



High Output LED in hybride belichting

Monitoring praktijkproef bij Alstroemeria

Nieves García Victoria¹, Kees Weerheim¹, Frank Kempkes¹, Johan Steenhuizen¹,
Arend Vreugdenhil² en Marco de Groot³

¹ Wageningen University & Research BU Glastuinbouw, ² Fa. Vreugdenhil, ³ Flori Consult Group

Rapport WPR-806



PHILIPS



Gewascoöperatie Alstroemeria



Ministerie van Landbouw,
Natuur en Voedselkwaliteit



Referaat

Met als doel de intensiteit van het kunstlicht te verzwaren met zo min mogelijke elektriciteitskosten experimenteert een Alstroemeria praktijkbedrijf met een Hybride installatie. De Hybride belichting is ontstaan door de bestaande 61 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ SON-T aan te vullen met 21 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ Philips High Output (HO) LED lampen tot een totale intensiteit van 81 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$. De prestaties van deze hybride belichting zijn van januari 2017 tot mei 2019 onderzocht, in vergeleken met de bestaande installatie SON-T (62 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$) en met Regular Output (RO) LED in een intensiteit van 79 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$. Door het 33% hogere lichtniveau en 442 meer branduren van de HO LED was de lichtsom in de Hybride belichting 288 Mol/m² hoger dan in de SON-T referentie (4%) en leverde 8% meerproductie op (langere, zwaardere takken). De RO LED, ook met een ca. 33% hogere intensiteit en even veel branduren als SON-T heeft geresulteerd in een 215 Mol/m² hoger lichtsom (3%) en een meerproductie van 6% (meer takken). Van de drie systemen blijkt de Full LED optie de meest energiezuinige; de Hybride belichting had de laagste EBE (elektrabenuuttingsefficiëntie). Het onderzoek is gefinancierd door het programma 'Kas als Energiebron' van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en LTO Glaskracht, met een bijdrage van de Gewascoöperatie Alstroemeria, Philips Lighting en Fa. Vreugdenhil.

Abstract

In order to increase the intensity of the artificial light with the least possible electricity costs, an Alstroemeria production company experiments with a Hybrid light installation. The Hybrid lighting was created by complementing the existing 61 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ HPS lamps with 21 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ Philips High Output (HO) LED lamps to a total intensity of 81 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$. The performance of this hybrid lighting was investigated between January 2017 and May 2019 and compared with the existing HPS installation (62 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$) and with Regular Output (RO) LED at an intensity of 79 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$. The light sum in the Hybrid lighting was 288 Mol/m² higher than in the HPS reference (4%) thanks to the 33% higher light level and the 442 more burning hours of the HO LED, and yielded 8% more production (longer, heavier stems). The light sum in the LED treatment was 215 Mol light (3%) higher than the reference, due to 33% higher intensity but was used as many hours as the HPS lamps, and increased production by 6% (more branches). Of the three systems, the Full LED option is the most energy-efficient and the Hybrid lighting had the lowest EUE (electricity use efficiency). The research was funded by the program "Greenhouse as Source of Energy" of the Dutch Ministry of Agriculture and LTO Glaskracht, the Knowledge Cooperative Alstroemeria, Philips Lighting and Fa. Vreugdenhil.

Rapportgegevens

Rapport WPR-806

Projectnummer: 3742240600

DOI nummer: 10.18174/457114

Thema: Kwaliteit en Productie

Dit onderzoek is mede tot stand gekomen door de bijdrage van Kas als Energiebron hét innovatieprogramma dat energiebesparing en het gebruik van duurzame energie in de glastuinbouw stimuleert, Philips Lighting en de gewascoöperatie Alstroemeria.

Disclaimer

© 2018 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Glastuinbouw, Postbus 20, 2665 MV Bleiswijk T 0317 48 56 06, www.wur.nl/plant-research.

Kamer van Koophandel nr.: 09098104

BTW nr.: NL 8113.83.696.B07

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

Stichting Wageningen Research 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

Inhoud

	Samenvatting	5
1	Inleiding	7
1.1	Aanleiding: energiezuinig belichten in de Alstroemeria teelt	7
1.2	Eerder en lopend onderzoek	7
1.3	Doelstelling	8
1.3.1	Technische doelstellingen	8
1.3.2	Energiedoelstellingen	8
1.4	Samenwerking en overlegstructuur	8
2	Materiaal en methoden	11
2.1	Lichtbehandelingen	11
2.1.1	Belichtingsinstallaties	11
2.1.2	Scherminstallaties	12
2.1.3	Planten, teeltsysteem en voeding en bemesting	12
2.2	Waarnemingen	12
2.2.1	Lichtmetingen	12
2.2.2	Productie en kwaliteit	13
2.2.3	Destructieve gewaswaarnemingen	13
2.2.4	Aanvullende metingen in het gewas	14
2.3	Statistiek	15
3	Resultaten en discussie	17
3.1	Kastransmissie	17
3.2	Lichtinstallaties	17
3.3	Productie en kwaliteit	20
3.3.1	Destructieve waarnemingen	23
3.3.1.1	Taklengte	23
3.3.1.2	Takgewicht	24
3.3.1.3	Takkwaliteit als gewicht/lengte eenheid	24
3.3.1.4	Aantal bladeren en blad oppervlakte	25
3.3.1.5	Chlorofyl gehalte	25
3.3.1.6	Aantal bloemen, bloemgewicht en aantal pedunkels	26
3.3.1.7	Droge stofgehalte	27
3.3.1.8	Samenvatting resultaten destructieve waarnemingen	27
3.4	Aanvullende metingen in het gewas	28
3.4.1	Lokaal lucht temperatuur en RV	28
3.4.2	Bladtemperatuur	30
3.4.3	Bodemtemperatuur	30
3.4.3.1	Eenmalige handmeting	30
3.4.3.2	Continu meting, een voeler per behandeling	31
3.4.4	Lichtonderschepping in het gewas	32
3.4.4.1	(Zon)lichtonderschepping 25-09	32
3.4.4.2	(Lamp)lichtonderschepping 12-01	33
3.4.4.3	(Zon)lichtonderschepping 22-03	34
3.5	Efficiëntie in licht en elektrabenuutting	35
3.5.1	Lichtsommen	36
3.5.2	Elektragebruik per behandeling	37
3.5.3	Licht en elektrabenuuttingsefficiëntie	37

4	Algemene discussie	39
5	Conclusies	41
6	Betekenis voor praktijk en onderzoek	43
	Literatuur	45
	Bijlage 1 Kastransmissie	47
	Bijlage 2 Verdeling kunstlicht	49

Samenvatting

Op het teeltbedrijf Fa. Vreugdenhil is eind 2016 de eerste installatie High Output LED in een hybride belichtingssysteem geïnstalleerd bij Alstroemeria. Tussen januari 2017 en mei 2018 heeft Wageningen University & Research BU Glastuinbouw de effecten van het belichten met deze installatie op het gewas, de productie en het energiegebruik onderzocht, in vergelijking met de gangbare SON-T belichting en met LED belichting. Hiertoe was er financiering beschikbaar gesteld vanuit het programma "Kas als Energiebron" van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en LTO Glaskracht naast een bijdrage van de Kennis coöperatie Alstroemeria en van Philips Lighting.

Aanleiding voor deze investering was de wens om de intensiteit van het kunstlicht te verzwaren (huidige standaard is ca. 80 μmol), met zo min mogelijke elektriciteitskosten. Uit een oriënterende proef uitgevoerd door het bedrijf i.s.m. Philips, bleek een verhoging van de intensiteit van de belichting naar 130 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ tot aanzienlijk meer takken te leiden, maar verhogen met hybride belichting (SON-T plus LED belichting) leidt tot een stevigere kwaliteit dan dezelfde intensiteit SON-T.

Naar aanleiding van deze eerste resultaten besloot het bedrijf om door te gaan met een Hybride belichting in een beoogde intensiteit van 90 μmol op een oppervlakte van 2.640 m^2 (inmiddels verder uitgebreid).

Voor het onderzoek is gemeten en is de productie en kwaliteit bijgehouden onder drie verschillende proefvakken:

1. SON-T (referentie, normale belichting systeem van het bedrijf, met een intensiteit van 62 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$) en een aangenomen efficiëntie van 1,85 $\mu\text{mol}/\text{W}_{\text{el}}$.
2. Hybride belichting (61 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ SON-T aangevuld met 21 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ van de nieuwste generatie Philips LED lampen met rood/blauwe spectrum en een efficiëntie van 2,7 $\mu\text{mol}/\text{W}_{\text{elektrisch}}$, bekend als "High Output LED". De totale intensiteit van de hybride belichting was 81 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$.
3. LED belichting (een kleiner oppervlak van maar 100 m^2 rood/blauwe LED met een "Regular output" van 2,3 $\mu\text{mol}/\text{W}_{\text{elektrisch}}$) in een intensiteit van 79 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$.

Naast al deze verschillen in lichtniveaus, efficiëntie van de lampen en lichtspectra, waren er verschillende in branduren van de lampen: de LED lampen in de hybride proefvak stond langer en vaker aan dan de SON-T lampen uit dat vak, en ook langer en vaker dan de LED vak en de controle SON-T belichting.

