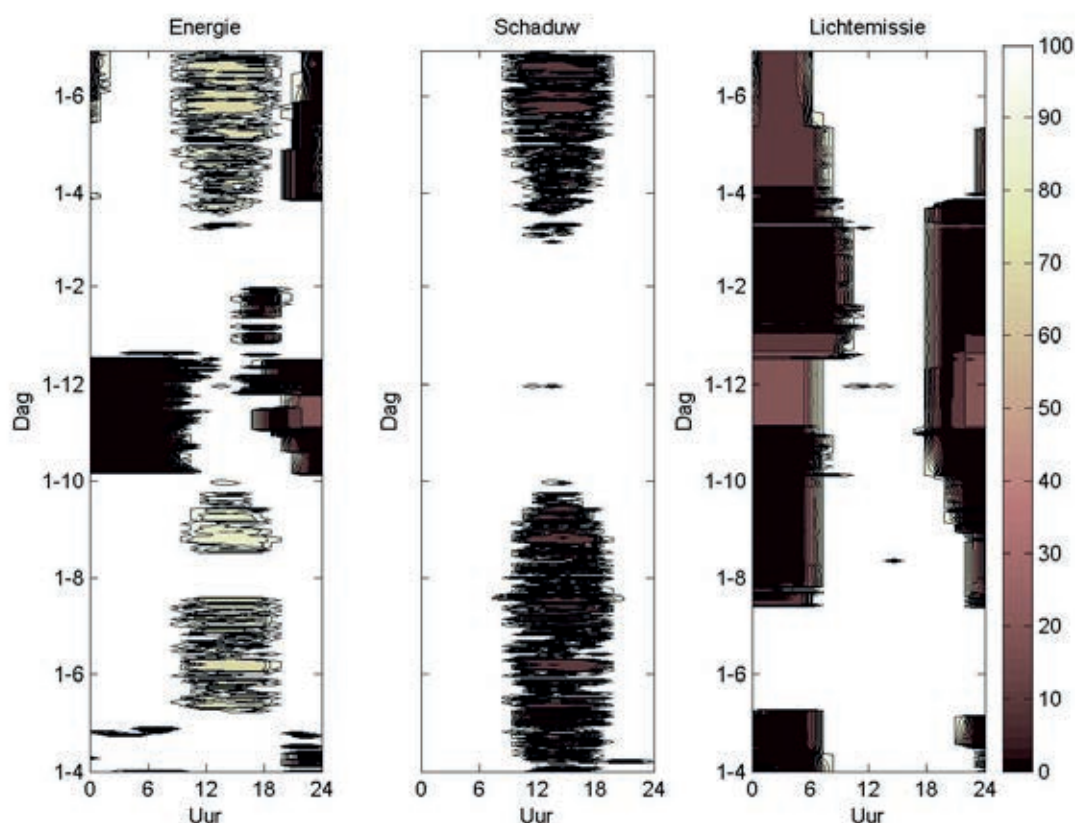
Figuur 17 Het kas klimaat en de buitenomstandigheden op de extreme dag 25 augustus 2016. De kastemperatuur is het gehele etmaal onder de buitentemperatuur gebleven.

4.5.3 Schermen en lichtemissie

Een voordeel van toepassing van LED belichting zou moeten zijn dat er minder warmte ophoping onder de schermen is en dat het scherm daarom langer gesloten kan blijven. Het lichtemissie scherm is een groot deel van de belichte periode op 90% gesloten gebruikt (Figuur 19). Dit is meer dan praktijktelers kunnen handhaven, maar niet volledig gesloten. De lichtemissie is daardoor duidelijk minder. Helemaal gesloten kan het scherm moeilijk omdat de luchtvochtigheid boven de 85% blijft ondanks de geforceerde ventilatie van lucht boven het doek via de aanzuiging op de OPAC (Figuur 18). Een te hoge temperatuur in de combinatie van LED, schermen en zonodig koeling is niet het probleem, maar de hoge luchtvochtigheid. In combinatie met het gesloten energiedoek in de winter kunnen bij de toepassing van LED belichting de schermen intensiever gebruikt worden. Het schaduwdoek is in de zomer bij een lichtintensiteit boven de $600 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ gebruikt in combinatie met het energiescherm. Het schaduwdoek wordt dan voor 90% gesloten en het energiedoek 20% zodat het gehele gewas in de schaduw van doek staat. Dit is nodig ondanks het diffuse kasdek, om verbranding van de randjes van de kroonbladeren te voorkomen.



Figuur 18 Cyclisch verloop van de temperatuur en relatieve luchtvochtigheid over een etmaal gemiddeld voor de periode 1 november 2016 tot en met 31 januari 2017.



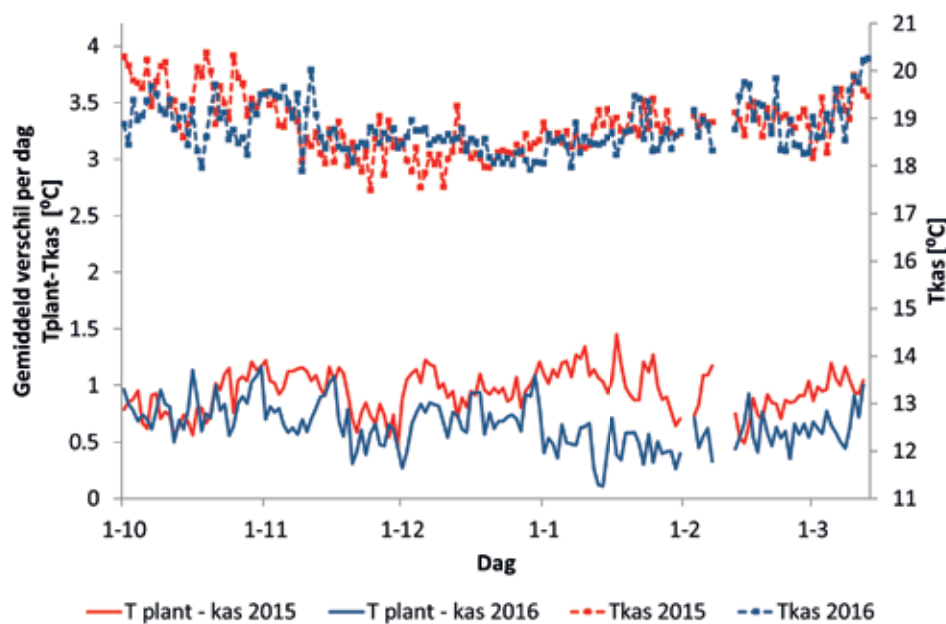
Figuur 19 Standen van de drie schermdoeken per uur per dag in % open. (100= volledig open, 0 = volledig gesloten).

Sluiten van een of meerdere doeken in de natuurlijke nacht gaat als neveneffect uitstraling van het gewas naar een koud kasdek tegen. Dit is bij het bepalen van de schermstrategie niet leidend geweest, maar wel als aanvullend gegeven meegenomen in de overwegingen bij het schermgebruik.

4.5.4 Gewastemperatuur

Vanaf het begin van het onderzoek "Perfecte Roos" is voor meting van de gewastemperatuur een IR-camera gebruikt die een gemiddelde temperatuur van de bovenkant van het gewas laat zien. Dit jaar is er naast deze camera een beeldvormende IR camera, Thermoview48 Lets Grow, in de kas gehangen. Deze camera is geregeld gebruikt om naar de gewastemperatuur en naar temperatuur van knoppen te kijken. Er wordt in dit verslag niet verder over de werking en het gebruik van deze camera geschreven. Het is een hulpmiddel om beter de gewastemperatuur in alle delen- knop, stengel, blad – te volgen. De camera en software moesten wel geregeld op werking worden getoetst.

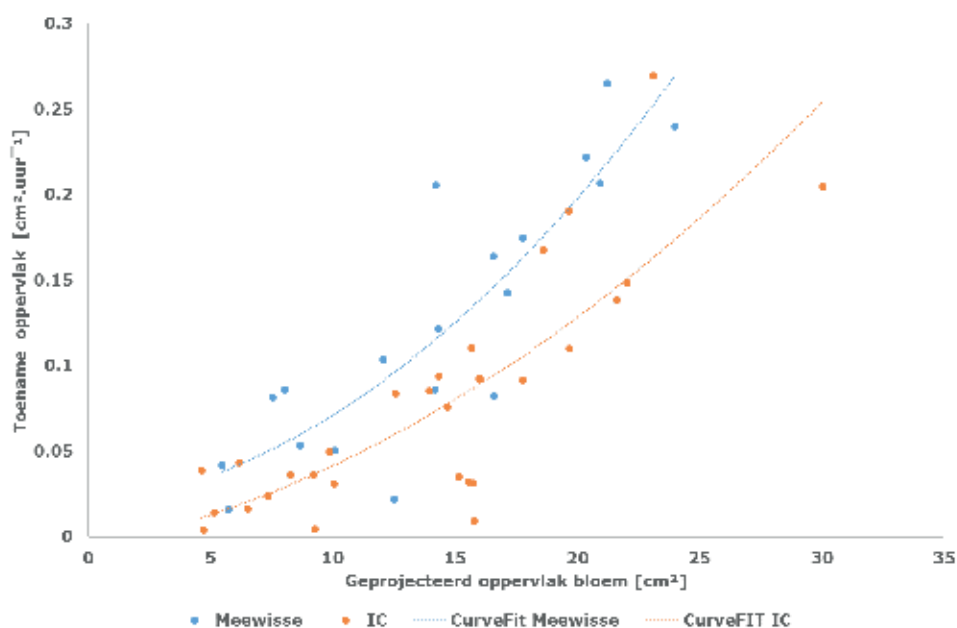
De gewastemperatuur met de standaard IR meter was bij gebruik van de LED gemiddeld dichterbij de ruimtetemperatuur dan bij gebruik van de SON-T (Figuur 20). Tussen 1 november en 1 maart was bij LED de gewastemperatuur gemiddeld 0.6°C en bij gebruik van SON-T 1.0°C boven de kas temperatuur. Dit verschil van 0.4°C moet om een gelijke gewasontwikkeling te hebben bij gelijke lichtintensiteit dus aan extra etmaaltemperatuur van de kas worden gerealiseerd. Dit is in deze proef niet gedaan want de etmaaltemperatuur was over die periode vrijwel gelijk in beide jaren 18.7 en 18.4°C.



Figuur 20 Kas temperatuur en verschil van de planttemperatuur met de kastemperatuur in de LED proef (2016) en een jaar eerder bij gebruik van SON-T (2015).

4.5.5 Knopontwikkeling

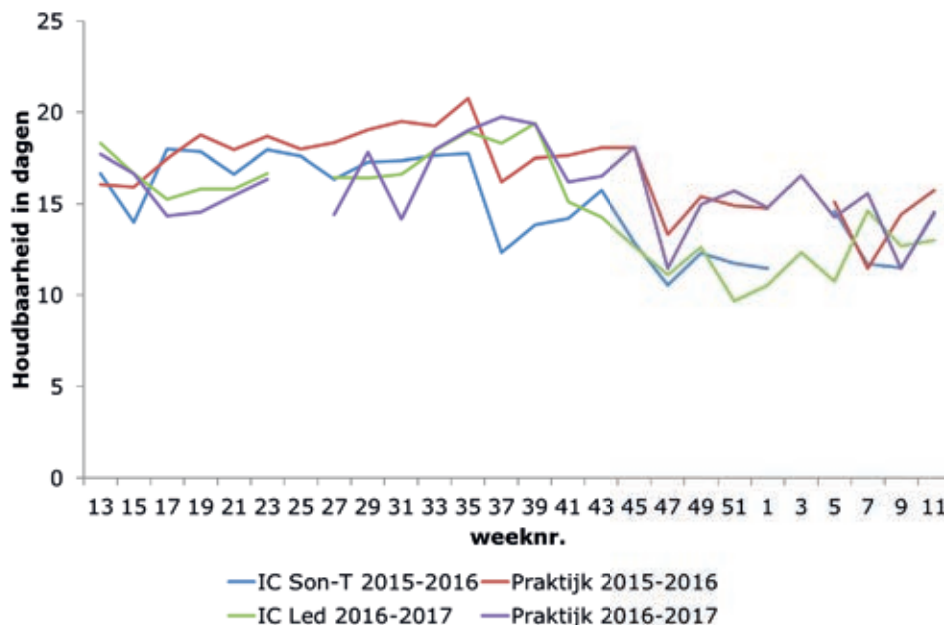
In het begin van de LED proef werd geconstateerd dat de knopontwikkeling mogelijk iets trager was dan van normale SON-T belichte rozen. Via timelapse opnames bij het IC en bij Aad en Tom Meewisse is onderzocht of dit ook werkelijk het geval was. Dit is een zeer intensieve meting waarbij veel foto's moeten worden geanalyseerd. Uit de analyse komt dat er inderdaad sprake is van een verschil in ontwikkelingssnelheid (Figuur 21). De bloemen bij Meewisse ontwikkelen sneller dan de bloemen bij het Improvement Centre bij gelijke grootte. Dit heeft vermoedelijk te maken met de knoptemperatuur. De spreiding in de waarnemingen is nog wel aanzienlijk. Daarbij kan de knoptemperatuur ook hoger zijn door een hogere ruimtetemperatuur. Dit is niet verder geanalyseerd.



Figuur 21 Ontwikkelingssnelheid bloemknop afhankelijk van bloemgrootte bij Meewisse en in de LED-proef.

4.6 Houdbaarheid

In de zomer tot en met week 40 was de houdbaarheid van de rozen onder LED gelijk aan de praktijk, terwijl een jaar eerder de rozen van het Improvement Centre onder SON-T slechter houdbaar waren dan de praktijk (Figuur 22). In de winter zakte de houdbaarheid naar een vergelijkbare duur als een jaar eerder bij gebruik van SON-T en korter dan die van de praktijk, maar nog altijd tenminste 10 dagen vaasleven. Voor een goede kwaliteit moet de houdbaarheid vergelijkbaar zijn met de praktijk. De beperking is wel dat "praktijk" hier de houdbaarheid van de rozen van één bedrijf betreft.



Figuur 22 Houdbaarheid in dagen voor de rozen van het IC vergeleken met die van een praktijkbedrijf voor de LED proef en het jaar daarvoor met SON-T.

4.7 Gewasbescherming

De gewasbescherming is een geïntegreerde aanpak om problemen met meeldauw, trips, luis en witte vlieg te voorkomen of te beheersen. De advisering en scouting hiervoor is gedaan door Floris van der Helm van Koppert. Voor meeldauw is gewerkt met Meltatox gecombineerd met Hicure, Serenade of Collis. Voor de frequentie van bespuiting en de hoeveelheid middel is steeds gekeken naar de mate van aantasting. Gemiddeld is er om de vijf en halve dag gespoten. Hoewel niet bewezen lijkt het er op dat luchtbeweging in combinatie met koeling de aantasting door meeldauw bevordert. In de gehele teeltperiode is de meeldauw aantasting niet onbeheersbaar hoog geweest.

Een keer is er tegen rupsen gespoten met Nocturn. Boterbloemluis was een terugkerende plaag die, als de biologische bestrijders de plaag niet meer in bedwang hielden, bestreden is met Teppeki, Plenum of Match. Trips en witte vlieg is biologisch bestreden, maar ook voor trips is als de plaagdruk toenam chemisch gecorrigeerd.

Het algemene beeld is dat voor de gewasbescherming deze teelt geen ander beeld laat zien dan bij telers gebruikelijk is. Om ziekten en plagen te beheersen moet veel aandacht worden besteed aan de geïntegreerde aanpak.

5 Leerpunten en Conclusies

In het eerste jaar van teelt van Red Naomi! onder full-LED assimilatie belichting in combinatie met koeling is in de eerste 7 maanden, april tot oktober 2016- van de teelt een prima prestatie geleverd. De kwaliteit van de rozen aan het eind van de zomer, die in 2016 door een mooie september maand lang duurde, was uitstekend. De knoppen waren groot en de takken van voldoende lengte en gewicht. Wel was de knopkleur donker. In de nachten werd het lichthinder-doek veel gebruikt zodat de lichthinder voor de omgeving sterk is gereduceerd. De combinatie van LED met koeling maakte dit mogelijk. Daarbij kon de LED installatie gemakkelijk schakelen om fluctuaties in lichtintensiteit op te vangen. Dit is gunstig voor een constant lichtniveau.

Na eind oktober ontstond een kwaliteitsprobleem met kleine knop en klein blad in verhouding tot de steel, gepaard gaand aan bedorning en donkere bladkleur en bloemkleur. Dit 'syndroom' leverde een kwaliteit op die minder was dan bekend van SON-T belichting. Voor het oplossen van dit 'syndroom' zijn meerdere richtingen geformuleerd: de klimaatsturing, waarbij vooral een hogere gewastemperatuur gewenst is; de knipstrategie die gericht moet zijn op een gewenst aantal te oogsten takken van 5.5-6 stuks per m²; de watergift en bemesting die niet optimaal is verlopen; het spectrum van de gebruikte LED lampen (DiepRood-Blauw en DiepRood-Blauw-Wit). Voor dit laatste is door Wageningen UR Glastuinbouw in opdracht van Philips een afzonderlijk onderzoek gestart. De eerste drie mogelijke oorzaken zullen in een vervolgproject moeten worden getoetst.

Na de winter herstelde de kwaliteit in het voorjaar van 2017 weer naar een goed niveau. De kwaliteit doelstelling is door de sterk veranderende kwaliteit niet jaarrond gerealiseerd.

De energie doelstelling van het project, een reductie van 25% op elektriciteit is gerealiseerd, ondanks dat de LED lampen meer uren hebben gebrand dan de SON-T in het jaar daarvoor. De hogere lichtsom werd vrijwel geheel omgezet in een hogere productie, zodat de lichtbenuttingsefficiëntie gelijk bleef.

Bij gebruik van LED belichting is meer warmte input nodig om de gewenste groei van het gewas te realiseren. Het warmte gebruik kon echter nog steeds door de geoogste energie via de koeling in de zomer worden gecompenseerd. Het hogere warmte gebruik is positief voor de energiebalans van de aquifer die voor seizoen opslag van koude en warmte nodig is.

De gewasbescherming was door intensief scouten en goede geïntegreerde aanpak goed te doen. Wel is de aantasting door meeldauw hardnekkig en mogelijk gestimuleerd door luchtbeweging in combinatie met koeling.

De houdbaarheid in de zomer was licht beter dan een jaar eerder en gelijk aan de praktijk, in de winter was de houdbaarheid gelijk aan een jaar eerder, maar minder dan de praktijk.

Volledig recirculeren is vanwege onbalans in de voeding niet gerealiseerd, wel is langdurig gerecirculeerd. In 2017 is echter om de balans te herstellen een aantal weken het drainwater niet hergebruikt. Voor volledig recirculeren is goed sturen en monitoren van de bemesting in gift, mat en drain essentieel.

6 Literatuur

Gelder, A. de; Warmenhoven, M.G. ; Knaap, E. van der; Baar, P.H. van; Grootcholten, M. ; Aelst, N. (2015).
Een perfecte roos energiezuinig geteeld. Bleiswijk: Wageningen UR Glastuinbouw,
(Rapport GTB 1369) - 96 p

Gelder, Arie de; Warmenhoven, Mary ; Knaap, Edwin van der; Burg, Rick van der (2016).
Duurzaamheid als leidraad voor roos : vervolg onderzoek Perfecte Roos: energiezuinig geteeld. Bleiswijk:
Wageningen UR Glastuinbouw, (Rapport GTB 1412) - 50 p

Bijlage 1 Teelt van roos bij gebruik van LED als assimilatiebelichting

Een inventarisatie van mogelijke effecten.

Auteur : Arie de Gelder i.s.m. Edwin van der Knaap en Marc Grootcholten

Geschreven voor aanvang van het onderzoek in januari 2016, aangepast als bijlage voor dit rapport.

Bij de teelt van kasrozen wordt op grote schaal assimilatiebelichting toegepast voor een constante en hoge productie. De intensiteit van de belichting is rond de $200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ en de trend hiervan is stijgend. Voor deze intensiteit is met SONT-T een geïnstalleerd vermogen nodig van ca 100 W/m^2 . Daarvan komt ca 66% als convectieve- en stralingswarmte in de kas en slechts 34% als PAR licht. De stralingswarmte samen met het PAR licht is ca 89% van het elektrische vermogen en dit komt grotendeels op het gewas. Hierdoor stijgt de gewastemperatuur, want in de energiebalans van de plant is dit een grote input factor. De energiebalans van de plant komt weer in evenwicht door stijging van de verdamping en de convectieve warmte overdracht van de plant naar de kaslucht. Verdamping zorgt voor een stijging van de vochtigheid van de kaslucht en de convectie voor opwarming van de kas. Beide vormen van energie van de lampen -latente en voelbare warmte- moeten via condensatie en ventilatie of warmte overdacht aan het kasdek weer de kas uitgaan. De assimilatie lampen zijn door hun warmte- en stralingsproductie een belangrijk aspect van de warmtebalans van een gewas en de kas. De hoge energie input is de reden dat de kastemperatuur onder een gesloten scherm stijgt.

In de winter is ca 15% van het licht voor de groei afkomstig van natuurlijk licht en 85% afkomstig van de assimilatiebelichting. In de zomer is de verhouding tussen natuurlijk licht en assimilatie belichting veel meer naar de kant van natuurlijk licht. Op dagen met meer dan 20 mol PAR in de kas, dat is ca $1855 \text{ J}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{dag}^{-1}$ globale straling buiten, is er minder assimilatie belichting nodig. Voor een plant is de verhouding van warmtestraling en PAR licht van natuurlijk zonlicht of het licht van hoge druk natrium lampen grosso modo vergelijkbaar. Hierdoor is het telen onder assimilatiebelichting of bij natuurlijk licht niet heel anders, ondanks verschillen in spectrum tussen SON-T en zonlicht.

Vervanging van de hoge druk natrium lampen door LED lampen betekent dat de verhouding tussen PAR licht en stralingswarmte sterk gaat verschuiven. De huidige generatie luchtgekoelde LED geeft volgens Philips ca 25% van de warmte af als convectieve energie, 25% als stralingswarmte en 50% als PAR licht. Deze verschuiving in energieafgifte heeft grote gevolgen voor de warmtebalans van een gewas en kas. Bij LED verlichting komt, in vergelijking tot SON-T belichting, meer warmte vrij als convectieve warmte die de kaslucht direct opwarmt en de hoeveelheid stralingswarmte wordt slechts 20% van de hoeveelheid bij SON-T bij een gelijke input voor de plant in PAR. Watergekoelde LED van Lemnis hebben een zelfde lichtrendement. De overige warmte kan grotendeels door koelwater worden afgevoerd. Het is niet te verwachten dat dit een rendement van 100% heeft. Een rekenvoorbeeld staat in onderstaande tabel.

Uitgangspunten	SON-T	LED (lucht gekoeld)	LED (water gekoeld)	Eenheid
Output PAR licht	200	200	200	$\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$
Rendement lamp	1.9	2.7	2.67	$\mu\text{mol}\cdot\text{J}^{-1}$
Aandeel convectieve warmte	15	35		%
Aandeel koeling	0	0	51	%
Aandeel stralings warmte	50	15		%
Berekende waarden				
Input Electriciteit	105.3	74.1	74.9	$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$
Output PAR licht als energie	37.0	37.0	36.5	$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$
Output convectieve warmte	15.6	25.9		$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$
Output naar koeling	0.0	0.0	38.4	$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$
Output stralings warmte	52.6	11.1		$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$

De warmte afgifte naar kas en gewas zal bij watergekoelde LED lager zijn dan bij luchtgekoelde LED. Dit zal het telen met watergekoelde LED nog iets sterker doen verschillen van de teelt onder SON-T en natuurlijk licht. De verschillen in gewasreactie tussen de beide LED systemen zullen naar verwachting echter kleiner zijn dan het verschil met SON-T. Voor de plantkundige effecten in een integraal systeem moet wel rekening gehouden worden met mogelijk iets verschillende reactie op lucht of watergekoelde LED.

De verschillen in licht en warmteafgifte zijn van groot belang voor een teeltstrategie waarbij de hogedruk natrium lampen volledig zijn vervangen door LED. Dueck *et al.* (2010) laten effecten zien op de bladtemperatuur bij tomaat. Deze is bij LED belichting duidelijk lager dan de ruimtetemperatuur en de ruimtetemperatuur is gelijk aan het setpoint van de kasttemperatuur. Bij SON-T belichting is de bladtemperatuur gelijk aan de ruimtetemperatuur. Het gewas warmt op door de SON-T en daardoor warmt de kas op. De kasttemperatuur is dan vaak hoger dan het setpoint voor de kasttemperatuur. De ontwikkeling van de kop van de plant is daardoor bij toepassing van LED trager dan bij SON-T. Hun conclusie was daarom dat onder LED belichting er meer stengels per m² aangehouden mogen worden om de plantbelasting te verhogen. Dit is een verhoging van de sinksterkte, door meer stengels te gelijk te laten ontwikkelen. Dit kan ook bereikt worden door een hogere etmaaltemperatuur na te streven.

In een klimaatkamer experiment met Chrysant werd door Meinen *et al.* (2009) gemeten dat de bladtemperatuur onder LED verlichting lager was dan onder SON-T verlichting. De reactietijd van de chrysant onder LED was langer. Onder LED ontwikkelde in de lange dag periode een vorm van bolblad. Dit wijst op een te kort aan calcium in de kop van het gewas. De tragere ontwikkeling laat zien dat hier ook een effect van temperatuur op de gewasontwikkeling belangrijk is.

De ervaringen bij tomaat (IC, niet gepubliceerd) en chrysant (Meinen *et al.* 2015) laten zien dat het vervangen van SON-T door LED een grote impact heeft op de teelt. Voor een experiment met roos, waarbij volledig onder LED verlichting wordt geteeld is het daarom nodig om vooraf mogelijke effecten op de gewas ontwikkeling te beschrijven en na te denken over hoe hier in de teelt mee om te gaan.

In onderzoek bij roos in 2009, waarbij LED boven het gewas en tussen het gewas zijn gebruikt, was de conclusie dat effecten van LED-belichting op uitgroeiduur, droge stof gehaltes en droge stof verdeling zo goed als afwezig waren (Sterk *et al.* 2009). Wel moest bij lagere buiten temperatuur de verwarming extra worden gebruikt om "vochtblaadjes" te voorkomen. De recente ervaringen met full LED teelten bij tomaat en Chrysant vertonen voor gewas temperatuur overeenkomsten met de resultaten voor roos. Dit leidt wel tot de vraag waarom in 2009 geen effect werd gevonden op de ontwikkelingssnelheid bij roos. Ook het probleem van "vochtblaadjes" dat met extra verwarming tussen het gewas werd voorkomen wijst op een gebrek aan verdamping onder de LED verlichting. Omdat dit experiment echter plaats vond in een normale kas met verder wel SON-T verlichting en dus een normaal verdampend gewas, kan dit effect versterkt zijn opgetreden.

Gewasopbouw roos en mogelijke effecten van LED in plaats van SON-T via de energiebalans

Rozen worden geteeld als een lage struik waarbij gestreefd wordt naar een opbouw waarin per geknipte tak/knippunt er een nieuwe tak kan ontwikkelen. In telers termen bovendoor knippen. Hierdoor wordt de struik langzaam hoger. Als deze te hoog wordt, wordt op dat knippunt één of twee keer onder het punt van uitlopen de tak afgeknipt. In telers termen onderdoor knippen. Dit brengt de hoogte van de struik weer naar beneden en er kunnen nieuwe en vaak dikke takken ontstaan. Het uitlopen van ogen is grotendeels gestuurd door de hormoonbalans in de struik en door de temperatuur. Omdat de uitlooppunten vrij laag in het gewas zitten zal de invloed van warmtestraling op dit deel van de plant gering zijn. Lichtkleur zou wel een effect op de uitloop van nieuwe scheuten hebben (Trouwborst *et al.* 2010). Als er door een te lage kasttemperatuur met buizen gestookt zou moeten worden zou dit mogelijk ook de uitloopsnelheid en de ontwikkeling van de jonge scheuten kunnen beïnvloeden. Dit zal dan ook meer energie in de vorm van warmte vragen.

Het effect op de uitloop van nieuwe scheuten zou vooral via de temperatuur gaan. Als deze gemiddeld iets hoger moet worden gehouden om een gelijke gewas temperatuur in de hogere delen te bereiken kan de uitloop snelheid toenemen.

Een tweede fase in de ontwikkeling van een tak is de uitgroei van juist uitgelopen oog tot knopvormende tak. Deze uitgroeiduur kan door een iets lagere koptemperatuur toenemen. De duur van deze fase van uitgroei is ca 4 weken. Een temperatuur effect zal dan in de orde grootte van enkele dagen zijn. In een experiment waarin geen vergelijkende behandelingen kunnen worden uitgevoerd zal dit effect moeilijk meetbaar zijn.

De laatste fase van de zichtbare ontwikkeling is de uitgroei van de knop tot een oogstbare bloem. In deze fase krijgt de knop zijn uiteindelijke grootte en kleur. De ervaring is dat in deze fase het effect van belichting via de knoptemperatuur groot is. Telers gebruiken de SON-T belichting bij Red Naomi! bewust om 's morgens de uitgroei van de knop tot oogstbare bloem te stimuleren. In de fase waarin de knop in het donker staat vindt er duidelijk minder strekkingsgroei plaats. De verwachting is daarom dat onder LED belichting de ontwikkeling van knop tot bloem zal veranderen en dat dit mogelijk effecten heeft op de bloemkwaliteit.

Toepassing van alleen LED heeft een effect op de ontwikkeling van de bladeren, zoals bleek in het onderzoek van Sterk *et al.* uit 2009. Waarschijnlijk door een te lage verdamping ontstonden vochtblaadjes. In een systeem waarbij met luchtbeweging en actieve vochtafvoer de verdamping gestimuleerd kan worden is de verwachting dat dit tot een kleiner probleem zal leiden. Als de verdamping te laag is zal warmte via de warmtewisselaars boven het gewas (OPAC) of via buisrail verwarming moeten worden ingebracht om de verdamping van de bladeren te stimuleren en het probleem van 'vochtblaadjes' te voorkomen. Uit de bovenstaande berekening van de energiebalans blijkt dat de plant met LED veel minder stralingswarmte zal ontvangen: slechts 20% van de straling bij SON-T. Dit zal leiden tot een vermindering van de verdamping. Als een verminderde verdamping zou leiden tot sluiten van huidmondjes dan zou de fotosynthese minder kunnen worden. Toch is dit niet direct te verwachten omdat er geen vocht tekort is in de plant. Bij tomaat is onder LED geen beperking van de fotosynthese waargenomen.

Alle afzonderlijke effecten kunnen in proeven die daarop zijn ingericht worden getoetst. Dit is voor theoretische onderbouwing en voor modelvorming de beste aanpak. Voor de praktijk is uiteindelijk een integrale aanpak nodig, waarin gelet op alle aspecten via de temperatuur, stengeldichtheid, belichting en vochtbeheersing gestuurd wordt naar een goede afstemming van alle ontwikkelings- en groeiprocessen.

De keuzes voor de klimaatstrategie moeten daarbij worden gemaakt op basis van wat verwacht wordt dat de beste strategie is om LED belichting bij roos te gebruiken. De ervaring voor tomaat op het IC kan daarbij worden benut. Bijvoorbeeld dat de etmaaltemperatuur van de kas ca 0.5°C hoger mag zijn om een gelijke ontwikkeling te behouden en dat zo nodig de stengeldichtheid via de knip strategie iets omhoog moet. Als nu de ontwikkelingsduur ca 42 dagen is voor gemiddeld 30 stengels per m² in alle stadia van uitloop tot oogst dan zou bij een ontwikkelingsduur van 49 dagen het aantal stengels per m² in alle stadia moeten toenemen tot 35 per m². Dat is een stijging van ca 15% in stengeldichtheid en dus in knippunten per m². Een langere uitgroei zal gevolgen hebben voor de regelmaat van ontwikkeling van de kwaliteit. Verwacht wordt dat een langere uitgroei gunstig is.

Een tragere ontwikkeling van de knop kan er mogelijk toe leiden dat er niet 2 maal per dag geoogst moet worden, maar dat 1 keer per dag voldoende is. Het oogst moment wordt dan mogelijk meer bepaald door het moment van starten van het watergeven, dat een stimulans voor de groei is, dan door het moment waarop de lampen aangezet worden.

Effect van LED in plaats van SON-T via de spectrale samenstelling van het licht

De andere golflengte verdeling van LED ten opzichte van SON-T heeft mogelijk effecten via de hormonale sturing van de ontwikkelingsprocessen in de plant. Naar het effect van verandering van het lichtspectrum op groei en ontwikkeling zijn al meerdere onderzoeken uitgevoerd en lopen nog meerdere projecten.

Energetisch is door toepassing van alleen rode LEDs ten opzichte van een combinatie van rode en blauwe LEDs slechts een gering voordeel van 0.03 $\mu\text{mol}\cdot\text{J}^{-1}$ (informatie van Philips) te behalen. Dit is een energie verbetering van 1%. Het volledig weglaten van blauwlicht in het spectrum van de LED is in de zomer geen probleem, maar zou in de winter als LED 85% van het aangeboden licht is wel tot problemen, o.a. verstoring van de fotosynthese (Meinen *et al.* 2009), kunnen leiden. Een grootschalig integraal teeltproject is niet de juiste aanpak om het effect van wel of geen blauwe LEDs te onderzoeken. Dit kan beter net als meer fundamentele spectrale aspecten in gerichte experimenten worden getoetst.