Door enerzijds een 33% hogere lichtniveau en 442 meer branduren heeft de high output LED als gebruikt in dit praktijkbedrijf 288 Mol meer licht opgeleverd dan de referentie (4%) wat geresulteerd heeft in 8% meerproductie in de vorm van langere, zwaardere takken (gemiddeld 5 cm langer en 4 gram zwaarder).

De "regular output" LED, ook met een ca. 33% hogere intensiteit maar even veel branduren als de SON-T heeft eveneens geresulteerd in 215 Mol licht extra (3%) en een meerproductie van 6% meer takken of 7% meer totaal gewicht.

Energetisch gezien (in gram gewas per Kw elektra) blijkt de Full LED optie de meest energiezuinige van de drie systemen, ondanks dat de lampen relatief minder efficiënt zijn dan de High Output LED lampen uit de Hybride belichting. Deze is de minst efficiënte van de drie systemen.

Inmiddels neemt het aantal telers toe die op middelgrote schaal proeven doen met hybride belichting systemen, altijd als aanvulling op de bestaande installaties. Aanbevolen wordt om goed naar de relatie input (licht som, elektra) en output (grammen gewas) te kijken bij het beoordelen van de resultaten.

De lichtbenutting door het gewas was beter in de Hybride en de LED belichting dan in de referentie SON-T met een lager lichtniveau, maar was onderling gelijk. Dit zou kunnen betekenen dat er nog ruimte is voor verzwaring van het lichtniveau in de Alstroemeria teelt en dat bij deze lichtniveaus de te gebruiken spectrum niet zo heel belangrijk is. Bij een zware verhoging van het lichtniveau zou dit, zeker in de winter met weinig daglicht, anders kunnen zijn. Het programma "Kas als Energiebron" anticipeert op een nabije toekomst zonder gas en investeert dit jaar nog in onderzoek naar de invloed van het spectrum bij hoge kunstlichtniveaus en lage daglichtniveau bij Alstroemeria, en naar de mogelijkheden te telen in een All-electric kas waarbij de warmte van de lampen uit een hogere intensiteit Full LED belichting, de latente warmte en de warmte van de bodemkoeling gebruikt worden voor de verwarming van de kas.

1 Inleiding

Dit verslag beschrijft het onderzoek op het Alstroemeria teelt bedrijf Fa. Vreugdenhil, "High Output LED in hybride belichting: monitoring praktijkproef Alstroemeria" wat tussen januari 2017 en juli 2018 door Wageningen University & Research BU Glastuinbouw is uitgevoerd dankzij de investering en deskundige medewerking van het praktijkbedrijf en de Alstroemeria teeltadviseurs van de Flori Consult Group. Het onderzoek is gefinancierd vanuit het programma "Kas als Energiebron" van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en LTO Glaskracht, met een bijdrage van de Kennis coöperatie Alstroemeria en van Philips Lighting.

1.1 Aanleiding: energiezuinig belichten in de Alstroemeria teelt

Het praktijkbedrijf waar het onderzoek heeft plaats gevonden is een voorbeeld Alstroemeria teeltbedrijf waarbij zowel warmte als elektra wordt ingekocht. Hierdoor wordt er zeer bewust omgegaan met energie. De toegepaste intensiteit van de belichting is beperkt (bij installatie 67 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$). Ook dit bedrijf staat voor de keuze om de intensiteit te verzwaren (huidige standaard is ca. 80 μmol), maar wil dit met zo min mogelijke elektriciteitskosten. Daarom worden ook hier met belangstelling de ontwikkelingen van LED belichting gevolgd. Zo zijn in een oriënterende proef met 'dubbele intensiteit belichting' (130 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$) hybride belichting (SON-T plus LED belichting (Philips lampen met een output van 2,3 $\mu\text{mol PAR}/\text{W}_{\text{elektrisch}}$) en SON-T belichting met elkaar vergeleken. De productie was in beide vakken 60 takken per m^2 meer dan in de rest van het bedrijf, maar in de vakken met de hybride belichting waren deze van een stevigere kwaliteit dan in de vakken met SON-T. Naar aanleiding van deze resultaten besloot het bedrijf niet verder te gaan met het "verdubbelen" naar een intensiteit van 130 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$, maar wel door te gaan met LED. Een LED vak (100 m^2) en een vak met hybride belichting (2640 m^2) zijn geïnstalleerd, maar wel met een lagere intensiteit (totaal beoogd 90 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$, door ons nagemeten 82 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$). De hybride belichting is ontstaan door de bestaande SON-T armaturen (61 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$) aan te vullen met 21/ m^2s μmol LED licht uit de nieuwste generatie Philips LED lampen. Met een output van 2,7 $\mu\text{mol}/\text{W}_{\text{elektrisch}}$ zijn deze lampen 40% efficiënter dan SON-T. Dit is de eerste toepassing van deze lampen in deze teelt.

Er is in de Alstroemeria teelt zeer bescheiden ervaring opgedaan met LED, maar nog niet eerder is het positieve van SON-T (warmtestraling) gecombineerd met de voordelen van de zuinige LED.

Voor een goede beoordeling van de effecten en de kansen voor LED dan wel hybride belichting is er behoefte aan aanvullende, betrouwbare bepalingen en metingen.

1.2 Eerder en lopend onderzoek

Onderzoek in het belichtingsseizoen van 2013-2014 bij Tesselaar Alstroemeria in Heerhugowaard (García Victoria *et al.* 2014) liet zien dat telen met LED mogelijk was bij dit gewas zonder nadelige gevolgen. In dat onderzoek was er door de lampenleverancier, het Fins bedrijf Valoya, veel aandacht besteed aan de spectrumsamenstelling: getracht werd om een lichtspectrum te bereiken die de bloei zou stimuleren. Deze inspanningen leidden niet tot het gewenst resultaat (meer bloei). Daarbij werd vrij veel blauw licht en verrood licht in de lampenarmaturen gebruikt, waardoor de energiebesparingscomponent verdween. De resultaten waren bemoedigend ten aanzien van LED voor dit gewas, maar zorgden op dat moment nog niet voor productiewinst noch voor energiebesparing.

Naar aanleiding van deze resultaten ontwikkelde Valoya een verbeterde lamp die gemaakt was om het spectrum van de SON-T lampen te complementeren (dus als hybride belichting te gebruiken) in plaats van het volledig te vervangen. Deze lamp werd niet meer bij Alstroemeria getest. Bij roos, echter, (García Victoria *et al.* 2015) leidde het tot een 9% hogere lichtbenuttingsefficiëntie door het gewas dan SON-T alleen. Ter discussie staat nog, of deze verbeterde lichtbenuttingsefficiëntie is te danken aan de LED alleen of aan de hybride spectrum met een hoog aandeel ver rood en blauw.

Bij gerbera leidde hybride belichting waarbij SON-T als topbelichting en LED als tussenbelichting was gebruikt (García Victoria *et al.* 2016) niet tot een verhoging van de productie, noch de lichtbenuttingsefficiëntie in vergelijking tot evenveel SON-T licht als topbelichting.

Het bovenstaande illustreert hoe de resultaten niet alleen van de samenstelling van het licht, maar ook grotendeels van het gewas dat eronder groeit er af hangen.

De praktijkproef waar we in dit rapport verslag van doen was de eerste in de praktijk bij dit gewas. De schaal waarop de proef is aangelegd en de investering vanuit ondernemerskant die ermee gemoeid is, zijn ook uniek. Een zo gedegen mogelijk evaluatie van de resultaten is een belangrijke vervolgstap om tot toepassing in de praktijk te komen van energiezuinige LED's bij dit gewas.

1.3 Doelstelling

Het in de praktijk monitoren van de eerste toepassing in Alstroemeria van de High Output LED lampen van Philips in vergelijking met traditionele SON-T belichting en full LED belichting.

1.3.1 Technische doelstellingen

Vaststellen of, en zo ja, verklaren waarom, hybride belichting tot meer productie leidt dan SON-T bij een gelijke intensiteit (ervaring vorig jaar). Verkennen kansen voor hybride belichting in deze teelt waarbij het positieve van LED gecombineerd wordt met de zeer zuinige belichting door betrouwbare monitoring in de praktijk.

1.3.2 Energiedoelstellingen

De High Output LED lamp van Philips is de zuinigste op de markt.

Met een output van $2,7 \mu\text{mol}/\text{W}_{\text{elektrisch}}$ is het maar liefst 40% zuiniger dan de gangbare SON-T in het elektriciteitsverbruik.

Als het blijkt dat het inderdaad tot een steviger gewas leidt, kan dat niet de productie maar wel de marktwaarde van het product verhogen en daarmee het bedrijfsrendement.

De uitkomsten zijn van belang voor de Alstroemeria teelt en andere siergewassen waar koeling nodig is, bij voorbeeld Freesia. Onbekendheid en hoge aanschafkosten zijn mogelijke belemmeringen voor toepassing op dit moment

1.4 Samenwerking en overlegstructuur

De projectleiding en uitvoering van dit onderzoek ligt bij WUR Glastuinbouw te Bleiswijk.

De productiegegevens worden door het bedrijf Fa. Vreugdenhil apart bijgehouden; het bedrijf verleent ook inzage en data uit hun klimaatcomputer.

Eén van de Flori Consult adviseurs bezoekt minimaal eens per twee weken het bedrijf, let op de proef en geeft teeltbegeleiding. De deelname van Flori Consult Group adviseurs waarborgt tevens de doorstroming van kennis naar de praktijk.

LTO glaskracht organiseert een Begeleidings Commissie van het Onderzoek (BCO) bestaande uit enkele kwekers, een vertegenwoordiger van Philips Lighting, de betrokken voorlichter en een medewerker van LTO Glaskracht, die faciliteert de communicatie voor haar achterban van Alstroemeria telers.

Aansluiting met de praktijk verloopt verder via het uitgebreide netwerk van Flori Consult Group, LTO Glaskracht en de Gewas Coöperatie.



Figuur 1 Telers van de Begeleidings Commissie bezoeken de proef en geven advies. Hier bezoekt de BCO de tweede praktijktoepassing van HO LED in hybride belichting.

2 Materiaal en methoden

De proef is uitgevoerd in een Venlo-type kasafdeling waar het ras Virginia in de grond geteeld wordt.

2.1 Lichtbehandelingen

In de afdeling zijn 3 belichting systemen als proefvakken ingericht:

- SON-T (Controle, normale belichting systeem van het bedrijf).
- Hybride belichting (SON-T aangevuld met High Output LED), 2640 m².
- LED belichting (Regular output LED), 100 m².

De configuratie van de hybride belichting is geen dambord opstelling, maar om en om in de lengte (een armatuur LED en een armatuur SON-T), en in lijn in de breedte, d.w.z., alle SON-T lampen in een rij en alle LED lampen in de volgende rij (Figuur 2).



Figuur 2 Links, proefvak Hybride, midden proefvak LED, rechts proefvak SON-T (referentie).

2.1.1 Belichtingsinstallaties

De intentie was om in de hybride belichting de bestaande lichtinstallatie SON-T (67 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ PAR) aan te vullen tot 90 μmol met de LED's; en dat de LED vak op even veel licht opbrengst uitkwam dan de hybride belichting voor een goed vergelijk. Uit de nauwkeurige lichtmetingen bleek na de start dat beide een iets lagere lichtopbrengst opleverden dan bij de installatie berekend.

De installaties kunnen apart van elkaar worden aan- en uitgeschakeld: het LED alléén vak schakelt samen met de SON-T van het hele bedrijf (en dus de controle proefvak) aan en uit; de SON-T installatie uit de Hybride vak bestaat uit twee fases in dambord opstelling die apart van elkaar kunnen worden aan-uit geschakeld. Deze beide lampstrengen en de LED installatie uit de Hybride vak schakelen beide onafhankelijk van elkaar aan en uit en worden ook apart van elkaar gestuurd.

Dit alles resulteert in verschillend lichtniveaus bij alle drie de te vergelijken proefvakken. De implicatie hiervan is dat de resultaten moeten niet per m² worden beoordeeld, maar in relatie tot de door de planten van iedere proefvak ontvangen licht(som), en in relatie tot de gebruikte elektra.

Hiertoe is er informatie nodig uit de klimaatcomputer, om de aan en uitschakeling van de lampen op 5 minuten basis te kennen, om te kunnen berekenen hoeveel licht er per proefvak bereikt effectief de planten.

Verder is er informatie nodig over het aandeel natuurlijk licht in de kassen die de planten zien. Hiertoe zijn gegevens over de kastransmissie en de lichtdoorlatendheid van de schermen nodig.

2.1.2 Scherminstallaties

De kassen zijn uitgerust met 2 schermdoeken op twee dradenbedden:

Doek bovenscherm : niet brandwerend.
Type : PH 98 mat special Flame Protect.
Scherminspercentage : ca. 98%.
Energiebesparing : ca. 70%.
Afhang ca. 40 cm onder de ahangdraad.

Doekafmetingen:

28 banen van 5,30 m breed x 97,50 m lang.
1 baan van 4,30 m breed x 97,50 m lang = 14.888,25 m².

Doek onderscherm : brandwerend.
Type : Phormitex Super (B1).
Scherminspercentage : ca. 13%.
Energiebesparing : ca. 45%.

Doekafmetingen:

28 banen van 5,30 m breed x 97,50 m lang.
1 baan van 4,30 m breed x 97,50 m lang = 14.888,25 m².

Het bovenscherm is een lichtuitstoot doek, en die is 's nachts veelal dicht.

Het onderscherm is een zon werend scherm, dat 's nachts ook dicht gaat voor energiebesparing, en overdag als de buitenstraling hoger is dan 600 Watt (700 Watt in de zomer). Gekierd wordt tot 30%.

2.1.3 Planten, teeltsysteem en voeding en bemesting

Planten van het ras Virginia.
Gewas uit 2009.
Plantdichtheid 3,6 pl/m².
Grondteelt.
Bedbreedte 1,20 m.
Padbreedte 0,40 m.

Onder de teeltbedden is er een bodemkoeling systeem (gebruikelijk bij Alstroemeria) bestaande uit 4 koelsslangen met koud water (streef temperatuur 15-15,5°C afhankelijk van periode)

De planten krijgen water met daarin opgeloste meststoffen via een regenleiding onderdoor, volgens de normale strategie voor het hele bedrijf.

2.2 Waarnemingen

Zowel kasmetingen als gewasmetingen zijn verricht.

2.2.1 Lichtmetingen

Door WUR is voor de start van de proef (januari 2017) en voor de aanleg van de proefvakken de lichtransmissie van de kas en van de schermen gedetailleerd gemeten.

In maart 2018 is de transmissie van de kas opnieuw gemeten ter hoogte van de proefvakken.

De belichtingsintensiteit en het spectrum van het licht in de proefvakken is gemeten in afwezigheid van daglicht, met alle drie de lichtinstallaties afzonderlijk aangeschakeld en gezamenlijk.

Aan de hand van de lichtmetingen, maar zodanig dat er voor de medewerkers overzichtelijk en niet extreem arbeidsintensief zou worden, zijn meetvakken in iedere proefvak aangeduid. De meetvakken beslaan een oppervlak van totaal 32 m² voor het vak Hybride en SON-T, en van 25,6 m² voor het LED vak wat veel kleiner is dan de Hybride en SON-T behandelingen.

Aan het gewas in deze meetvakken worden verschillende soorten waarnemingen gedaan om de effecten van de behandelingen te kunnen evalueren.

2.2.2 Productie en kwaliteit

Vanaf 1 februari wordt door een speciaal voor deze taken aangewezen en geïnstrueerde medewerker van het bedrijf de productie bijgehouden op 25,6 of 32 m² per proefvak als boven beschreven om eventuele horizontale variaties in lichtniveau te ondervangen.

De medewerker noteert van elke oogst (2-3 keer per week oogsten afhankelijk van het seizoen; vaker in het voorjaar en zomer dan in het najaar en winter) aantallen en gewicht van geoogste bloemen, zodat de resultaten kunnen worden uitgedrukt in gram bloem/mol licht en in gram bloem/kWh; dit is nodig om te kunnen vergelijken door de verschillen in lichtniveaus en in branduren van de lampen heen.

2.2.3 Destructieve gewaswaarnemingen

Eens per twee weken (tot begin april, en na 1 oktober) tot eens per maand (in de periode dat er niet belicht wordt, half april tot half september) zijn 15 takken per vak (ongesneden en in papier gerold) door WUR-medewerkers opgehaald voor destructieve bepalingen: lengte, gewicht, aantal bladeren en bloemen, bladoppervlakte, SPAD (Chlorofyl gehalte), droge stof (na drogen bij 80°C), evt. afwijkingen (bladpunten, vochtblaadjes).



Figuur 3 Bloemen voor destructieve waarnemingen.

2.2.4 Aanvullende metingen in het gewas

Om inzicht te krijgen in de oorzaken van de eventuele verschillen, worden verschillende metingen aan het gewas op het bedrijf gedaan:

- Lichtonderschepping door het gewas (3x gemeten: een keer op 12 januari –belichting periode-, een keer op 18 maart – overgangperiode- en een keer in september -). In maart en september is het gemeten met de SunScan, Figuur 5, een lichtmeter van 1 m lengte dat gemaakt is om zonlicht te meten. De januarimeting is gedaan met alleen lamplicht en daardoor was de SunScan niet geschikt, maar is gebruik gemaakt van een Jetti Spectrometer, Figuur 6.
- Bladtemperatuur met handmeter, eenmalig gemeten onder de drie lichtbronnen zonder daglicht (12 januari 2018).
- Bodemtemperatuur eveneens met handmeter, eenmalig onder de drie lichtbronnen zonder daglicht (gemeten op 25 september 2018).
- Lokaal temperatuur en RV van de lucht met een ongeventileerde Testo temperatuur en luchtvochtigheid datalogger (Figuur 4) per proefvak, gedurende de periode 12 januari 2018 tot 8 februari 2018.



Figuur 4 De Testo dataloggers die tussen het gewas in de drie vakken zijn geplaatst.