Blauwlicht zou vooral de opening van de huidmondjes direct na het einde van de donker periode stimuleren. Het effect daarvan op de totale productie die in 20 uur licht periode wordt gerealiseerd is zeer klein. Gesteld dat in het eerste 15 minuten de fotosynthese 10% hoger is door het openen van de huidmondjes. Dan is dit op dagbasis 0.125% verbetering. Dat is verwaarloosbaar. Het effect op de verstoring van de fotosynthese als blauwlicht wordt weggelaten is een groter risico. (Dueck pers. med.)

Van roodlicht is aangetoond dat het de plantweerbaarheid verhoogt. Dit zou voor telen van roos onder grotendeels rode LEDs een voordeel moeten zijn in de beheersing van meeldauw. In de combinatie met SON-T en tussenbelichting werd dit voordeel niet gezien.

Bij tomaat en aardbei is onderzoek gedaan en lopend met toepassing van verrood om strekkingsgroei te bevorderen. In de winter als SON-T als assimilatiebelichting wordt toegepast is strekkingsgroei bij roos geen probleem. SON-T bevat ook enig verrood. Bij roos ontstaat een probleem met de strekking in de zomer. Toepassing van verrood om strekkingsgroei te bevorderen is geen logische combinatie met LED belichting. Als de stengeldichtheid bij LED belichting iets hoger wordt zal dit via de normale plantreactie op schaduw van nabij staande takken al leiden tot extra strekkingsgroei.

Het sturen van de scheutuitloop via de rood/verrood verhouding leidde in onderzoek van Plant Dynamics tot tegengestelde effecten per snee. Dit was mogelijk gekoppeld aan de natuurlijke licht intensiteit en daglengte. In het onderzoek Perfecte roos, Energiezuinig geteeld en het project Duurzaamheid als leidraad is aangetoond dat de knipstrategie sterk bepalend is voor een goede struikopbouw en de takkwaliteit. Daarbij wordt een minimum aan dunne takken ingebogen. Mindere kwaliteit takken worden zonodig de knop uitgebroken. Het blad blijft dan bijdragen aan de groei van de rest van de struik. Na enkele weken worden deze takken uit het gewas geknipt. Het doel is om de assimilaten in te oogsten takken te krijgen en niet onnodig in het gewas te verbruiken.

Effecten op een verhoogde fotosynthese efficiëntie afhankelijk van de spectrale samenstelling van het licht zijn gevonden in onderzoek van Valoya (Garcia Victoria en Pot, 2015) en in het onderzoek uit 2009 (Stern *et al.*). De efficiëntie van de omzetting van elektriciteit in licht is echter de belangrijkste factor waardoor LED efficiënter kan zijn in een rozenteelt.

Voor de fotosynthese kan toepassing van LED mogelijk leiden tot een hogere efficiëntie, omdat vooral rood blad de efficiëntie van groen en blauwlicht verlaagd (Paradiso *et al.* 2011). Als de fotosynthese efficiëntie hoger wordt zou dit kunnen leiden tot een hogere productie efficiëntie in $\text{gram} \cdot \text{mol}^{-1}$. In de besparing op energie is dit effect niet meegenomen. Het wordt wel genoemd in onderzoek van onder andere Stern (2009) en Snel *et al.* (2011). De LED wordt alleen als top belichting toegepast, omdat de bovenzijde van het blad een hogere efficiëntie laat zien.

Constante licht som

In het onderzoek naar Perfecte en duurzame rozenteelt wordt gestreefd naar een constante teeltcondities. Een van die factoren is een constante lichtsom en bij voorkeur ook een constante lichtintensiteit. Nu is het natuurlijk licht niet te regelen. Wel kan bij een teveel aan natuurlijk licht een schaduwdoek worden dicht getrokken, maar dan is het effect ook direct een vermindering van de hoeveelheid natuurlijk licht met 25%.

SON-T lampen kunnen door de tijd die nodig is om een lamp goed te laten branden niet snel worden aan- en uitgeschakeld. Daarom moet er bij wisselende lichtomstandigheden wel of niet belicht worden. De variatie wordt nog enigszins opgevangen door de lampen in 3 groepen te schakelen. LED biedt in theorie nog een betere mogelijkheid om snel op wisselende natuurlijk straling te reageren. Dit is tot nu toe beperkt in experimenten benut. Door een slimme en snelle schakeling van de LED armaturen in 2 groepen zou een constant lichtniveau mogelijk moeten zijn. Hierdoor wordt iets bespaard op belichtingsduur en wordt een winst verwacht van een verbetering van de fotosynthese efficiëntie. Een goede regeling van dit aspect zou in overleg met het IC, Priva en de leverancier van de LED armatuur moeten worden ontwikkeld. Een eerste berekening geeft aan dat dynamisch schakelen van de LED belichting op jaar basis zou leiden tot 250 uren minder belichten. Dat is een vermindering van 3.5%.

Gevolgen voor de kwaliteit en fotosynthese

De tragere ontwikkeling en de lagere verdamping kunnen voor de kwaliteit zowel positief als negatief uitwerken. Als de knop trager ontwikkeld en daardoor groter wordt is dit voor uitwendige kwaliteit gunstig. Als er met een oogstfrequentie van één maal per dag gewerkt kan worden is dit economisch gunstig. Een lagere knop- en bloemtemperatuur kan echter ook leiden tot een donkere bloem en dat is ongewenst.

Een lagere verdamping kan betekenen dat de huidmondjes meer moeten sluiten om de verdamping te sturen. Dat zou gunstig zijn voor de kwaliteit op de vaas omdat de takken minder snel slap gaan. De houdbaarheid zou er beter door worden. Het moet echter niet ten koste gaan van de fotosynthese-efficiëntie.

De productie van roos kan op basis van lichtbenuttingsefficiëntie en drogestof gehalte worden uitgedrukt in kg versproduct per mol licht. Bij roos is de kwaliteit uitgedrukt in knopgrootte, knop en bloemkleur, steellengte, bladgrootte en houdbaarheid minstens zo belangrijk, omdat die bepalend zijn voor de prijs per stuk en dus per kg. Een betere kwaliteit, die omgezet kan worden in een hogere prijs voor het product, zal toepassing van LED eerder economisch rendabel doen zijn.

Gevolgen voor energie balans

In het bovenstaande is uitgegaan van LED in het algemeen of van informatie van Philips en Lemnis. In het geval van toepassing van de luchtgekoelde Philips LED kan de convectieve warmtestroom van de LED (25%) niet los gekoppeld worden van de belichting. De warmte komt op moment van toepassing van de LED in de kas en zorgt voor een energie input. Bij luchtgekoelde LED zal alle warmte in de donkerperiode via OPAC of buizen moeten worden ingebracht. Als de OPAC's in de zomer zijn gebruikt om de kas te koelen is er voldoende warmte beschikbaar.

Als watergekoelde LED van LEMNIS kan worden toegepast zou een deel van de energie nog weer aan de kas kunnen worden onttrokken. Lemnis gaat daarbij uit van een watertemperatuur van 25°C als aanvoer, dat 1 tot 10°C mag worden opgewarmd.

Voor de energiebalans van de plant zal lucht- of watergekoelde LED weinig gevolgen hebben, voor de energiebalans van de kas heeft het wel gevolgen. Want alle energie die middels koeling wordt afgevoerd hoeft niet via ventilatie de kas te verlaten. Als alle 300 W per Lemnis armatuur met 100% kan worden afgevoerd dan zou er 38 W·m⁻² aan de kas worden onttrokken. Het is niet waarschijnlijk dat dit wordt gehaald, maar een afvoer van 25 W·m⁻² zou toch haalbaar moeten zijn.

Als blijkt dat onder LED de energiebalans van het gewas zodanig is dat om de verdamping te stimuleren er extra warmte nodig is dan kan bij luchtgekoelde LED dit mogelijk al deels bereikt worden door betere luchtmenging van de kaslucht middels OPAC's. Een geforceerde luchtbeweging langs deze LEDs zal mogelijk de prestaties van deze LEDs nog fractioneel verhogen.

Bij toepassing van watergekoelde LED kunnen de OPAC's ook worden ingezet maar zal in dat geval eerder warmte input via de OPAC of via buizen nodig zijn.

Een ander aspect van de verandering van de energiebalans van de kas is dat het lichtemissiedoek meer gesloten (volledig gesloten) kan blijven. Hierdoor zal de uitstraling van de bloem naar het kasdek veranderen. Dit heeft positieve gevolgen voor de knoptemperatuur en daarmee mogelijk voor de kwaliteit van de knop in grootte en aantasting door botrytis.

De beschouwing die in dit stuk wordt gegeven is over de energiebalans van kas en gewas is kwalitatief. In de loop van het voorgestelde project zal deze ook kwantitatief beter onderbouwd kunnen worden.

Om in een kas te kunnen werken is het gewenst om naast rood en blauw licht ook andere kleuren licht te hebben.

Opties daarvoor zijn:

- + Oogswagen uitgerust met TL balk.
- + TL balk per tralie
- + Het gebruik van SON-T die aanwezig is gedurende de donker uren als er gewerkt wordt.
- + LED met een klein aandeel wit licht.

Gevolgen voor de bedrijfsopzet

Bij de inrichting van een bedrijf heeft de keuze voor de wijze waarop de energievoorziening is afgestemd op de energievraag een belangrijke rol. Bij veel rozenbedrijven zal de komende jaren de vraag zijn of er geïnvesteerd wordt in vervanging van de WKK of dat alle elektriciteit wordt ingekocht van het openbare elektriciteitsnet. Bij toepassing van LED belichting is deze optie eerder aantrekkelijk omdat meer licht wordt geproduceerd met de ingekochte elektriciteit.

Literatuur

Dueck, T.A.; Gelder, A. de; Janse, J.; Kempkes, F.L.K.; Baar, P.H.; Valstar, W. (2014).

Het Nieuwe Belichten onder Diffuus glas. Bleiswijk : Wageningen UR Glastuinbouw, (Rapport / Wageningen UR Glastuinbouw 1296) - p. 72

Dueck, T.A.; Janse, J.; Schapendonk, A.H.C.M.; Kempkes, F.L.K.; Eveleens-Clark, B.A.; Scheffers, C.P.; Pot, S.; Trouwborst, G.; Nederhoff, E.M.; Marcelis, L.F.M. (2010).

Lichtbenutting van tomaat onder LED en SON-T belichting Wageningen : Wageningen UR Glastuinbouw/Plant Dynamics BV, (Rapporten GTB 1040) - p. 99

- Garcia Victoria, N. en Pot, S. (2015).
Lichtspectrum als middel voor energiezuinige rozenteelt. Bleiswijk : Wageningen UR Glastuinbouw, (Rapport / Wageningen UR Glastuinbouw GTB 1368)
- Meinen, E.; Kempkes, F.L.K.; Raaphorst, M.G.M.; Dueck, T.A. (2015).
Energiezuinige belichting bij chrysant. Wageningen UR Glastuinbouw, (Rapport GTB 1341) - p. 101
- Meinen, E.; Marcelis, L.F.M.; Steenhuizen, J.W.; Dueck, T.A. (2009).
Is een μmol een μmol ? : groei en ontwikkeling van chrysant geteeld onder SON-T belichting en onder LED verlichting. Wageningen : Wageningen UR Glastuinbouw, (Rapport / Wageningen UR Glastuinbouw 315) - p. 34, [6]
- Paradiso, Roberta; Meinen, Esther; Snel, Jan F.H.; De Visser, Pieter; Van Ieperen, Wim; Hogewoning, Sander W.; Marcelis, Leo F.M. (2011).
Spectral dependence of photosynthesis and light absorptance in single leaves and canopy in rose. *Scientia Horticulturae*, Vol.127(4), pp.548-554
- Snel, J.F.H.; Meinen, E.; Bruins, M.A.; Ieperen, W. van; Hogewoning, S.W.; Marcelis, L.F.M. (2011).
Fotosynthese-efficiency bij verschillende golflengten. Wageningen : Wageningen UR Glastuinbouw, (Rapporten GTB 1151) - p. 57
- Sterk, F.; Marcelis, L.F.M.; Swinkels, G.L.A.M.; Warmenhoven, M.G.; Steenhuizen, J.W.; Zuurbier, R.; Dueck, T.A. (2009).
Efficiëntie van LED-belichting bij roos. Bleiswijk : Wageningen UR Glastuinbouw, (Rapport / Wageningen UR Glastuinbouw 304)
- Trouwborst, G.; Pot, S.; Schapendonk, A. (2010).
Spectraal effect van LED tussenbelichting op scheutuitloop van roos in de zomer. Wageningen. *Plant Dynamics*. 16 pp.

Bijlage 2 Syndroom van rozen onder Dieprood- Blauwe LED

Notitie geschreven 20-3-2017

Aangepast voor dit verslag, deels komen hierin gegevens terug die in het rapport zijn beschreven.

Auteur : Arie de Gelder

Probleembeschrijving

In het experiment LED als sleutel naar duurzaamheid en kwaliteit met de rode rozencultivar Red Naomi! treden een aantal verschijnselen op die gezamenlijk tot een andere productkwaliteit leiden dan bij teelt onder SON-T. Er is geen vergelijkende teelt, maar er kan wel vergeleken worden met praktijkrozen. De waarnemingen van de ontwikkeling van knopgrootte en taggewicht zijn daarbij een onderbouwing dat de takopbouw anders is. Om het beeld dat wordt waargenomen te beschrijven is goed om onderscheid te maken in kenmerken die de hele teelt – vanaf april 2016- zijn waargenomen en kenmerken die specifiek zijn waargenomen in november 2016 tot en met januari 2017.

Het beeld is als volgt te omschrijven:

Symptomen vanaf april:

- Donker blad, donkere knop, donkere bloem
 - Donkere stevige tak.
 - Gemakkelijk uitlopen van de ogen, zodat er vaak 2 uitlopende takken per knippunt zijn.
 - Veel en grote pluizen.
 - Weinig of geen loze takken.
- Winter symptomen:
 - Veel bedoorning.
 - Onderaan de tak meer blad met zeven blaadjes (leaflets), die zeer klein zijn.
 - Beperkt aantal vijfbladeren, die relatief klein zijn.
 - Bovenaan enkel blad en drie blad, waarin de pluizen goed uitlopen.
 - Kleine knop, al in zeer jong stadium, met een klein vruchtbeginzel.
 - Stevige tak in verhouding tot taggewicht.
 - Laag taggewicht door klein blad en kleine knop.
 - Kleurverschillen binnen een bloem, donkere en licht gekleurde kroonbladeren.

Verder wordt door telers nog opgemerkt:

- Afwijkende bladvorm. Het blad is spits in plaats van rond.

Omdat er meerdere kenmerken zijn die in samenhang met elkaar lijken op te treden is in de titel van dit stuk de term syndroom gebruikt. Syndroom heeft als omschrijving een combinatie van samenhangende verschijnselen waarvan de oorzaak niet bekend is.

De nadelen van bovenstaande syndroom van de rozen is dat de kleur van de bloem niet mooi helder rood is, maar donker, dat de bloem te klein blijft en de tak in de winter te licht van gewicht is. Daarmee voldoen de rozen niet aan de kenmerken voor een topkwaliteit in het topsegment van de markt.

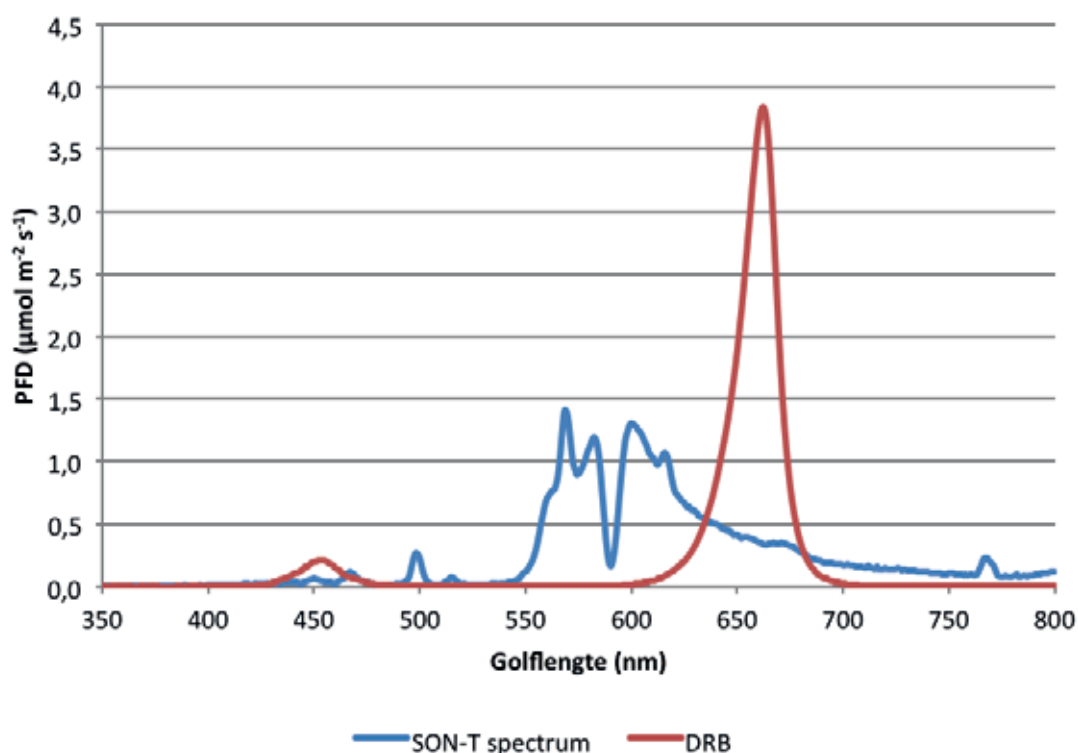
De vraag is wat is de plantenfysiologische verklaring voor dit beeld of is hier een hypothese voor te formuleren en is dit gedrag van de plant te sturen. Daarbij kan natuurlijk voor elk van de kenmerken een aparte verklaring mogelijk zijn, die geen onderlinge relatie hebben, maar het kan ook goed dat één factor de verandering in de fysiologie stuurt met het totaal beeld als respons.

Verloop van de teelt

Voordat naar de plantenfysiologische verklaring wordt gekeken is het nodig om het verloop van de teelt te schetsen, en waarin er verschillen zijn met de voorgaande jaren toen onder SON-T is geteeld.

Het gewas Red Naomi! is geplant in maart 2013. Gedurende periode maart 2013 tot en met april 2015 is geteeld onder SON-T ($200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) en met een tussenbelichting van rood-blauw LED ($40 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). Vanaf april 2015 is de tussenbelichting niet meer gebruikt. De resultaten van die teelten zijn beschreven in twee rapporten: "Een perfecte roos. Energiezuinig geteeld" (de Gelder, *et al.* 2015) en 'Duurzaamheid als leidraad voor roos' (de Gelder, *et al.* 2016). Het niet meer gebruiken van de tussenbelichting van LED had als reden, dat de productie niet extra was toegenomen door de LED, maar recht evenredig met de toegenomen lichtsom per dag, en de LED voor de gewashandelingen lastiger was. Daarbij waren deze LED niet energie-efficiënter in de output aan licht dan de SON-T.

Eind maart 2016 is de SON-T belichting vervangen door LED van het type DiepRood-Blauw met een intensiteit van $200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Het spectrum van deze LED is gegeven in Figuur 1. De piekgolflengtes zijn 663 en 450 nm. De pieken bij deze golflengtes zijn veel hoger dan bij SON-T bij gelijke output in PAR.

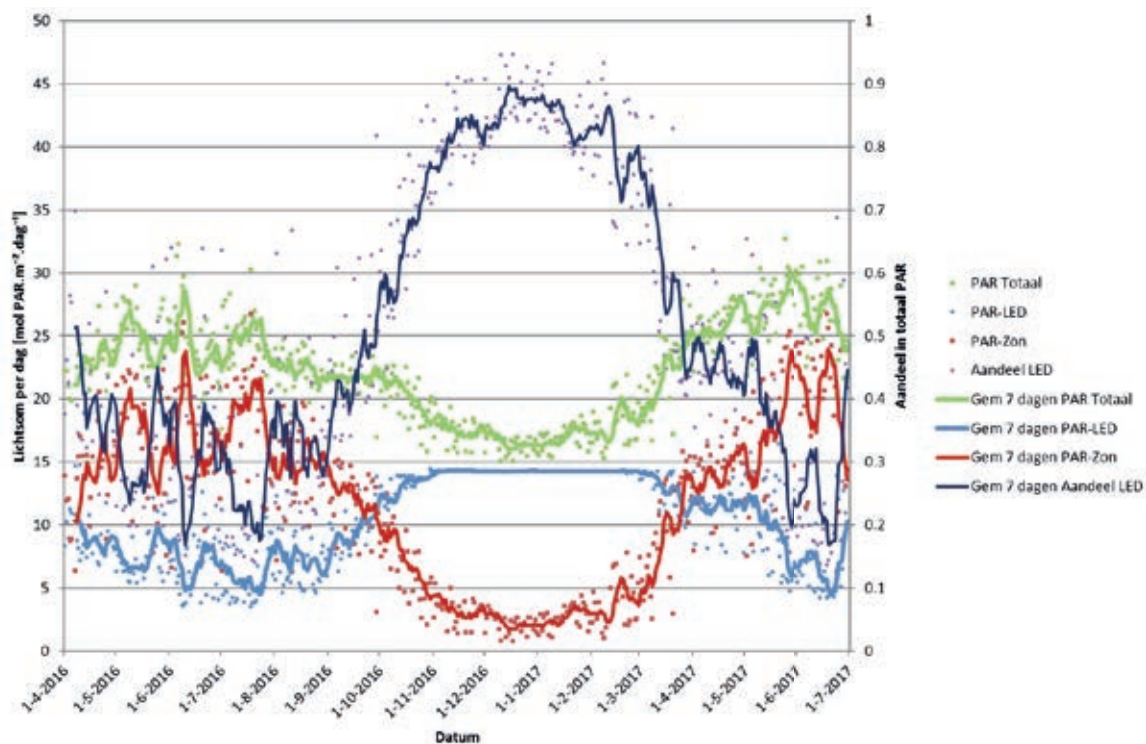


Figuur 1 Spectrum van de Diep Rood – Blauwe LED en SON-T , genormaliseerd naar $100 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PAR. (DRB gemeten op 10 februari 2017 met een Jeti Specbos 1211UV met de Side View Cosine Receptor OD1.0.)

In één tralie is gebruik gemaakt van Diep Rood-Blauw-Wit LED. Deze hebben een spectrum met enige emissie in het gebied van 500 tot 600 nm.

In de zomer van 2016 is de LED geregeld gebruikt om op donkere dagen voldoende lichtsom voor het gewas te realiseren. Daarnaast is de kas gekoeld met behulp van OPAC warmtewisselaars.

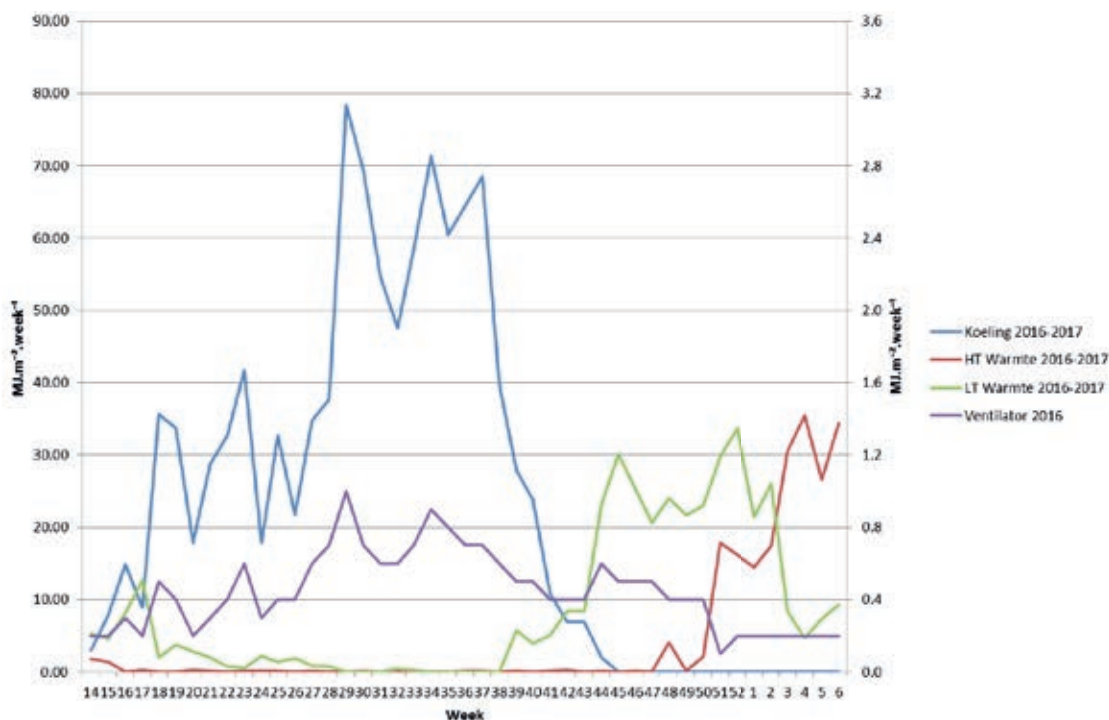
De hoeveelheid PAR licht op het gewas afkomstig van de zon en van de LED is voor de teelt berekend op basis van uren belichting en de in de kas gemeten PAR waarde van twee PAR sensoren (Figuur 2).



Figuur 2 PAR som afkomstig van zonlicht en LED (DRB) in de rozenkas.
(Deze Figuur is voor het rapport uitgebreid tot de hele teelt periode.)

Gedurende de teelt is het aandeel LED licht toegenomen van 20-30% in de zomer tot meer dan 80% in de winter. In de zomer is dit LED licht vooral gegeven in de morgenuren aan het begin van de dag. In de winter wordt 20 uur per etmaal belicht. Omdat het spectrum van zon-licht niet constant is kan geen spectrum verloop in de tijd worden bepaald. Wel kan op basis van de verhouding zon-licht LED worden berekend dat in de winter er een grote hoeveelheid rood licht is dat de plant ontvangt.

Een tweede aspect van de klimaatregeling is het gebruik van koeling en verwarming. In de zomer is de koeling gebruikt om de piek en etmaaltemperatuur laag te houden. In de winter is er verwarmt met de OPAC (LT-Warmte), deze is na half december minder intensief gebruikt, daarna is meer gebruik gemaakt van het buisrailnet en de buis vlak onder het substraat (Figuur 3). De reden hiervoor was de gedachte dat de OPAC het gewas te sterk uitdroogde. Na het omzetten van het type verwarming wordt herstel van het gewas waargenomen, vooral in knopgrootte en takgewicht, maar het 'syndroom' blijft aanwezig.



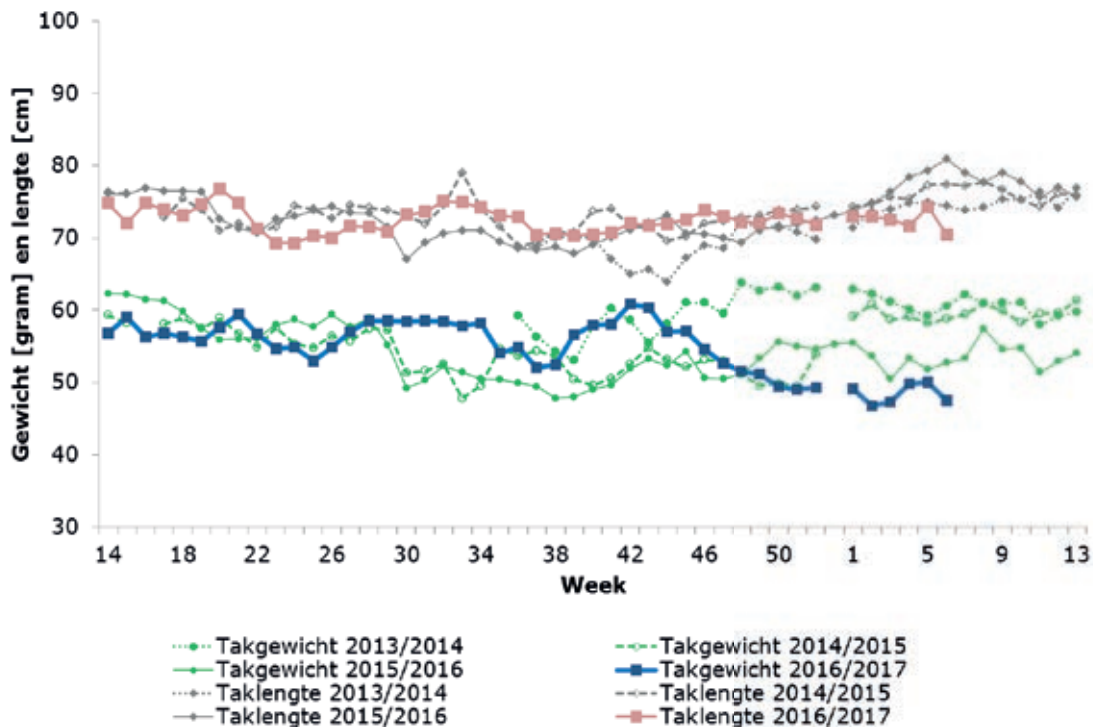
Figuur 3 Energie voor koeling en verwarming en gebruik van de ventilator.

Een derde aspect zijn veranderingen in schermstrategie en donkerperiode.

In september gaat het verduisteringsscherm dicht om 20 uur s avonds dan heeft de plant een natuurlijke einde dag. Op 5 oktober gaat het verduisteringsdoek om 18:30 dicht en is er geen natuurlijk einde dag meer. Op 7 oktober komt het energie doek er bij om 21 uur. Hier verandert er dus iets in de verrood effecten. Edwin van de Knaap wilde graag een natuurlijk einde dag om voldoende strekking te houden. De vraag is dus nu of dit het enige effect is geweest.

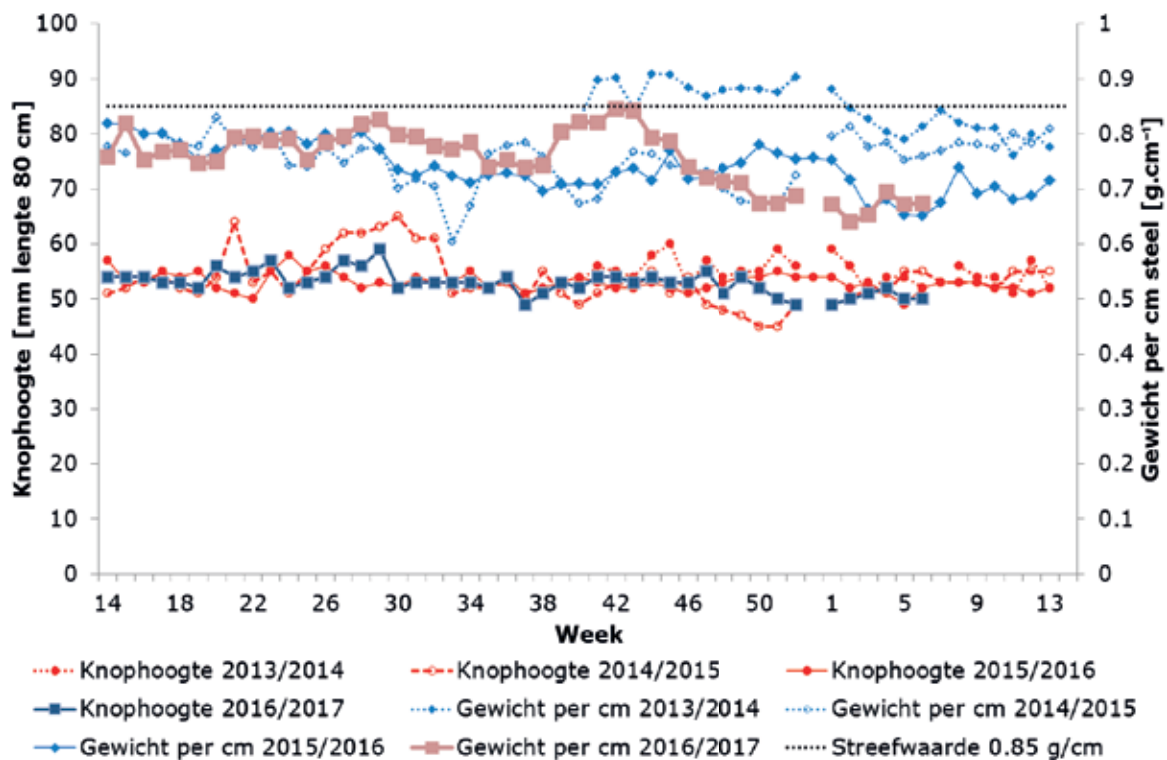
Op 4 november is de donkerperiode verschoven van 18-22 uur naar 20-24 uur omdat in de periode daarvoor de natuurlijke daglengte zo kort werd dat er nog belicht werd als het donker werd en we dan in verband met de lichthinder regels het verduisteringsscherm zouden moeten sluiten, dan kon dat net zo goed gelijk voor 2 uur dicht waarna het om 20 uur weer deels open kon. Daardoor valt het effect van natuurlijk verrood aan het einde van de dag op dat moment geheel weg.

De ontwikkeling van de productie en kwaliteit kan met onderstaande Figuren worden geïllustreerd.



Figuur 4 Ontwikkeling van takgewicht en taklengte.

Vanaf week 42 neemt het takgewicht af van gemiddeld 61 gram naar 47 gram en de lengte neemt in de periode na de jaarwisseling (week 1) niet toe, terwijl in eerdere jaren het takgewicht gelijk blijft of iets stijgt en de lengte na de jaarwisseling (week 1) stijgt.



Figuur 5 Ontwikkeling van de knophoogte bij 80 cm en het gewicht per cm steellengte.

Het gewicht per cm steellengte neemt na week 42 af en de knophoogte neemt af tot onder de 5 cm rond de jaarwisseling.