Figuur 5 Lichtonderschepping is bij zonlicht – voorjaar en zomer metingen- met de Sunscan op vier verschillende hoogtes van het gewas gemeten.



Figuur 6 Lichtonderschepping is bij lamplicht – winter meting- met de Jeti op vier verschillende hoogtes van het gewas gemeten.

2.3 Statistiek

Voor de in 2.2.3 omschreven destructieve waarnemingen en voor de lichtonderschepping metingen is een variantie analyse uitgevoerd met behulp van het statistisch software pakket GENSTAT.

Door de opzet van de proef (geen fysieke herhaling voor de behandelingen, en door de verschillen in lichtsommen) kunnen de productieresultaten niet statistisch geanalyseerd worden.

3 Resultaten en discussie

De resultaten van de metingen aan de kas worden als eerste besproken.

Vervolgens worden de metingen aan het gewas getoond en besproken.

Tot slot worden de lichtbenuttingsefficiënties van de drie vergeleken belichtingssystemen berekend aan de hand van de daglichtsommen, het aantal uur dat er per proefvak en per lichtbron is belicht en de elektraverbruiken per m² in de drie meetvakken.

3.1 Kastransmissie

De detail resultaten van de kastransmissie metingen zijn getoond in Bijlage 1.

Tabel 1 geeft een samenvatting van de gemiddelde waardes per proefvak weer

Tabel 1

Kastransmissie per proefvak en meetvak en invloed van het scherm.

Behandeling	Transmissie kasdek Januari 2017	transmissie in meetvak jan 2017	Transmissie in meetvak mrt 2018	Verschil t.o.v. januari 2017
Hybride	67,4%	69,5%	68,8%	-0,7%
LED	69,1%	68,8%	68,0%	-0,8%
SON-T	67,3%	69,9%	67,9%	-2,0%
SON-T AFD2	66,4%			
SON-T SCHERM	41,3%			

Vooral het zonnescherm blijkt veel meer licht weg te nemen dan te verwachten valt conform specificaties (zie 2.1.2). Dit kan te maken hebben met hoe de lichtafscherming is bepaald (hemisferisch of loodrecht) en met vervuiling/ veroudering van het doek.

In het SON-T meetvak is het grootste verschil in transmissie gevonden tussen de meting van januari 2017 en maart 2018. Dit kan worden veroorzaakt doordat in januari 2017 gemeten is voor het uitzetten van de meetvakken, en er na het uitzetten van de meetvakken de positie ervan gecombineerd is met de transmissie data. In maart 2018 is er exact op de positie van de meetvakken gemeten. Desondanks zijn de verschillen tussen beide metingen klein te noemen.

3.2 Lichtinstallaties

Uit de detail metingen van het licht blijkt ook dat er een afwijking is tussen de theoretische en de werkelijke lichtafgifte van de lamp installaties, en dat er kleine lokale verschillen zijn in de verdeling van het licht.

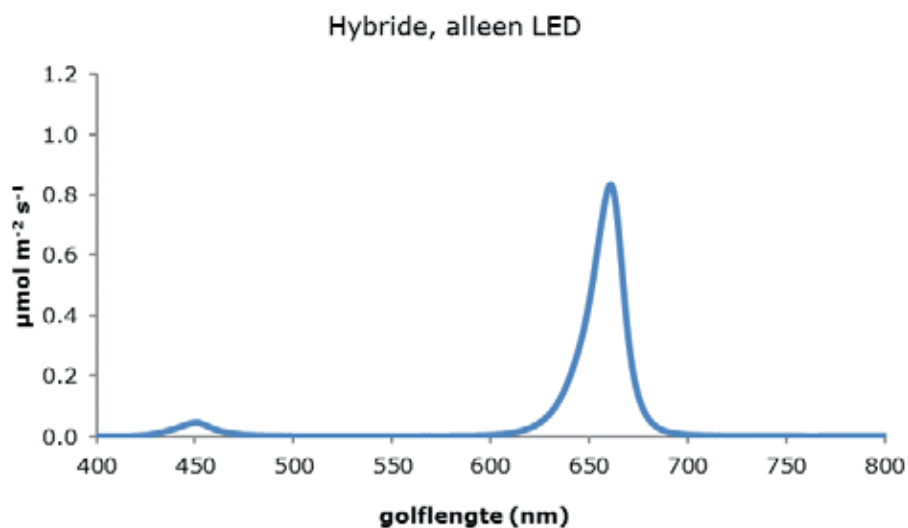
Het resultaat van de verdeling van het lichtniveau is als 3-d plattegrond in detail getoond in Bijlage 2. De resultaten zijn gemiddeld en samengevat in Tabel 2.

Tabel 2

Berekende en gemeten intensiteit van de belichting (in $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$; verschil tevens in procenten aangegeven).

Beh.	Lamp type	Berekende intensiteit		Gemeten intensiteit		Verschil		Verschil%					
		LED	SON-T Hybride LED	SON-T Hybride LED	SON-T Hybride LED	SON-T	Hybride LED	SON-T	Hybride	LED			
LED	LED	67		79		12		18%					
HybrideLED+SON-T		23	67	90	21	61	81	-2	-6	-9	-8%	-8%	-9%
SON-T	SON-T		67			62			-5			-8%	

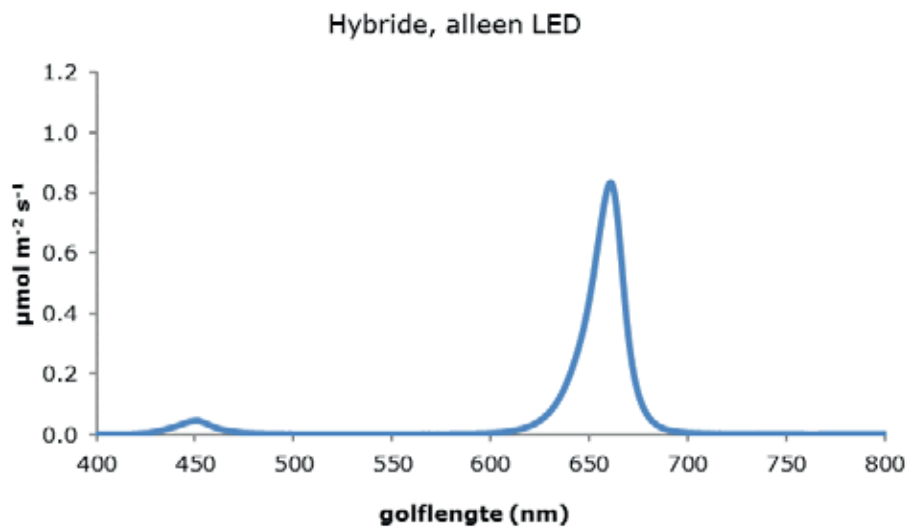
In het grootste deel van de afdeling en in de controle proefvak wordt dus belicht met 62 μmol SON-T. Het proefvak LED van 100 m^2 wordt belicht met 79 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ LED, 'regular output' (2,3 $\mu\text{mol}/\text{W}_{\text{elektrisch}}$) Het proefvak van 2.640 m^2 met Hybride belichting krijgt in totaal 82 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$, en bestaat uit 61 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ SON-T en 21 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ LED 'high output' (2,7 $\mu\text{mol}/\text{W}_{\text{elektrisch}}$).



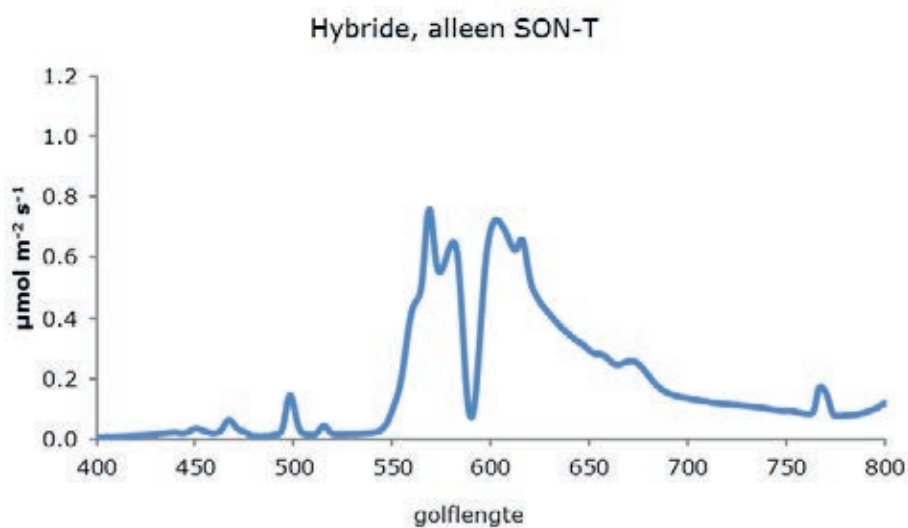
Figuur 6 Uit de spectrummetingen.

Bij Figuur 7 tot Figuur 10 is te zien dat het LED licht uit een klein beetje blauw licht en veel rood licht bestaat. Dit veroorzaakt een flinke toename in het rood bij de hybride belichting in vergelijking met het SON-T spectrum.