De waarnemingen aan bladgrootte, opvolging van bladtype, bedoorning, blad-, bloem- en steelkleur zijn niet met kwantitatieve bepalingen onderbouwd, maar kunnen wel met foto's worden verduidelijkt (Figuur 6).



Links LED Rechts praktijk



Kleurverschil binnen een bloem



Links praktijk Rechts LED

Figuur 6 Voorbeelden van effecten van LED DR-Blauw op visuele kwaliteit Red Naomi!.

Half december was het syndroom heel sterk zichtbaar. Toen zijn een aantal maatregelen genomen:

- Het energiedoek is 's nachts niet meer gebruikt en het verduisteringsdoek op 80% gehouden. Daardoor is er vrije uitwisseling van lucht met vocht naar de ruimte boven het doek, zodat er condensatie kan optreden tegen het kasdek en er meer uitwisseling van vocht is via de luchting.
- Voor de doekregeling is daarbij teruggekeken naar de situatie in April toen met 100% dicht verduisteringsdoek is geteeld.
- De OPAC is voor verwarmingsmodus begrensd op 30°C en 50% ventilator stand.
- Dit heeft een heel sterk effect op de luchtcirculatie zoals te zien is in de CO₂ fluctuaties.
- De gedachte is dat de OPAC bij de hogere temperatuur en hogere ventilator stand het effect van een drogende föhn heeft, zeker in combinatie met de ontvochtigingsstand van de aanzuigbuis, die ook op hoog vermogen draaide.
- De watergift is verkleind in beurt grootte om te komen tot een lager drain percentage. Dit blijkt goed te werken.
- De onderbuis is op 35°C standaard gezet.

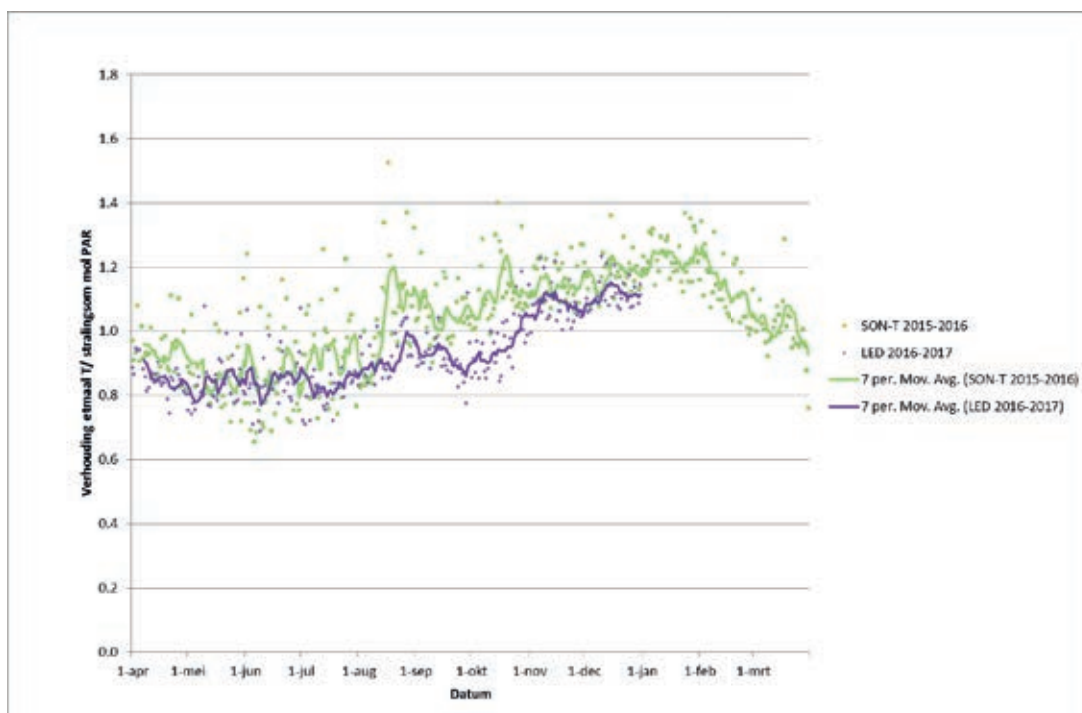
Als het te warm wordt, wordt deze buis uitgeregeld. De OPAC levert dan al geen warmte meer alleen luchtcirculatie. Daarbij moet de ventilatielijn zo staan dat niet eerst wordt gelucht voordat de buis wordt teruggeregeld. De ventilatie mag hoogstens opengaan op de vocht regeling.

Als de OPAC het in combinatie met de onderbuis niet voldoende warm krijgt wordt de onderbuis temperatuur op warmtevraag verhoogd.

De regeling van de onderbuis is met deze instellingen geen minimumbuis, maar een basis warmte voorziening. Daarboven op kan de OPAC de kasttemperatuur fijn regelen. Als de OPAC het niet goed kan sturen wordt de onderbuis aangepast.

Het resultaat van deze acties is een duidelijke daling van de RV. Daarbij werd geconstateerd dat de drain naar later in de morgen ging. Daarom is de beurt grootte weer verhoogd. De gewastemperatuur volgens de thermoview daalt als de belichting uit is meer onder de kasttemperatuur dan toen er werd gestookt met de OPAC. Er komt dus minder warmte bij de knoppen.

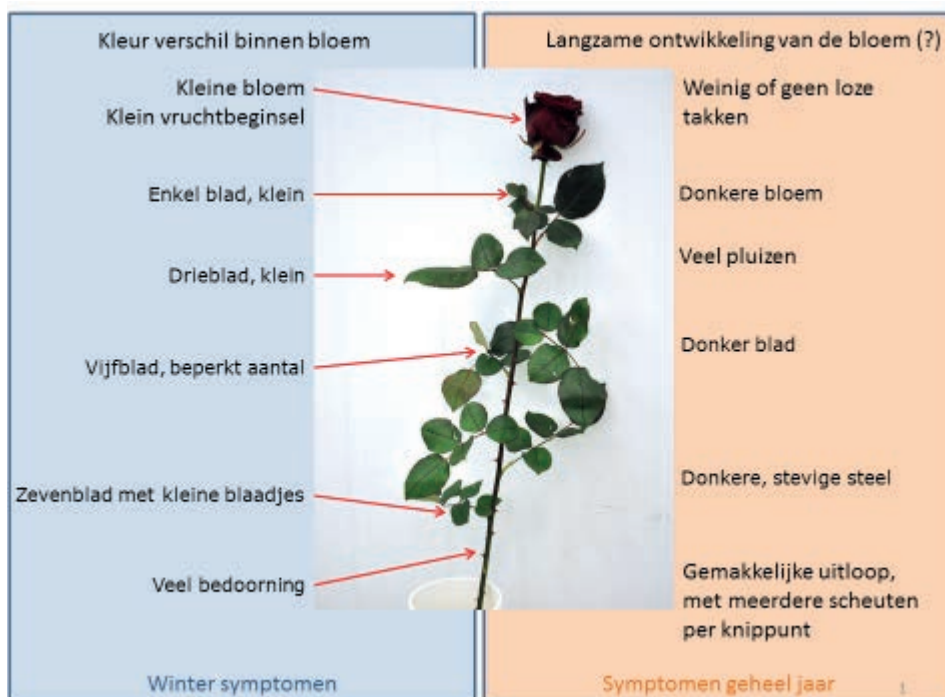
Een ander aspect van de klimaatrealisatie is het verschil in etmaaltemperatuur in de LED proef vergeleken met de SON-T proef van het jaar daarvoor. Die is over de hele tijd gemiddeld verschoven naar meer licht in verhouding tot de temperatuur. Die is vooral in september en oktober zichtbaar (Figuur 7).



Figuur 7 Verhouding van etmaal T en de lichtsom.

Brainstorm sessie (toegevoegd aan notitie)

Rond het onderwerp "syndroom" is door Philips op 24 maart 2017 een brainstormsessie georganiseerd. Daarvoor is het "syndroom" in schematische weergegeven.



Figuur 8 Schematische weergave syndroom.

Hypotheses en Literatuur

Er zijn tijdens de uitvoering van het experiment een aantal verschillende verklaringen cq oorzaken voor alle fenomenen geopperd. In onderstaande deel van deze notitie worden die langs gegaan en gekeken wat daarbij in de literatuur al is beschreven. Daarnaast worden nieuwe elementen uit de literatuur aan gebracht en een poging gedaan om verbanden te leggen.

Verrood ontbreekt, vorming van Anthocyaan

Dit deel van het spectrum ontbreekt in de gebruikte LED. Dit zal via de hoeveelheid rood licht de uitloop van knoppen bevorderen. Uitloop wordt gestimuleerd door actief phytochroom. Daarnaast heeft het een mogelijk effect op de pigmentvorming via het phytochroom.

In het onderzoek van Trouwborst *et al.* (2012) wordt geconcludeerd dat rood licht de uitloop van ogen van een volledig terug geknipt gewas bevordert. Dit was een vervolg op een stuurlicht experiment in de zomer (Trouwborst *et al.* 2010). In de introductie van dat rapport wordt literatuur geciteerd die aantoonde dat de verhouding in actief en in-actief phytochroom de uitloop van ogen bevordert. Rood licht dat zorgt voor een hoge Rood/Verrood verhouding stimuleert de knop uitloop door actief phytochroom te maken. Dit past bij de hoge uitloop die we steeds in de proef met volledig LED zien. Gelet op de hoeveelheid rood die gegeven wordt zal verrood vrijwel geen effect hebben op dit proces, zelfs niet als het 30 minuten als nabelichting in het donker na de lichtperiode wordt gegeven, want de overige 20 uur is de belichting dominant rood. In het meeste onderzoek wordt uitgegaan van rood/verrood effect op phytochroom, maar dit is niet de enige mogelijkheid. De PSS (phytochrome stationary state) status wordt door blauw licht verlaagd. (Voor de PSS status onder invloed van spectrum zie Van Ieperen *et al.* 2011, Figuur 3). Blauw licht heeft een vergelijkbaar effect als verrood. Maar de vraag is of het aanwezige blauw het effect van rood kan compenseren. Dit lijkt niet het geval. Daarbij bleek bij Chrysant dat met overdag alleen rood/blauw LED licht er een ander effect optrad dan als er overdag een zonlicht spectrum werd gegeven.

Het uitlopen van ogen is uitvoerig onderzocht door Wubs (Wubs *et al.* 2013, Wubs *et al.* 2014). Zij concludeert dat licht intensiteit op de ogen belangrijker is dan de rood:verrood verhouding. Een open gewas zal de uitloop van ogen stimuleren. Daardoor kan een rozen gewas op snee komen te staan, omdat de ogen uitlopen als er weinig takken op staan.

Naast effect op uitloop zou de overmaat aan rood licht ook een stimulans zijn voor de vorming van anthocyaan via de fytochroom status (Trouwborst *et al.* 2013).

Blauw licht kan anthocyaan vorming stimuleren via de toestand van het fytochroom en via fototropine (Figuur 9 in Zhang *et al.* 2016).

Het effect van blauw en rood op vorming van anthocyaan via fytochroom lijkt met elkaar in tegenspraak. Rood maakt veel actief fytochroom en blauw juist niet.

Van Rijssel (2005) schrijft over anthocyaan het volgende: "Anthocyaan in het blad zorgt voor een rode of paarse bladkleur. Anthocyaaneffecten zijn het best te zien in jong blad waarin het gehalte aan chlorofyl nog beperkt is. Anthocyaan verhoogt de absorptie in het golflengtegebied tussen 500-600nm. Anthocyaan houdend blad zonder Chlorofyl vertoont geen fotosynthetische activiteit (Inada 1977). De lichtabsorptie door Anthocyaan zorgt dus voor een lagere absorptie door chlorofyl en een verlaagde fotosynthese ten opzichte van groen blad (Inada 1977). Anthocyaan komt bij belichte kasteelten vooral voor in roos. Het jonge blad is roodachtig van kleur. Een belangrijk deel van de groene tinten in het lichtspectrum zullen door het Anthocyaan niet doordringen tot de fotosynthetisch actieve pigmenten." Dit wordt bevestigd door de constatering van Snel *et al.* (2011) dat groene bladeren het beter doen dan rode bladeren in het groene gebied van het lichtspectrum.

Alokam *et al.* (2012) schrijven: " In addition to the shade avoidance response of stem elongation, phytochromes are involved in anthocyanin synthesis under differing R/FR treatments (Kerckhoffs *et al.* 1992; Mohr 1994; Yanovsky *et al.* 1998)."

Trouwborst *et al.* (2013) schrijven over de paarsverkleuring bij Paprika : "Opvallend was ook de sterke roodkleuring (anthocyaan) van de stengel bij de controle, terwijl dit bij 16hr verrood vrijwel afwezig was. De roodkleuring was bij de 4hr verrood en de FR-EOD-behandelingen iets minder sterk dan bij de controle (Foto 7)." Het rapport Stuurlicht in de Glastuinbouw (Dueck *et al.* 2015) noemt echter niets over anthocyaan vorming als resultaat van stuurlicht.

Volgens Hemming *et al.* (2004) heeft verrood een stimulerend effect op de vorming van Anthocyaan (Tabel 6 op blz 31 en elders in dat rapport), maar volgens die tabel heeft elke golflengte een stimulerend effect, en dat lijkt toch wat vreemd. Zij schrijven niet over remmende effecten van verrood op de vorming van anthocyaan. Terwijl dat in eerdere onderzoeken is gevonden. De vorming van anthocyaan heeft een beschermende werking tegen UV-A en UV-B.

Bakker, *et al.* (1996) vonden geen sterke effecten van nabelichting met verrood bij gebruik van hogedruk natrium lampen of hoge druk kwiklampen op de kleur bij de rozen Frisco en Madelon. Zij rapporteren effecten op uitloop, strekking, bladgrootte en drogestof gehalte maar melden geen effecten op de kleur van het gewas.

Terfa, *et al.* (2013) vinden dat de anthocyaan gehalte van rozen bladeren opgegroeid onder LED hoger is dan die van bladeren opgegroeid onder HPS. Zij zoeken de verklaring hiervoor in het hogere aandeel blauwlicht in de LED behandeling die zij gaven (20% blauw) en niet in het effect op phytochroom via de PSS waarde die volgens hen met 0.85 voor HPS en 0.89 voor LED niet veel verschilde. Suiker ophoping stimuleert volgens deze auteurs, geciteerde bronnen, de anthocyaan vorming. Dit past ook bij Zhang *et al.* (2016).

Trouwborst *et al.* (2012) hebben bij het onderzoek van stuurlicht bij roos gekeken naar de knopuitloop, maar zeggen niets over verandering van gewaskleur.

Nicole *et al.* (2016) vinden voor sla een duidelijk effect van de rood/blauw verhouding op de kleur van sla.

Bij 50% rood en 50% blauw is de sla het donkerste van kleur, maar alle behandelingen zijn donkerder dan de controle behandeling. Su en Hyeon (2014) vinden ook dat blauw licht met 450 nm de vorming van anthocyaan in sla bevordert.

Arakawa *et al.* (2016) vinden dat bij appel blauwlicht met een golflengte van 450 nm de vorming van anthocyaan stimuleert. Daarin is duidelijk cultivar verschil. Zij schrijven ook dat mogelijk 2 receptoren voor blauwlicht invloed hebben op de anthocyaan productie: Cryptochrome en fototropin 2. Dit is een andere response voor anthocyaan vorming dan de response op UV licht als stress.

De blauwlicht proef in het IDC LED laat ook zien dat meer blauw bij Fuchsia leidt tot meer anthocyaan vorming.

Mijn hypothese is dat de sterke anthocyaan vorming meer een gevolg is van de overmaat rood en veel blauw, dan van het ontbreken van verrood. Verrood toevoegen zal het effect onvoldoende opheffen. Het effect van blauw zou dan via fototropine lopen en het effect van fytochroom vooral gestuurd zijn door rood licht dat een hoog niveau van actief fytochroom geeft.

Gewas temperatuur in verhouding tot lightsom – ontbreken van stralingswarmte in LED

In SON-T komt een deel van de warmte als stralingswarmte vrij. Begin jaren 80 van de vorige eeuw is in onderzoek gewerkt met Infrarood-stralingsverwarming in de glastuinbouw – o.a. bij Chrysant- , maar dit is nooit tot grote ontwikkeling gekomen (H.R.M. Timmermans, 1984). Er zijn vier infra-rood stralers boven een deel van het gewas in de kas om te zien wat dit voor effect heeft.

Bij tomaat is bekend dat de gewas temperatuur onder volledig LED belichting lager is dan onder SON-T, daarom wordt de ruimte(kas)temperatuur bij gebruik van LED hoger ingesteld om de ontwikkeling van de plant op peil te houden. Dit onderwerp is in diverse onderzoeken van TTO/Demokwekerij, Wageningen UR Glastuinbouw en Delphy-Improvement Centre aan de orde geweest. In het onderzoek van TTO/Demokwekerij is gewerkt met aanvullende infrarood verwarming, maar in de praktijk wordt het tekort aan warmte opgevangen door de ruimte temperatuur hoger te stellen.

In het rapport van Persoon *et al.* 2010 staat o.a. het volgende:

"Voor de afdeling met LED rood blauw was na een periode met een hoge concentratie buitenlicht een groter effect zichtbaar op de stand van het gewas ten opzichte van SON-T en de LED afdeling rood blauw. Hierbij merkten telers op dat het leek alsof het gewas bij weinig buitenlicht gedrongen groeide (kortere bladeren, minder lengte groei, minder uitdikking van de stam en een overal donkerder kleur van het gewas) en na een periode buitenlicht veel vegetatieve ontwikkeling (groei/opzwellen van bladeren, lichtere kleur) vertoonde. In de LED afdelingen werden verschillen opgemerkt dat er meer vegetatieve groei was onderin het gewas bij de LED afdeling met alle kleuren, zeer significant was dit echter niet."

Hierin is opvallend dat toen een donkerder kleur van het tomaten gewas werd waargenomen.

De herstel reactie van het gewas op de verandering van de verwarming via buizen in plaats van via de OPAC wijst op een belangrijke bijdrage van de warmtehuishouding van het gewas in de oplossing van het syndroom. Het zou betekenen dat een plant bij te lage temperatuur de suikers niet optimaal verwerkt, maar opslaat en in andere structuren omzet. Meting van het droge stof gehalte van takken liet geen verschil zien. Dit betekent echter niet dat de assimilaten huishouding niet anders is geworden. Er kan een lagere fotosynthese zijn als er suikers/zetmeel wordt opgeslagen. Dan kan het droge stof gehalte gelijk zijn en ook de biomassa productie, maar verhoging van de temperatuur zou dan een gunstig effect kunnen hebben op de netto fotosynthese. Een hoge etmaaltemperatuur in verhouding tot de lichtsom zal tot lagere takgewichten leiden als niet gelijktijdig ervoor wordt gezorgd dat het aantal ontwikkelende takken afneemt.

Hormonen en hormoon balans

Van der Berg (1987) wijdt in zijn proefschrift een appendix aan de hormonale achtergrond van uitlopen van knoppen. Daarin beschrijft hij onder andere de rol van de auxines in de apicale dominantie, die de uitloop van knoppen remt. Als de apicale dominantie is opgeheven zorgen cytokinine en gibberelline voor de uitloop van nieuwe scheuten.

Musembi *et al.* (2012) hebben het effect van bespuitingen met auxine (NAA) getest. Bij een interval van bespuiten van 2 dagen werd alle uitloop van zijscheuten (pluizen) voorkomen door auxine, bij lage concentraties nam wel het aantal "bullheads" dat zijn bolvormige bloemen, toe.

Cytokinine bevordert de uitloop van grondscheuten (Raviv, 1986). Dit werkt op de balans van Cytokinine/Auxine. In het bovenste deel van de stengel, met bladeren met drieblaadjes of enkel blad, lopen de ogen makkelijk uit tot pluizen met bloemen (Zieslin en Algom, 2004 (met drie referenties naar eerdere artikelen hierover)). In dit deel van de plant komen cytokinines vooral voor in de isopentenyl vorm. Zieslin en Algom veronderstellen dat isopentenyl cytokinines de uitloop van de knoppen bevorderen. Het zou volgens mij echter ook een resultaat kunnen zijn van de omzetting van cytokinines in een in-actieve vorm, zodat ze de uitloop niet remmen, terwijl er wel cytokinine via het xyleem uit de wortels komt. De omzetting van het zeatine, een cytokinine dat vanuit de wortels wordt getransporteerd, in isopentenyl vorm wordt door Zieslin en Algom wel genoemd, maar de betekenis daarvan anders geformuleerd.

Dieleman (1998) in haar proefschrift beschrijft de effecten en rol van cytokinine in ontwikkeling van de roos. Cytokinine wordt niet alleen in de wortel gemaakt, maar ook in bladeren. Zij geeft ook een schema voor de synthese van de verschillende cytokinines.

Bredmose *et al.* (2005) stelt dat zowel cytokinine uit de wortels als lokaal in het blad geproduceerde cytokinine de uitloop van zijscheuten bevorderen. Dit lijkt echter strijdig met het feit dat het deels afscheuren van een blad (blaadje breken), de uitloop van de scheut in de oksel van bevordert.

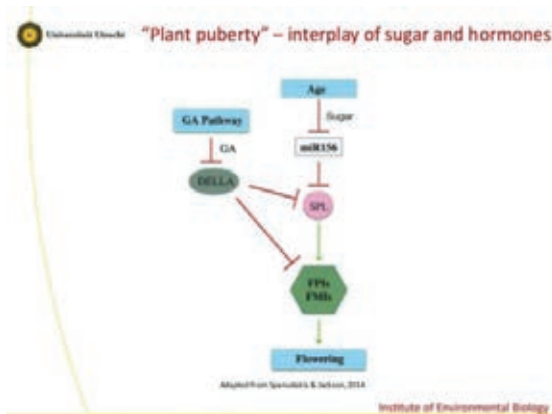
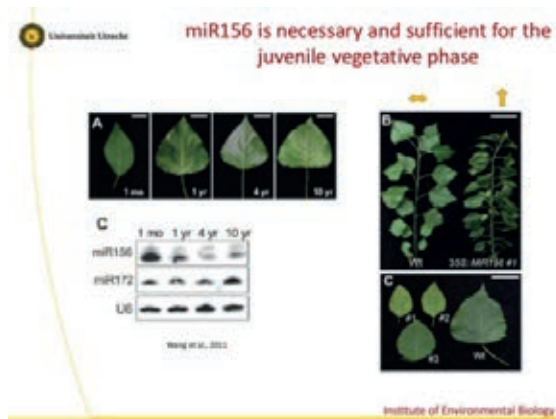
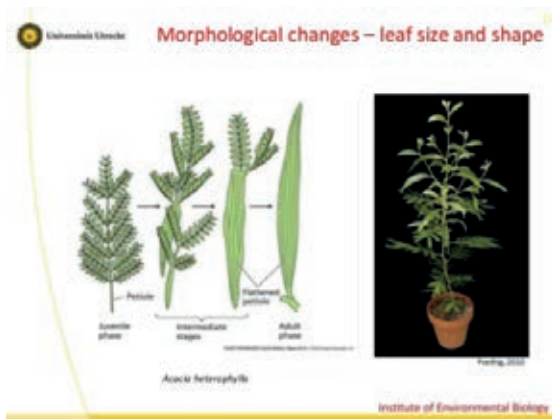
Bar en Ori (2014) beschrijven in een review dat de balans tussen auxine en cytokinine belangrijk is voor de vorming en differentiatie van bladeren, daarbij schrijven zij over een synergistisch (elkaar versterkend) effect, maar dat ook gibberellines hierin een rol spelen.

Bedoorning

Doorns zijn bij meerdere gewassen een vorm van juveniliteit (Heybroek, 2011). De grondscheuten van roos zijn vaak sterk bedoornd.

In een lezing van Proveniers worden voorbeelden gegeven van afwijkende vormen van bladeren en doorns omdat een plant juveniel is. (Proveniers (internet)).

<https://www.slideshare.net/tychomalmberg/l26-kennen-planten-ook-een-puberteit-marcel-proveniers>.



Figuur 9 Sheets uit de ppt van Proveniers.

In het syndroom lijken kenmerken voor te komen, die overeenkomen met verschijnselen bij juveniliteit zoals bedoorning, afwijkende bladvorm.

Daarbij de aantekening, dat de definitie van juveniliteit niet duidelijk wordt gegeven. Bij roos is volgens de Vries (1975) de juveniele fase heel kort, slechts een paar weken. De symptomen in het syndroom lijken meer op wat waarneembaar is bij grondscheuten. Er kunnen in planten snelle transitie in ontwikkeling plaatsvinden. Dit is een vorm van gen expressie. Dat zou via receptoren voor licht door golfengete gestuurd kunnen zijn.

Water opname en verdamping zijn hoog

In deze teelt zijn verdamping en wateropname al lang hoog in vergelijking met de praktijk. Daarzien we geen bijzondere aanleiding voor. Wel vond Savides (2012) bij komkommer dat bij meer blauwlicht de geleidbaarheid van de huidmondjes en de geleidbaarheid voor water toenam bij een intensiteit van $100 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$. Van blauwlicht is bekend dat het de opening van huidmondjes stimuleert. Dat de verdamping zeker niet lager is klopt met dit gegeven. Analyse van de voedings toestand van de mat laat een verschuiving zien naar een iets hogere pH en iets meer bicarbonaat in de mat. Nu we recirculeren is de stabiliteit van de voedingstoestand minder.

Groen licht

Er is een groep onderzoekers in Gainesville (USA) onder leiding van Kevin M. Folta die veel geschreven hebben over groen licht effecten op groei en ontwikkeling van planten. Uit hun onderzoek zijn volgens mij de volgende hypothesis/leerpunten te benoemen:

- De response op groen licht zie je vooral onder licht limiterende condities. Die heb je volgens mij met belichting.
- Groen licht geeft een soort shade avoiding response. Nu dat ontbreekt zie je die niet en krijg je volgens mij takken die gemakkelijk bloemen aanleggen. Rozen onder groen licht zouden dan sneller loos moeten worden.
- Groen licht werkt bij een verhouding van 2:1 met blauw licht als rem op de aanmaak van anthocyaan. De effect is afhankelijk van de lichtstroom (fluence rate).

Ontwikkeling

De ontwikkeling van een rozentak is als een knop begint uit te lopen binnen ca 2 weken al zo ver door gegaan dat alle bladeren en de knop zijn aangelegd en alleen nog maar verder moeten uitgroeien. De belangrijkste ontwikkelingsprocessen zitten dus zo'n 4 weken voor de oogst.

Voorlopige conclusie (geformuleerd maart 2017)

De kasttemperatuur moet duidelijk omhoog om de ontwikkeling van het gewas sneller te doen zijn. Daarbij moet het aantal knippunten en uitgroeierende scheuten worden verminderd.

De verschillen die we zien zouden met meerdere cultivars getoetst moeten worden.

Er zijn meerdere aanwijzingen in de literatuur dat het spectrum van het licht belangrijk is voor de teelt van topkwaliteit rozen. In de zomer geldt dit voor de overmaat rood licht, waardoor anthocyaan wordt gevormd. In de winter wordt dit effect versterkt.

In de winter en met te lage gewas temperatuur vertoont het gewas symptomen van juveniliteit. Dit wijst op een veranderde verhouding tussen verschillende hormonen, Cytokinine, Auxine, Gibberelline en dat deze verhoudingen in een scheut snel veranderen.

Er zou een proef met alleen rood licht –geen blauw gedaan kunnen worden om na te gaan of de anthocyaan vorming dan afneemt. Of de piek van blauw zou meer naar de 500 nm moeten gaan.

Door te variëren met het spectrum van de LED zou het mogelijk moeten zijn om een spectrum te geven dat op gemiddeld zonlicht lijkt en op gemiddeld SON-T. Daarbij moeten we niet kijken naar de efficiëntie van de gebruikte LED's maar of de plant daar gunstig op reageert.

Voor bladgrootte zijn naast plantbelasting verlagen geen nieuwe inzichten opgekomen.

Literatuur bij notitie

Alokam S. , C.C. Chinnappa, and David M. Reid. 2002.

Red/far-red light mediated stem elongation and anthocyanin accumulation in *Stellaria longipes*: differential response of alpine and prairie ecotypes. *Can. J. Bot.* 80: 72–81.

Arakawa, O., S. Kikuya, P. Pungpomin, S. Zhang and N. Tanaka. 2016.

Accumulation of anthocyanin in apples in response to blue light at 450 nm: recommendations for producing quality fruit color under global warming. *European Journal of Horticultural Science*, 81(6):297-302

Bakker J.A., T. Blacqui re en J. de Hoog. 1996.

Kwalitatieve neveneffecten van assimilatie belichting. Aalsmeer, PBG rapport 53. 151 pp.

Bar, M. and N. Ori. 2014.

Leaf development and morphogenesis. *Development* 141(22):4219-4230.

Bredmose, N., K. Kristiansen, R. N rb k, L. Christensen and J. Hansen-M ller. 2005.

Changes in Concentrations of Cytokinins (CKs) in Root and Axillary Bud Tissue of Miniature Rose Suggest that Local CK Biosynthesis and Zeatin-Type CKs Play Important Roles in Axillary Bud Growth. *Journal of Plant Growth Regulation*, 24(3):238-250

Dieleman, J.A. 1998.

Cytokinins and bud break in rose combination plants. Wageningen Thesis. 109 pp.

Dueck, T., S.W. Hogewoning, C.S. Pot, E. Meinen, G. Trouwborst en F. Kempkes, 2015.

Stuurlicht in de Glastuinbouw 1. Kansen voor energiebesparing? Wageningen. Rapport GTB-1349. 56 pp.

Hemming, S., D. Waaijenberg, G. Bot, P. Sonneveld, F. de Zwart, T. Dueck, C. van Dijk, A. Dieleman, N. Marissen, E. van Rijssel en B. Houter. 2004.

Optimaal gebruik van natuurlijk licht in de glastuinbouw. Wageningen. Agrotechnology & Food Innovations Rapport nr. 100. 154 pp.

Heybroek, H. 2011.

Bomen bewaren hun jeugd. *Arbor Vitae*. 2-21:30- 33

Musembi, N.N., N. Adeya and, W.W. Murigi. 2012.

Interactions between hormonal and developmental signalling in the prevention of side-shoots in rose (*Rosa hybrida* L.). *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 87(5):419-423

Nicole, C.C.S., F. Charalambous, S. Martinakos, S. van de Voort, Z. Li, M. Verhoog and M. Krijn. 2016.

Lettuce growth and quality optimization in a plant factory. *Acta Hort.* 1134:231-238.

Persoon S., A. Aulbers J. Sanders, G. Oosterhuis en Draaier. 2010.

Onderzoek naar invloed stralingswarmte en spectrale effecten LED belichting. Teeltseizoen 2009-2010. Honselersdijk. Tuinbouw Techniek Ontwikkeling. 46 pp.

- Raviv M., 1986.
Promotion of "Bottom breaks" in roses by spray treatment with a cytokinin-rich seaweed concentrate. *Acta Hort.* 189:209-213.
- Savvides, A. D. Fanourakis and W. van Ieperen 2012.
Co-ordination of hydraulic and stomatal conductances across light qualities in cucumber leaves. *Journal of Experimental Botany*, 63(3): 1135–1143
- Snel, J.F.H., E. Meinen, M.A. Bruins, W. van Ieperen, S.W.Hogewoning and L.F.M. Marcelis. 2011.
Fotosynthese-efficiency bij verschillende golflengten. Wageningen UR Glastuinbouw 57 pp.
- Su Lee, Jae. and Yong Hyeon Kim, 2014.
Growth and Anthocyanins of Lettuce Grown under Red or Blue Light-emitting Diodes with Distinct Peak Wavelength. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology* 32(3):330-339
- Terfa, M.T., K.A. Solhaug, H.R. Gislerød, J. E. Olsen and S. Torre. 2012.
A high proportion of blue light increases the photosynthesis capacity and leaf formation rate of *Rosa X hydrida* but does not affect time to flower opening. *Physiologia Plantarum* 148:146-159.
- Timmermans, H.R.M. 1984.
Het gebruik van infrarood-stralingsverwarming in de Glastuinbouw. (teeltkundige aspecten. Wageningen vakgroep Tuinbouwplantenteelt. 46 pp.
- Trouwborst G., C.S. Pot en A.H.C.M. Schapendonk. 2010.
Spectraal effect van LED tussenbelichting op scheutuitloop van roos in de zomer. Wageningen: Plant Dynamics B.V., 16.
- Trouwborst G., C.S. Pot en D.P. de Vries, 2012.
Knopuitloop bij Roos: Effecten van stuurlicht en temperatuur. Plant Dynamics B.V., Wageningen. 33 pp.
- Trouwborst G., S.W. Hogewoning en C.S. Pot, 2013.
Stuurlicht bij de tijd. Plant Lighting B.V., Bunnik. 61 pp.
- Van de Berg, G.A. 1984.
Influence of temperature on bud break, shoot growth, flower bud atrophy and winter production of glasshouse roses. Thesis Wageningen, 169 pp.
- Van Ieperen W. , S. Hogewoning en E. ten Dam, 2011.
Bloei-inductie bij Chrysant onder lange dag. Toepassing van LED-licht technologie. Wageningen, 23 pp.
- Van Rijssel, E. 2005.
Optimaal spectrum voor assimilatielampen. Een literatuurstudie. PPO-Glastuinbouw. Aalsmeer. 24 pp.
- Vries, D.P. 1976.
Juvenility in hybrid tea-roses. *Euphytica* 25:321-328
- Wubs, A. M., E. Heuvelink, L.F.M. Marcelis, G.H. Buck-Sorlin and J. Vos. 2014.
Axillary budbreak in a cut rose crop as influenced by light intensity and red: Far-red ratio at bud level. *Journal of the American Society for Horticultural Science*.139(2): 131-138.
- Wubs, A.M., E. Heuvelink, L.F.M. Marcelis, R.C. Okello, G.H. Buck-Sorlin and J. Vos. 2013.
Four Hypotheses to Explain Axillary Budbreak after Removal of Flower Shoots in a Cut-rose Crop. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 138(4):243-252.
- Zhang, H.-N., W.-C. Li, H.-C. Wang, S.-Y. Shi, B.Shu, L.-Q. Liu, Y.-Z. Wei and J.-H. Xie. 2016.
Transcriptome profiling of light-regulated anthocyanin biosynthesis in the pericarp of litchi. *Frontiers in Plant Science*, 7:963.
- Zieslin. N. and R. Algom. 2004.
Alteration of endogenous cytokinins in axillary buds of conventionally grown greenhouse rose plants. *Scientia Horticulturae* 102:301-309.