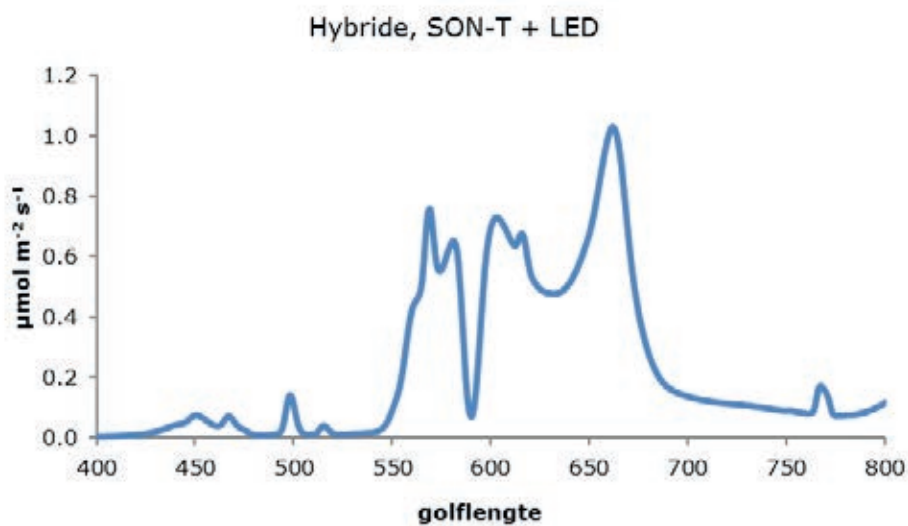
Aan het spectrum in Figuur 10 is te zien dat in het veel kleinere vak van de LED behandeling (100 m^2) er wat invloed is vanuit de omringende SON-T belichting. Dit kan te maken hebben met het feit dat het vak vrij klein is. De invloed van de omringende SON-T belichting in de LED is voor het oplettend oog ook zichtbaar onderin het gewas: daar waar het rode licht veelal door de gewaslagen is geabsorbeerd, blijft "geel licht" (die niet in de gebruikte LED lampen zit) onderin over (Figuur 11).



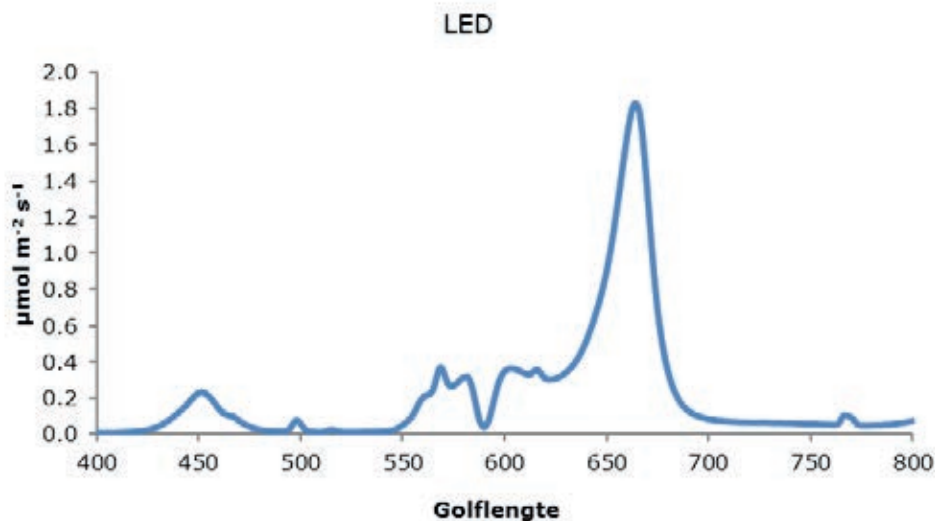
Figuur 7 Spectrum van het LED component in de hybride belichting.



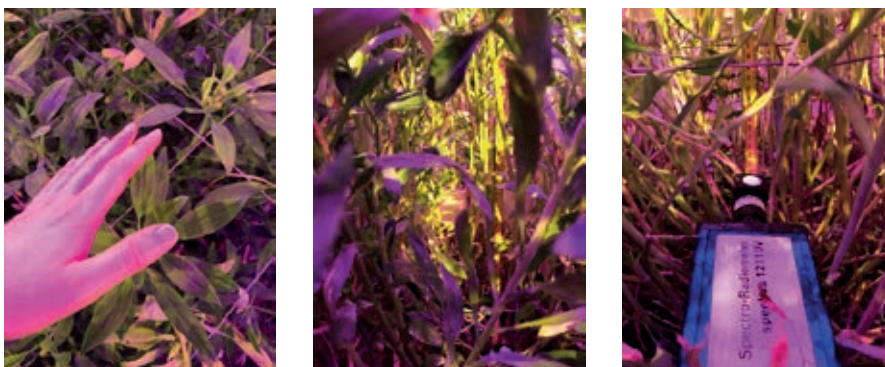
Figuur 8 Spectrum van het SON-T component in de hybride belichting. Dit is identiek aan het spectrum in de SON-T behandeling.



Figuur 9 Gemengd spectrum SON-T en LED in de hybride belichting.



Figuur 10 Spectrum in behandeling met alleen LED.



Figuur 11 Bij de LED behandeling valt er licht uit de omringende SON-T lampen onderin het gewas.

3.3 Productie en kwaliteit

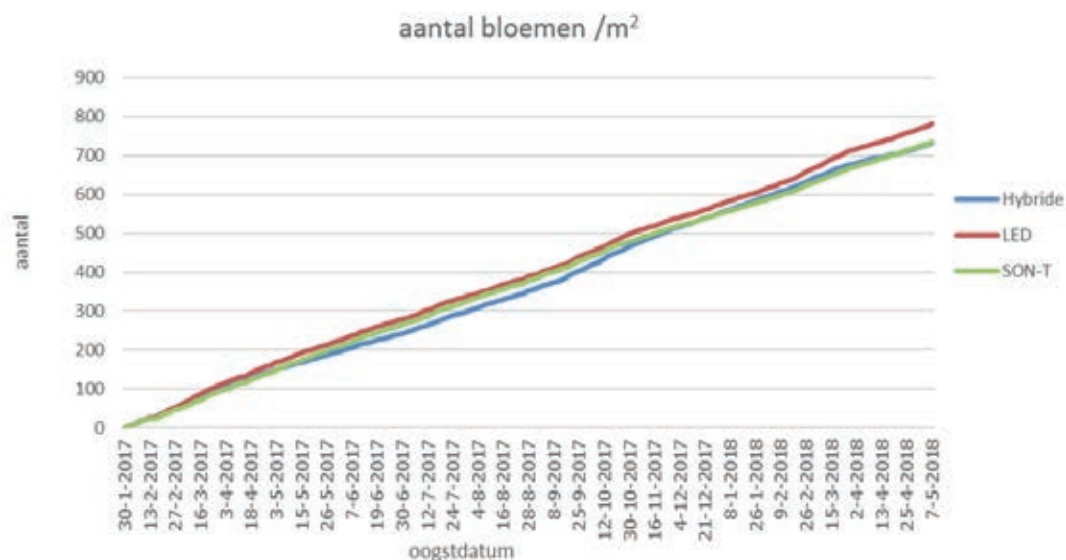
De cumulatieve productie zoals door de teler bijgehouden is uitgedrukt in totaal aantal stelen per m² dat zijn geoogst uit elke meetvak (25,6 of 32 m² totaal) Figuur 12. Ook is de productie uitgedrukt in totaal aantal geoogste kg product per m², voor het snijden naar een lengte van 90 cm, Figuur 13, en ook na het gebruikelijk snijden Figuur 14 (het niet aangesneden product is nauwelijks te verwerken, vandaar deze handeling).

Bij de laatste oogst voor het stoppen met belichten op 7 mei, was de cumulatieve productie 736 takken bij de SON-T referentie, 732 bij de Hybride vak en 781 bij de LED vak. Er was dus 0,5% minder takken geoogst bij de hybride, en 6% meer in de LED vak dan in de SON-T afdeling.

Het verschil in productie is deels te wijten aan de periode tussen 15 mei 2017 en 30 oktober, als er weinig werd belicht: terwijl er op 1 mei 2017 in de Hybride afdeling een kleine voorsprong van 4 takken ten opzichte van de referentie SON-T was ontstaan, op 30 oktober was er een kleine productieachterstand ontstaan van 14 takken per m².

Het ongesneden product uit de hybride afdeling heeft een cumulatief gewicht (30 januari 2017 tot 7 mei 2018) van 42,5 kg. Dat is 9,8% meer dan de SON-T referentie (38,7 kg). De LED afdeling had met 41,3 kg, 6,9% meer oogstbare biomassa dan de referentie SON-T.

Eenmaal gesneden daalt het totaal oogstgewicht en de voorsprong ten opzichte van de referentie naar 8% voor de Hybride behandeling en naar 6% voor de LED. Dat betekent dat een klein deel van de extra gewicht van elke tak is veroorzaakt door lengte die weggegooid wordt na het snijden.



Figuur 12 Cumulatieve productie (aantal bloemen per m²).