Bijlage 3 Voorbeeld van een weekrapport

Weekrapport

04 Sleutel naar energiezuinig telen zonder lichtuitstoot
100% LED -ROOS

Week 26



Opdrachtgevers: Ministerie van EZ - LTO Glaskracht, Wageningen UR
Programma Kas als Energiebron van het ministerie voor Economische Zaken en LTO Glaskracht Nederland.

Uitvoerder: Delphy Improvement Centre

Meteo

		Dag			Nacht			Etnaal			Straling	Wind
		Min	Max	Gem	Min	Max	Gem	Min	Max	Gem	Joules/m²	m/s
ma	26-12-2018	1,2	8,3	4,8	6,4	7,8	7,1	6,4	8,3	7,6	340	4,8
di	27-12-2018	6,2	9,7	6,8	6,2	7,8	6,7	6,2	9,7	6,2	320	1,8
woe	28-12-2018	0,7	3,4	2,0	-1,3	3,8	1,1	-1,8	3,8	1,0	120	1,8
do	29-12-2018	-1,8	-0,3	1,0	-2,0	-0,8	-1,2	-2,0	-0,3	-1,2	128	2,1
vrj	30-12-2018	-1,1	4,0	1,0	-1,1	4,8	2,4	-1,1	4,8	2,8	200	2,8
za	31-12-2018	2,0	4,1	3,0	0,1	3,7	1,8	0,1	4,1	2,2	100	4,0
zo	1-1-2017	-1,0	0,4	-0,2	0,6	4,8	2,8	-1,0	4,8	1,8	80	2,8
wk gem.tot.		-1,8	6,7	3,2	-0,8	7,8	2,8	-0,2	9,7	3,7	1368	2,8

Klimaat

		Dag			Nacht			Etnaal			RF
		Min	Max	Gem	Min	Max	Gem	Min	Max	Gem	RF
ma	26-12-2018	16,4	21,8	20,4	18,8	20,2	17,2	16,4	21,8	18,2	3,2
di	27-12-2018	16,1	22,8	20,7	18,1	20,0	17,1	16,1	22,8	18,3	3,8
woe	28-12-2018	16,3	21,4	20,0	14,8	21,8	17,2	16,8	21,4	18,1	2,8
do	29-12-2018	16,0	20,8	18,8	14,4	20,1	18,4	16,4	20,7	17,8	2,7
vrj	30-12-2018	17,8	21,4	20,1	18,2	20,8	17,8	18,2	21,4	18,2	2,8
za	31-12-2018	16,1	20,8	18,7	14,8	20,8	17,8	16,8	20,8	18,1	2,4
zo	1-1-2017	16,3	21,0	18,8	18,8	20,8	17,8	16,8	21,0	18,3	2,3
wk gem.tot.		17,8	22,8	20,0	14,8	21,8	17,2	16,4	22,8	18,1	2,8

		Gem RV (%)			Gem VD (g/m³)			Gem co2 (ppm)			Co2 Doel
		dag	nacht	etnaal	dag	nacht	etnaal	dag	nacht	etnaal	grad
ma	26-12-2018	80	88	80	2,9	2,1	2,4	1010	800	801	100
di	27-12-2018	80	88	87	2,7	1,7	2,1	1010	880	894	90
woe	28-12-2018	80	88	80	2,1	2,1	2,3	1020	800	880	14
do	29-12-2018	84	88	88	2,1	2,2	2,3	1020	880	880	80
vrj	30-12-2018	80	88	84	2,9	2,2	2,4	1020	840	887	120
za	31-12-2018	84	84	84	2,7	2,3	2,4	1012	844	888	130
zo	1-1-2017	81	87	80	3,2	2,0	2,4	1020	880	880	88
wk gem.tot.		84	88	80	2,8	2,1	2,3	1020	881	887	880

		PAR mol/m²			Groeillicht J/m²			Belichting	
		dag	nacht	etnaal	dag	nacht	etnaal	string 1	string 2
ma	26-12-2018	8,7	8,8	16,8	870	880	1480	30,0	30,0
di	27-12-2018	8,7	8,8	16,8	870	880	1480	30,0	30,0
woe	28-12-2018	7,0	8,8	10,8	870	880	1480	30,0	30,0
do	29-12-2018	7,7	8,8	10,8	870	880	1480	30,0	30,0
vrj	30-12-2018	7,8	8,8	16,7	870	880	1480	30,0	30,0
za	31-12-2018	7,0	8,7	16,7	880	878	1480	30,0	30,0
zo	1-1-2017	8,8	8,7	16,8	880	877	1480	18,8	18,8
wk gem.tot.		7,9	8,8	16,2	875	880	1480	18,7	18,7

Schermen

		Doek 1		doek 2		Doek 3	
		dag	nat.	dag	nat.	dag	nat.
ma	26-12-2018	0,0	0,0	14,7	14,7	0,0	0,0
di	27-12-2018	0,0	0,0	14,7	26,4	0,0	0,0
wed	28-12-2018	0,0	0,0	16,1	44,0	0,0	0,0
do	29-12-2018	0,0	0,0	16,1	56,0	0,0	0,0
vrij	30-12-2018	0,0	0,0	16,4	74,0	0,0	0,0
za	31-12-2018	0,0	0,0	16,3	80,0	0,0	0,0
zo	1-1-2017	0,0	0,0	16,4	100,0	0,0	0,0
wk gem./tot.		0,0	0,0	16,1	100,0	0,0	0,0

Water

		Watergift		Opname		Drain	
		l/m2	l/c	l/m2	l/c	l/m2	%
ma	26-12-2018	0,2	1,7	0,0	0,0	0,4	40,4
di	27-12-2018	0,2	1,7	0,0	0,0	0,4	40,1
wed	28-12-2018	0,2	1,7	0,0	0,0	0,7	41,0
do	29-12-2018	0,2	1,7	0,0	0,0	0,8	40,8
vrij	30-12-2018	0,2	1,7	0,4	0,0	0,3	40,8
za	31-12-2018	0,2	1,7	0,0	0,0	0,3	40,1
zo	1-1-2017	0,2	1,8	0,0	0,0	0,3	40,0
wk gem./tot.		0,2	1,7	0,0	0,0	0,5	40,0

Energie

energie per week week 51

Week	warmte		lucht		LT-warmte		electr		belichting	
	MWh/m2	cum	MWh/m2	cum	MWh/m2	cum	MWh/m2	cum	KWh/m2	cum
45	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	10,0	11,0	210,0
46	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	10,0	10,0	200,0
47	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	11,0	11,0	200,0
48	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	11,0	10,0	200,0
49	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	10,0	11,0	200,0
50	0,0	11,0	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	10,0	11,0	200,0
51	11,0	22,0	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	10,0	11,0	200,0
52	10,0	32,0	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	10,0	10,0	200,0

Productie (per 1 april 2018)

Bed 1 + 4: rode leds

week	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
Aant. Stengels	375	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
Stengels/mf	0,01	0,09	7,07	0,44	0,09	0,09	0,09	0,09	7,08	0,73	7,00	0,44
Cum. stengels/mf	100,19	100,00	200,10	200,00	214,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00
kg	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
kg/mf	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cum. kg/mf	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Grs. et. gewicht gram	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
LSE (gram/mf)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Bed 8-10: rode leds

week	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
Aant. Stengels	354	405	480	560	651	750	854	971	1077	1185	1273
Stengels/mf	5,37	6,46	7,17	8,17	9,37	10,13	11,55	12,46	13,03	14,46	15,46
Cum. stengels/mf	188,77	195,25	201,03	206,79	213,08	218,19	224,74	230,20	236,26	244,76	250,73
kg	22,86	24,45	27,06	30,55	34,34	38,05	41,08	43,86	46,54	49,35	51,42
kg/mf	0,36	0,36	0,44	0,53	0,54	0,57	0,59	0,58	0,55	0,50	0,29
Cum. kg/mf	10,57	10,97	11,41	11,74	12,06	12,35	12,64	12,87	13,07	13,34	13,64
Gm. st. gewicht gram	60,9	60,4	57,5	57,1	54,5	52,6	51,6	51,1	48,5	46,0	46,3
LSE (gram/mol)	2,79	2,66	2,26	2,35	2,00	2,08	2,01	2,02	2,08	2,67	2,85

Bed 11 +12: witte leds

week	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
Aant. Stengels	402	347	540	404	333	340	373	435	420	400	418
Stengels/mf	7,34	5,56	8,73	6,46	4,95	5,53	5,66	6,97	6,97	6,41	6,86
Cum. stengels/mf	188,03	191,84	200,82	207,57	212,40	217,96	223,62	230,60	237,87	244,28	250,94
kg	27,69	20,41	31,00	24,53	19,56	17,54	18,85	21,46	21,28	19,30	19,64
kg/mf	0,44	0,33	0,50	0,39	0,36	0,39	0,30	0,35	0,34	0,31	0,31
Cum. kg/mf	10,47	10,79	11,29	11,56	11,94	12,00	12,52	12,86	13,20	13,53	13,84
Gm. st. gewicht gram	67,3	56,8	56,9	58,7	53,7	50,8	50,5	50,8	48,9	46,0	47,3
LSE (gram/mol)	2,88	2,81	2,30	2,49	2,23	2,18	2,01	2,10	2,08	2,69	2,60

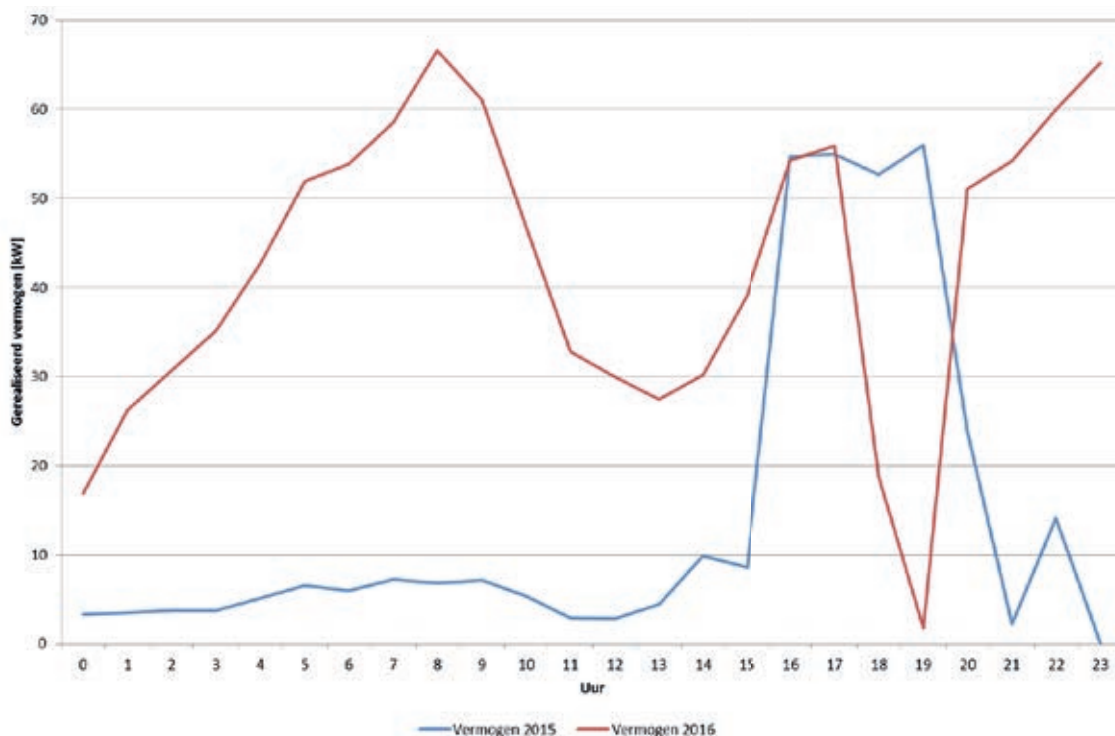
Metingen na sorteren

week	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
% A	94,2%	83,2%	90,8%	90,3%	92,0%	91,5%	92,0%	91,8%	91,5%	91,8%	90,4%
% A2	0,8%	0,8%	0,2%	0,7%	7,5%	8,0%	7,5%	6,2%	8,5%	6,4%	0,5%
% B	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Gem. lengte cm	70,0	71,7	71,9	70,5	70,8	70,0	70,0	70,0	70,4	70,7	71,8
Gem. dikte mm	5,1	5,0	5,1	5,2	5,2	5,3	5,3	5,3	5,2	5,2	5,2
Gem. telgew. 1,60 gr	0	78	88	0	64	0	0	88	64	0	0
Gem. telgew. 1,80 gr	73	87	85	62	60	68	80	81	59	55	54
Gem. telgew. 1,70 gr	80	58	80	57	58	58	58	52	49	48	48
Gem. telgew. 1,80 gr	54	51	50	51	50	50	45	44	40	41	40
Gem. telgew. 1,50 gr	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0
Knephoogete 1,60 mm	0	54	54	0	54	0	0	58	50	0	0
Knephoogete 1,80 mm	54	53	54	53	53	55	51	54	52	50	49
Knephoogete 1,70 mm	53	50	54	51	52	54	50	52	46	47	46
Knephoogete 1,80 mm	51	50	52	50	50	50	48	49	47	46	47
Knephoogete 1,50 mm	0	0	0	49	0	0	0	0	0	0	0

Bijlage 4 Analyse gebruik van de OPAC's

Analyse OPAC gebruik over de periode 31 oktober tot en met 31 december 2015 en 2016.
Arie de Gelder 16-1-2017

Uit de PRIVA connext zijn voor deze analyse 5 minuten gegevens gehaald van een groot aantal gelogde gegevens. Het eerste waar naar is gekeken is: wat is het gerealiseerde vermogen aan verwarming zoals dat gerealiseerd is met de OPAC's.

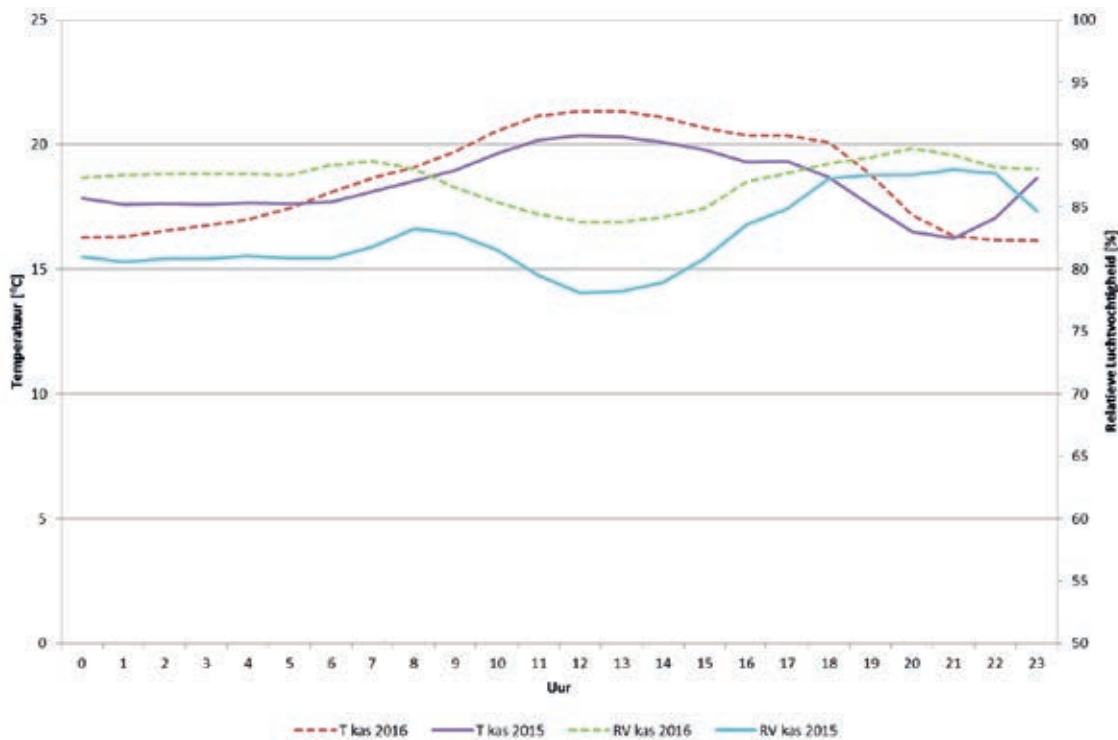


Figuur 10 Per uur de gemiddelde waarde van de 5 minuten gegevens voor gerealiseerd vermogen voor verwarming over de periode 31 oktober tot en met 31 december.