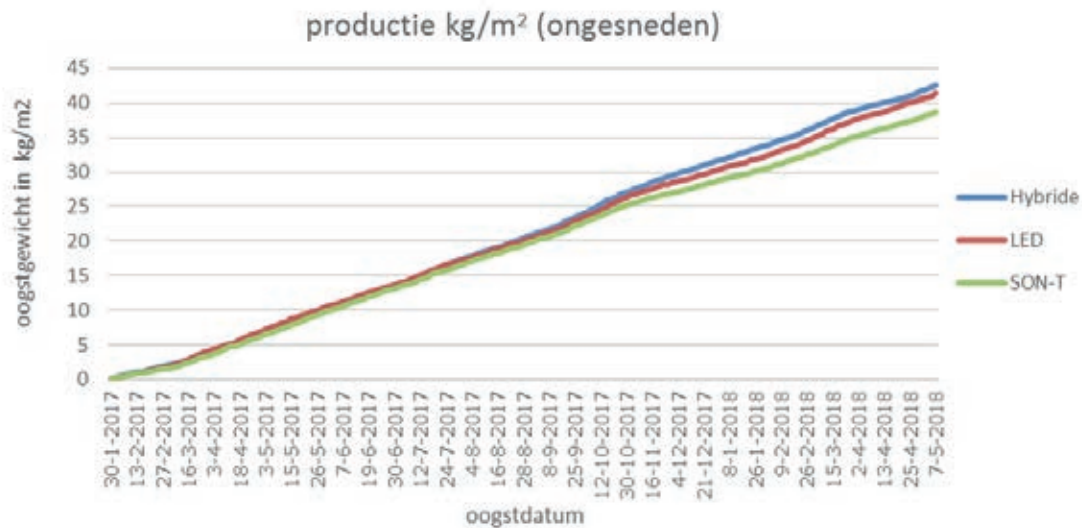
Als er ondanks 0,5% minder takken, in de hybride behandeling is 9,8% meer oogstgewicht geproduceerd, betekent het dat de takken gemiddeld zwaarder zijn. Dat is ook het geval: met een gemiddeld takgewicht van 50,6 g, zijn de takken zwaarder dan in de SON-T referentie (46 gram). De takken uit de LED proefvak zijn even zwaar als die van de referentie proefvak; bij de LED is dus de extra productie te danken aan de extra takken die er geoogst zijn. Het gewichtsverschil is ook vooral aanwezig tijdens de periode dat er belicht wordt (Figuur 15 en Figuur 16).

De cijfers als hierboven besproken worden in Tabel 3 getoond.

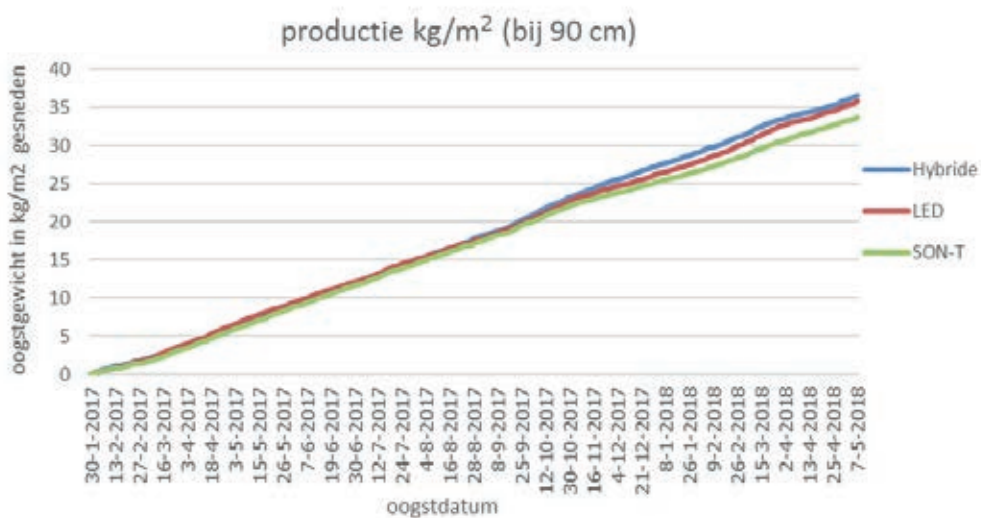
Tabel 3

Gegevens productie en kwaliteit per behandeling.

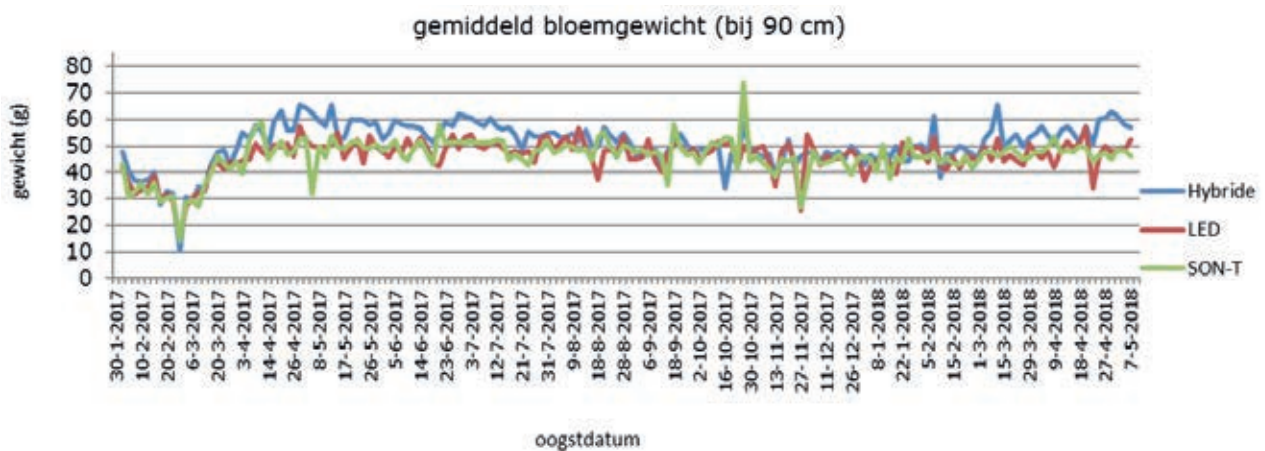
Periode 30-05-2017 tot 7-5-2018	SON-T	LED	Hybride
Totaal aantal takken/m ²	736	781 (+6%)	732 (-0,5 %)
Totaal oogstgewicht ongesneden, (kg/m ²)	38,7	41,3 (+6,9%)	42,5 (+9,8%)
Totaal gewicht bij 90 cm, (kg/m ²)	33,7	35,7 (+6%)	36,5 (+8 %)
Gewicht overbodige lengte, (kg/m ²)	5,0	4,6	6,0
Gemiddeld gewicht per steel bij 90 cm (g)			
Hele meetperiode	46,0	46,1	50,8 (+4,8)
1 jan-10 mei 2017	40,2	40,9	45,8 (+5,6)
11 mei – 30 september	49,2	48,9	54,6 (+5,4)
1 okt -7 mei 2018	46,1	46,4	49,9 (+3,8)
Gemiddeld gewicht per tak ongesneden (g)	52,8	53,4	59,2 (+6,4)
Gemiddeld gewicht afval per tak (g)	6,8	7,3	8,4



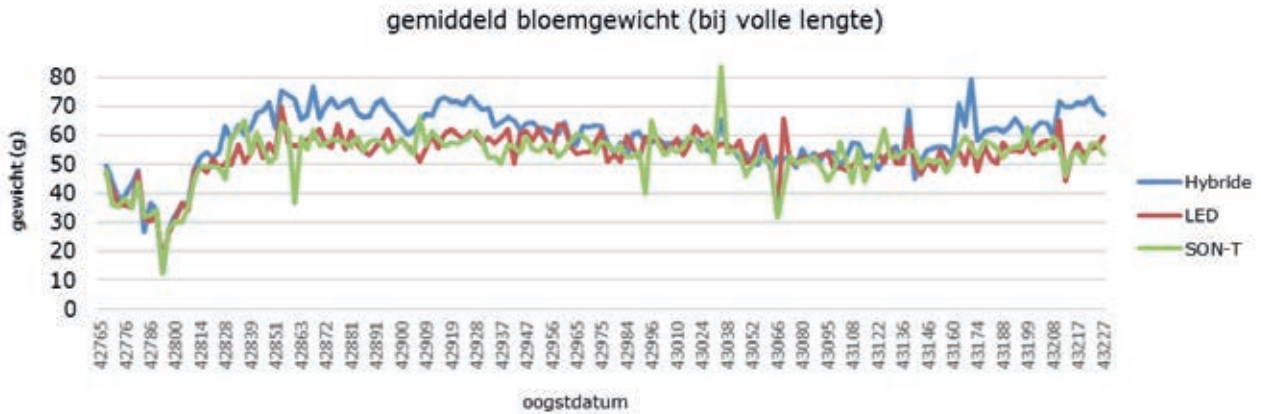
Figuur 13 Cumulatieve productie (gewicht per m² ongesneden).



Figuur 14 Cumulatieve productie (gewicht per m² bij 90 cm).