In Figuur 10 is duidelijk te zien dat het gerealiseerde vermogen aan verwarming met de OPAC een geheel ander patroon laat zien voor beide jaren. In 2016 is er in de uren van middernacht tot 8 uur met de OPAC veel en in toenemende mate verwarmd. Daarna zakt de verwarming om aan het eind van de middag weer toe te nemen. Na 17 uur daalt de verwarming sterk naar bijna 0 om daarna weer sterk toe te nemen. Rond middernacht daalt de verwarming dan weer sterk.

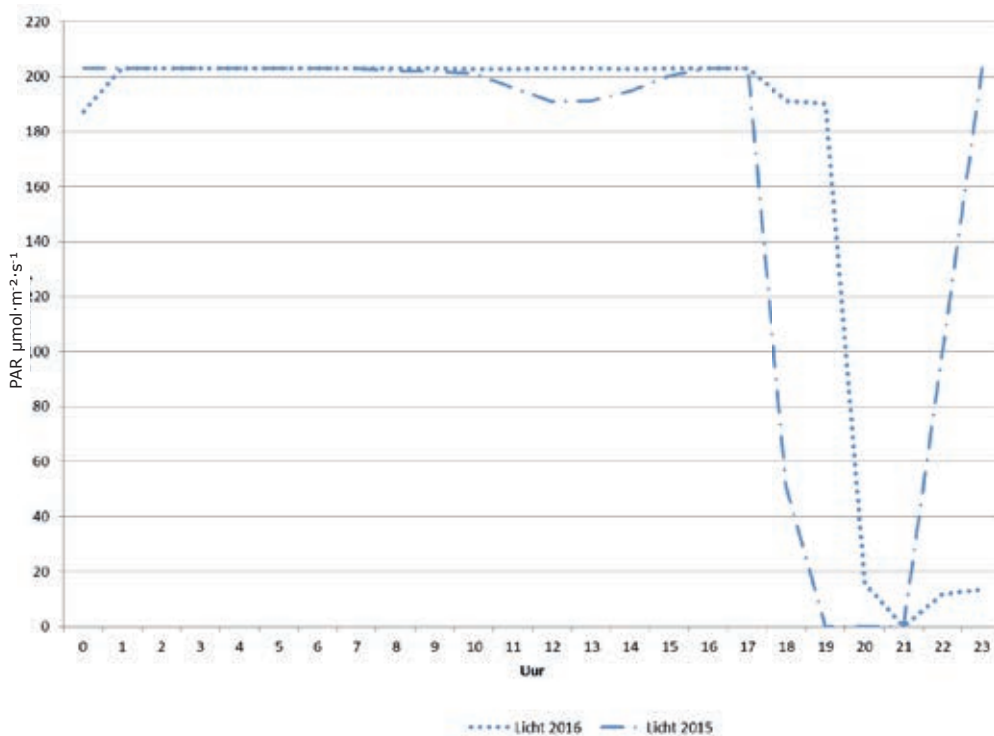
In 2015 is er een gemiddeld lage warmte vraag die echter sterk toeneemt om 16 uur en daalt na 20 uur. In 2015 is er dus aan het eind van de dag begin van de nacht verwarmd, wat in 2016 juist niet is gedaan.

Deze gegevens moeten wel worden bekeken tegen de achtergrond van het gerealiseerde klimaat en de buiten omstandigheden. In 2015 was het gemiddeld buiten wel 4°C warmer dan in 2016. Maar dit kan niet het verschil in warmte vraag patroon over 24 uur verklaren. Het heeft wel effect op het gemiddelde niveau van de warmte vraag.



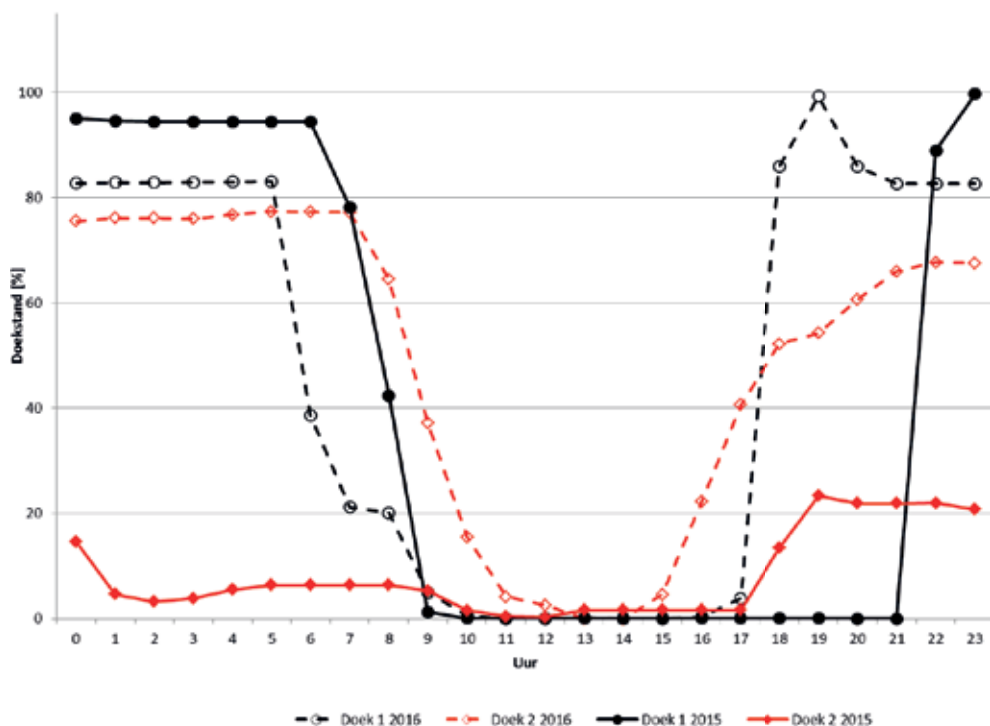
Figuur 11 Temperatuur en Relatieve Luchtvochtigheid gemiddeld per uur over de periode 31 oktober tot en met 31 december.

In 2016 is het gemiddeld in de nacht iets koeler geweest dan in 2015, maar overdag warmer. De luchtvochtigheid is in 2016 gemiddelde over de het hele etmaal hoger geweest. Op het punt van luchtvochtigheid zijn in eind december maatregelen genomen en die leiden er toe dat begin 2017 de luchtvochtigheid iets lager is begin 2016. De temperatuur tussen 1 en 7 uur is begin 2017 lager dan in 2016.



Figuur 12 Mate van belichting gemiddeld per uur.

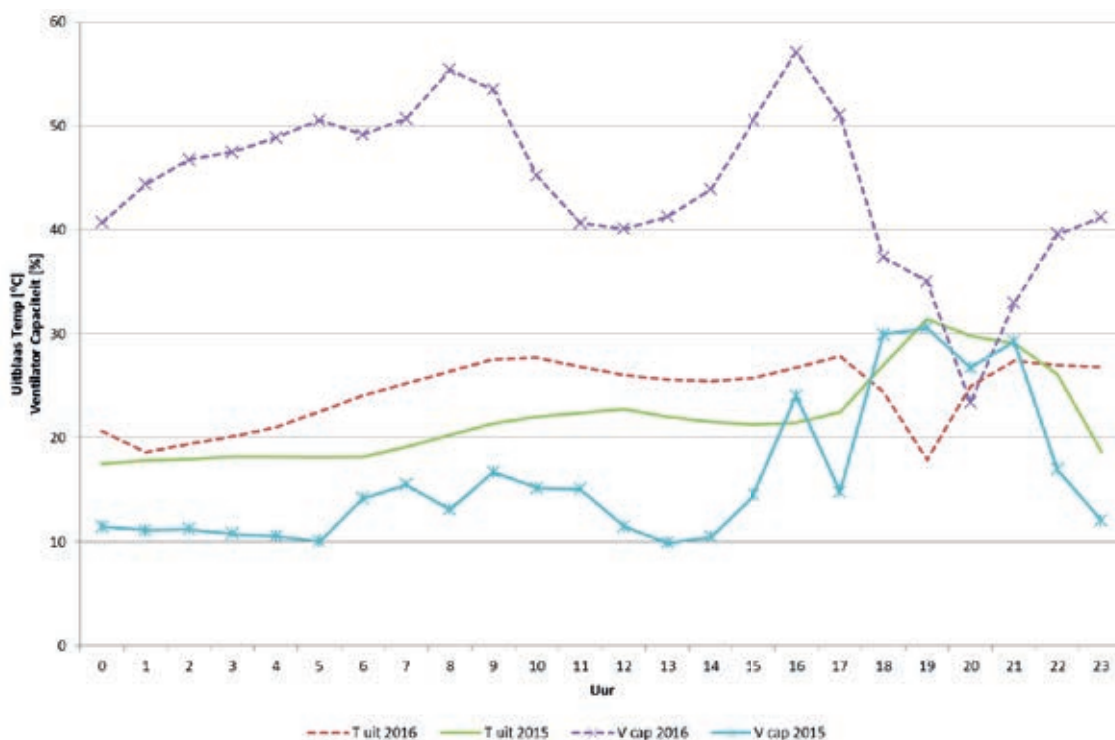
Uit Figuur 12 voor de belichting blijkt dat in 2015 de periode dat het licht uit moet gehouden is op 18-20 uur en in 2016 is dat verschoven naar 20-24 uur. Deze verschuiving is gedaan omdat we dachten daarmee beter te kunnen profiteren van de warmte die bij de belichting nog in de kas aanwezig is. Een hypothese dat dit direct een nadelig effect op de kwaliteit zou hebben, heb ik niet.



Figuur 13 De doekstanden (doek 1 = energie en doek 2= lichtemissie doek).

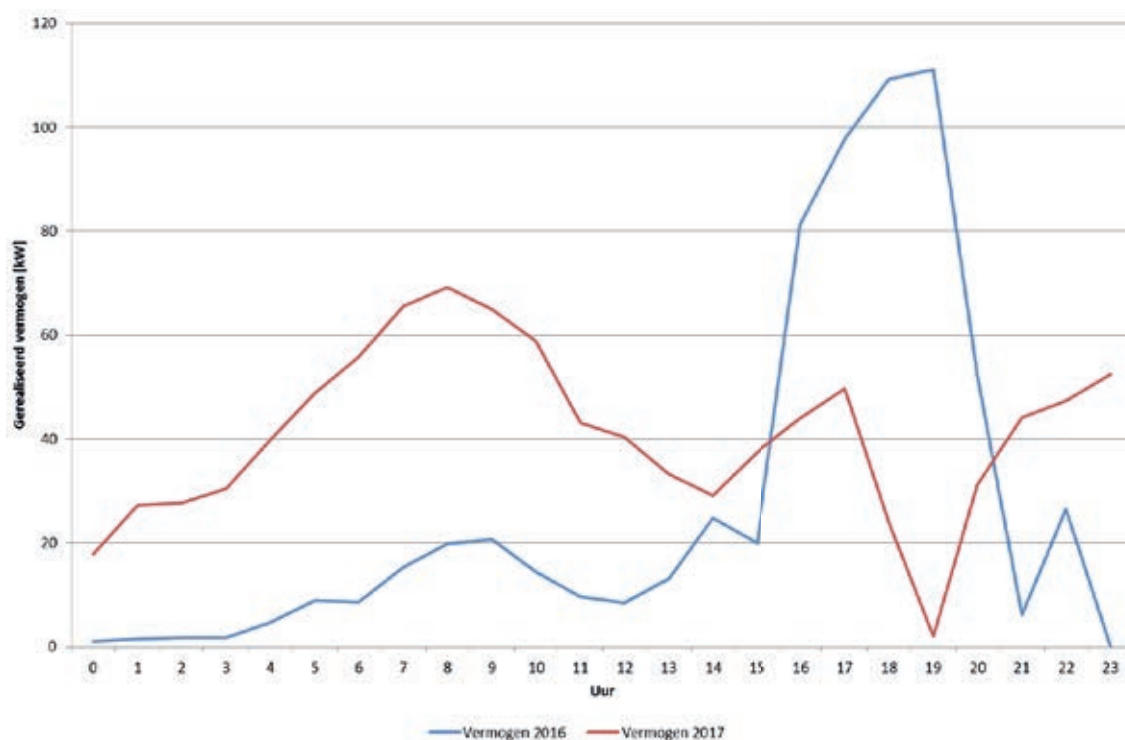
Uit doekstanden blijkt dat in 2015 als het licht uit was (na 17 uur) de doeken vrijwel geheel open lagen. Terwijl in 2016 in deze periode de doeken en dan vooral doek 1 het energie doek juist gesloten is. Dit kan verklaren waarom in 2015 juist in deze periode de OPAC warmte moest leveren en in 2016 niet.

Gelet op de ervaring van 2015 zou dit ervoor pleiten om in de donker periode de doeken juist niet te sluiten. Het gewas zal dan sterker afkoelen door uitstraling. Dit is mogelijk gunstig voor de ontwikkeling van de groeipunten. NB: in het gesprek van mij met Peter Kamp pleitte hij er voor juist aan het eind van de lichtperiode de temperatuur te laten dalen door de verwarming niet te benutten. Dit lijkt enigszins met bovenstaande in tegenspraak, maar de verwarming in 2015 moest er inkomen omdat met geopende doeken de temperatuur te veel ging dalen.



Figuur 14 Uitblaas temperatuur en ventilator capaciteit over de periode 31 oktober tot en met 31 december.

Het verschil in gerealiseerd vermogen verwarming komt uiteraard overeen met een gemiddelde hogere ventilator capaciteit en uitblaasttemperatuur van de OPAC in 2016. Het verschil in uitblaasttemperatuur is over dag rond de 5°C. Alleen in de periode tussen 17 en 20 uur is het in 2015 juist een hogere uitblaasttemperatuur. In december is de stookstrategie voor de OPAC al wel verandert door meer met buizen te gaan werken maar het blijkt dan er nog steeds meer energie via de OPAC wordt geleverd dan begin 2016. Terwijl ook de piek in warmtevraag begin 2016 er nog is in de periode van niet belichten.



Figuur 15 Gerealiseerd vermogen verwarmen met de OPAC in de periode 1 januari-15 januari.

Ideeën naar aanleiding van bovenstaande analyse.

De warmte vraag voor verwarming van de kas moeten we primair gaan leveren met de buizen. Tot bijvoorbeeld een maximum buis temperatuur van 45°C. Als je dan de gewenste stook temperatuur niet haalt, dan pas gaan bijstoken met de OPAC. De OPAC op recirculatie stand met een ventilator capaciteit van 30%.

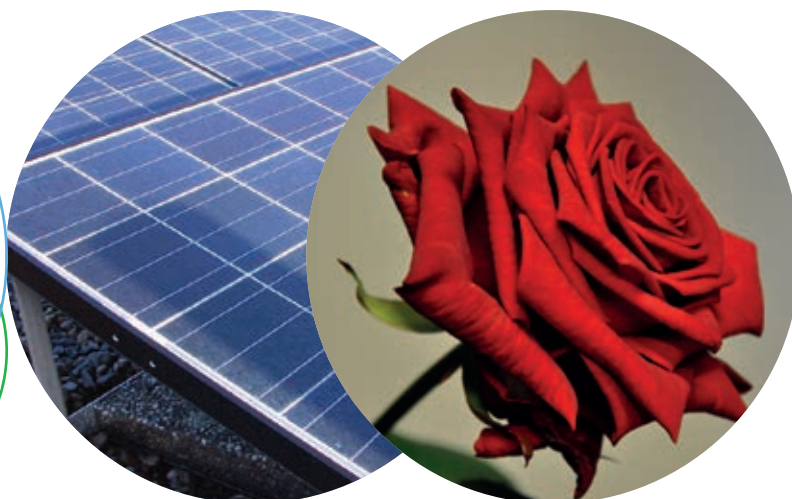
De belichting aan van 22 uur tot 18 uur en daarna 4 uur donker. Dus niet wat we dit jaar hebben gedaan naar later in de nacht verschuiven.

De schermen openen in de periode dat de lampen uit zijn. Dan wel verwarmen met de OPAC. Dus warmte boven het gewas brengen. Alleen bij zeer lage buiten temperatuur het scherm zo nodig dicht doen.

Bij belichting met de LED in de nacht de temperatuur verhogen tot 18°C in plaats van de 16°C die we nu hebben gerealiseerd.

De sturing van de luchtvochtigheid gaat nu goed.

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



Wageningen University & Research,
BU 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.wur.nl/glastuinbouw

Glastuinbouw Rapport WPR-708

Wageningen University & Research, BU 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 University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen WUR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en WUR 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 WUR 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.