Figuur 15 Verloop in de tijd van het gemiddeld takgewicht bij 90 cm.



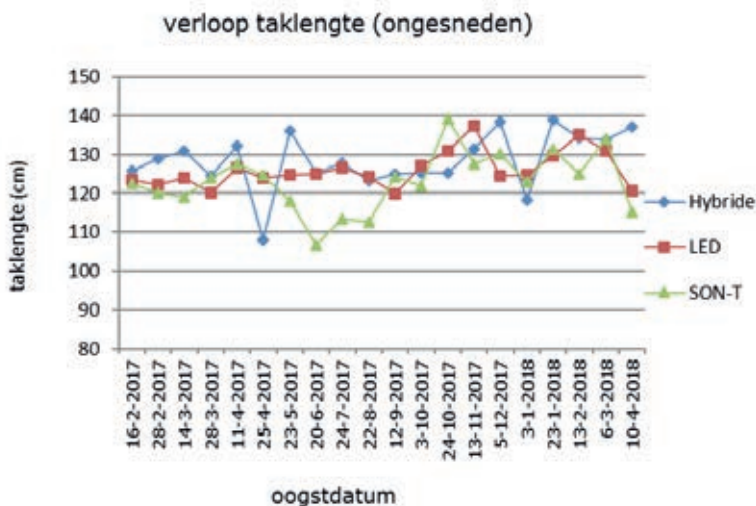
Figuur 16 Verloop in de tijd van het gemiddeld takgewicht bij volledige lengte.

3.3.1 Destructieve waarnemingen

Aan 15 takken per behandeling werden ca. maandelijks aanvullende detail- en destructieve metingen verricht. De resultaten worden hieronder getoond en besproken. De resultaten per behandeling van elke bepaling zijn statistisch geanalyseerd (variantieanalyse, ANOVA met een betrouwbaarheid van 95%) en worden samengevat in Tabel 4 aan het einde van dit hoofdstuk.

3.3.1.1 Taklengte

Gemiddeld waren de takken 125 cm lang. De takken uit de hybride behandeling waren gemiddeld 5 cm langer dan de takken uit de referentie SON-T behandeling; die uit de LED behandeling 3 cm langer dan de referentie. Over het jaar heen (Figuur 17) wisselde de lengte veel, zelfs tussen twee achtereenvolgende metingen kon een verschil zijn van gemiddeld ruim 20 cm. Ondanks de variatie is het verschil significant (Tabel 4). Dit betekent dat een deel van het extra licht omgezet wordt in lengte.

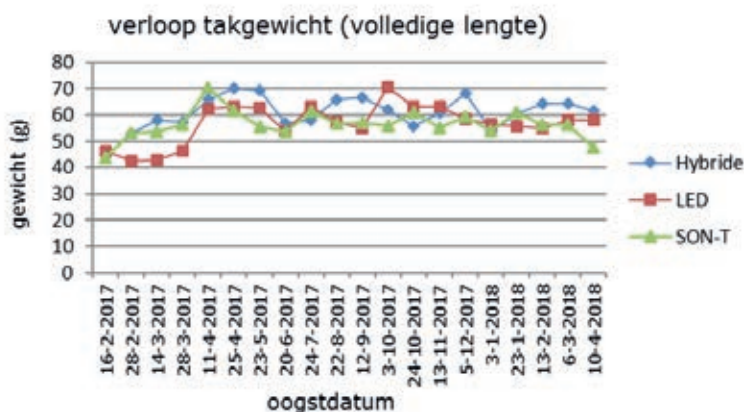


Figuur 17 Links verloop taklengte gedurende de tijd; rechts, uitvoering detailmetingen.

3.3.1.2 Takgewicht

Het gemiddelde gewicht van de ongesneden takken varieerde tussen slechts 40 gram en 70 gram, en bedroeg gemiddeld 58 gram. Dit is iets meer dan het gemiddeld gewicht van de takken die uitkomt door het delen van het totaalgewicht van de dagelijkse oogst door het aantal geogste takken. Mogelijk heeft dit te maken met de nauwkeurigheid van de weging, op het bedrijf gebeurde dit met een nauwkeurigheid van 20 gram; bij de detailmetingen van 0,1 gram.

Uit deze nauwkeurige detailmetingen (Figuur 18) blijkt dat de hybride behandeling betrouwbaar zwaardere takken opleverde dan de SON-T en de LED behandeling (Tabel 4). Het verschil tussen de behandelingen (4 gram zwaarder gemiddeld de tak uit de hybride behandeling dan uit de referentie) komt goed overeen met wat bepaald is uit de bedrijfsweging.

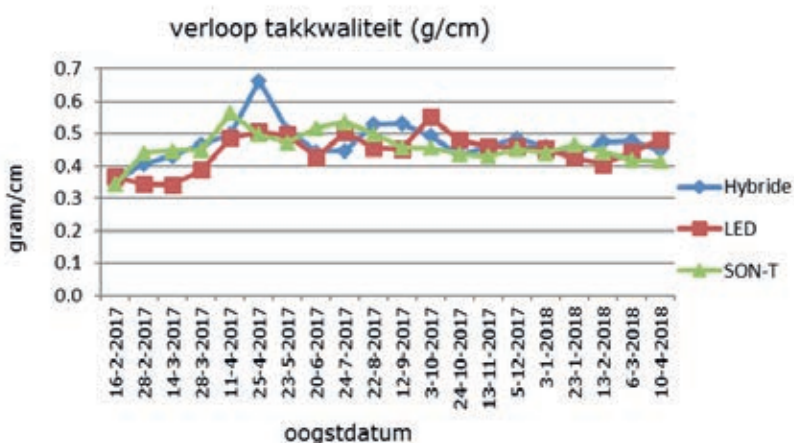


Figuur 18 Verloop takgewicht gedurende de tijd.

3.3.1.3 Takkwaliteit als gewicht/lengte eenheid

De kwaliteit van de takken kan worden uitgedrukt als gewicht per lengte eenheid (Figuur 19). In de proef varieerde deze tussen 0,3 en 0,5 g/cm, met een paar uitschieters naar de 0,6 g/cm. Alleen op een paar momenten, veel minder dan alle momenten waarop het wordt belicht, is het gewicht van de takken uit de hybride behandeling hoger per cm lengte dan die van de takken uit de referentie behandeling.

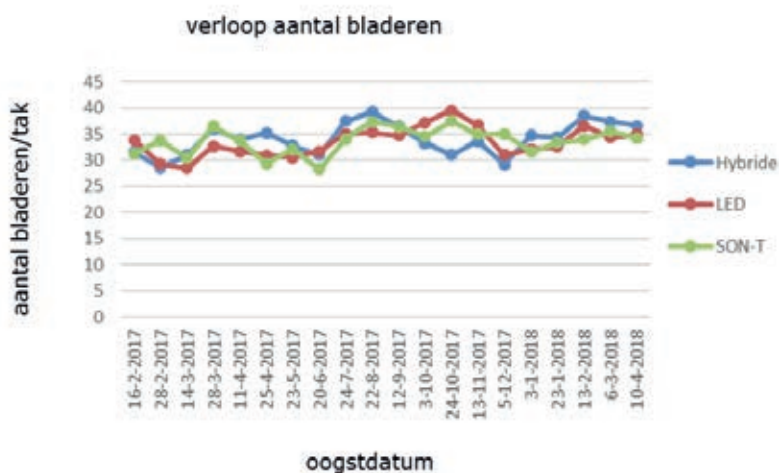
Zo uitgedrukt, was de kwaliteit van de takken uit de drie behandelingen gelijk (verschillen zijn niet significant, zie ook Tabel 4). Als de taklengte én de takgewichten betrouwbaar hoger waren in de Hybride behandeling dan in de LED en SON-T referentie, betekent het dat het extra gewicht in de extra lengte is gaan zitten. Door de grofheid van de bedrijfsweging en het feit dat alle takken op 90 cm worden gesneden (behalve als ze korter zijn), kan dit getal niet betrouwbaar worden geproduceerd met de bedrijfscijfers.



Figuur 19 Verloop in de tijd van de takkwaliteit uitgedrukt in gram/cm.

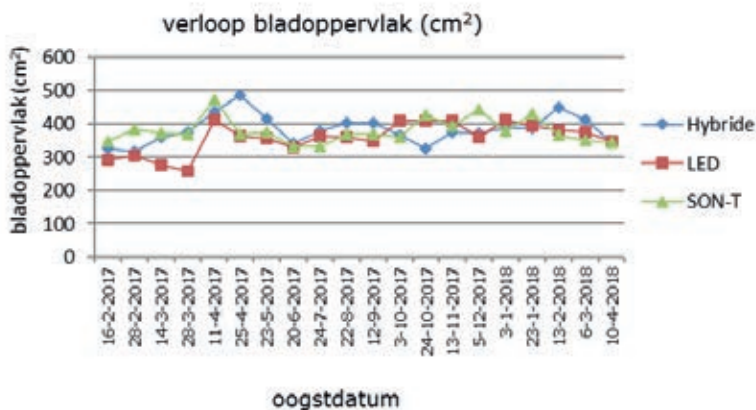
3.3.1.4 Aantal bladeren en blad oppervlakte

Gemiddeld had een tak 34 bladeren (het aantal bladeren varieerde tussen de 27 en de 39 bladeren) waarbij er geen significante verschillen zijn gemeten tussen behandelingen (Figuur 20).



Figuur 20 Verloop in de tijd van het aantal blad per tak.

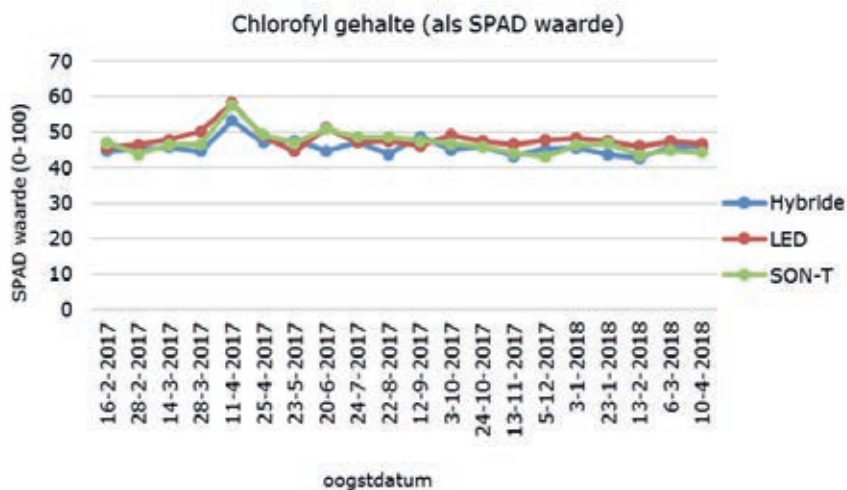
De bladeren hadden gemiddeld een oppervlakte van 374 cm². Een consistent verschil tussen behandelingen is zowel in aantal als in bladoppervlakte niet waargenomen; bij de planten uit de LED behandeling was het oppervlakte aan blad gemiddeld iets lager (Figuur 21). Het verschil is significant, (Tabel 4) en lijkt vooral te zijn veroorzaakt in de eerste vier meetmomenten.



Figuur 21 Verloop in de tijd van het bladoppervlak per tak.

3.3.1.5 Chlorofyl gehalte

Het gehalte aan chlorofyl is gemeten als SPAD waarde. Deze is vrij constant gebleven tussen 45 en 50 gedurende het jaar, met een uitschieter in april 2017 naar boven (tussen 55 en 60), waarbij de gemiddelde SPAD waarde van de takken uit de LED behandeling iets hoger was en die uit de Hybride en SON-T behandeling iets lager (Figuur 22). De verschillen tussen behandelingen zijn klein maar ondanks grote afwijking tussen bladeren, is het verschil tussen het chlorofylgehalte van de takken uit de LED behandeling en de andere behandelingen significant (Tabel 4).



Figuur 22 Verloop SPAD-waarde gedurende de tijd.

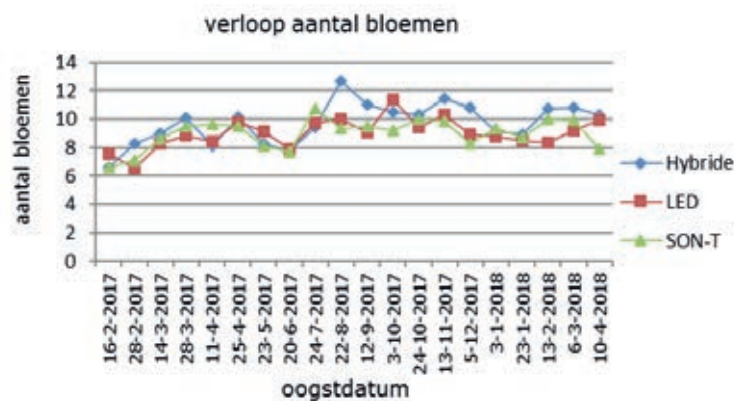
3.3.1.6 Aantal bloemen, bloemgewicht en aantal pedunkels

Een tak had een variabel aantal bloemen, tussen 6,6 en 12,7 (Figuur 23). Het gemiddelde van alle behandelingen was 9,2 bloemen per tak; de SON-T en LED takken kwamen op 9,0 uit, de Hybride takken op 9,7. Dit verschil is statistisch significant (Tabel 4).

Alle bloemen tezamen wogen gemiddeld 3,6 gram, maar het bloemgewicht werd beïnvloed door de rijpheid. Hoe rijper de bloem bij de oogst, hoe zwaarder. Desondanks is het totaal bloemgewicht van de bloemen uit de hybride behandeling met gemiddeld 0,2 gram significant hoger. Dit verschil is vooral te danken aan die ene extra bloem, want het gemiddelde gewicht per bloem was 0,4 gram in alle behandelingen.

Als "bloem" werd elke bloem geteld die goed "pakbaar" was, ook al had hij geen kans om open te komen (Figuur 24). Omdat dit bij de telers vragen opriep, zijn we op hun advies bij de destructieve bepalingen in 2018 het aantal pedunkels (bloemstengels) in de bloemkrans gaan tellen (Figuur 24). De takken uit de hybride behandeling hadden gemiddeld 4,7 pedunkels in plaats van 4,5 bij de SON-T, maar dit verschil is niet significant (Tabel 4).

Takken met maar één pedunkel door bijvoorbeeld breuk, ook wel "eenpitters" genoemd werden, indien aangetroffen, niet mee geteld in het gemiddelde.



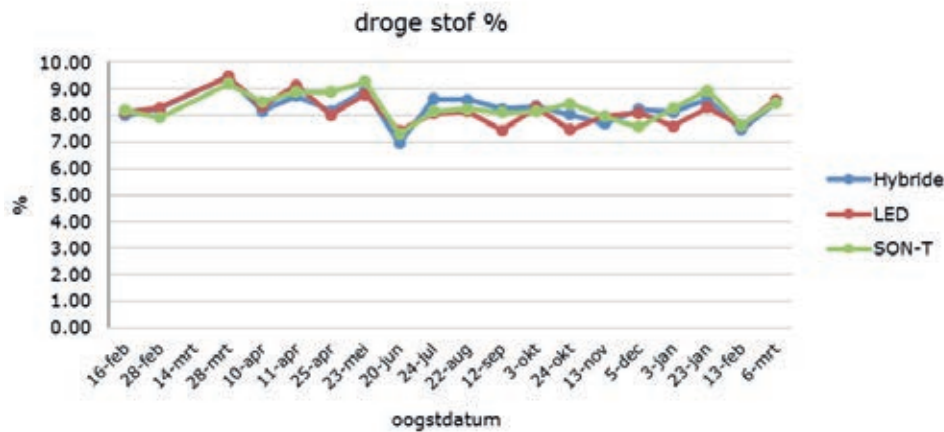
Figuur 23 Verloop aantal bloemen per tak in de tijd.



Figuur 24 Het aantal bloemen per tak bestond uit alle goed "pakbare" knoppen (foto links en midden), foto rechts, een bloemtak met 6 pedunkels, waar de bloemen van af gehaald zijn.

3.3.1.7 Droge stofgehalte

De gehele tak (bloem, steel en blad) had een droge stof percentage over de hele periode en behandeling van 8,25% (Figuur 25). Bij alle behandelingen doen zich schommelingen rondom dit getal voor, maar een significant verschil tussen de behandelingen is er niet.



Figuur 25 Verloop in de tijd van het gehalte droge stof in het product.

3.3.1.8 Samenvatting resultaten destructieve waarnemingen

Hieronder zijn de resultaten per behandeling van elke bepaling weergegeven als gemiddelde over de hele onderzoeksperiode. De resultaten zijn statistisch geanalyseerd (variantieanalyse, ANOVA met een betrouwbaarheid van 95%).

Te zien is dat de verschillen tussen de behandeling zeer klein zijn, en desondanks zijn er op een aantal parameters significante verschillen gemeten als gevolg van de verschillende intensiteiten, spectra en branduren van de lampen.

Geen betrouwbare verschillen zijn gemeten in de volgende parameters:

- Takkwaliteit (in gram/ cm).
- Aantal bladeren per tak.
- Bloemgewicht per tak.
- Aantal pedunkels per tak.
- Droge stofgehalte.

Significante verschillen zijn gevonden als gevolg van de behandelingen in:

- Totale taklengte (hybride hoger).
- Totaal takgewicht (hybride hoger).
- Aantal bloemen per tak (hybride hoger).
- Totaal bloemgewicht per tak (hybride hoger).
- Bladoppervlakte totaal (LED lager).
- SPAD-waarde (LED hoger).

Tabel 4

Samenvatting resultaten detailmetingen over de hele proefperiode per behandeling. Verschillende letters geven significante verschillen aan (ANOVA). L.s.d. 95% = least significant difference; n.s. = niet significant.

Periode 30-05-2017 tot 7-5-2018	SON-T	LED	Hybride	L.s.d. 95%
Totale taklengte (cm)	123 a	126 b	128 b	2,3
Takgewicht bij volledige lengte (g)	56,5 a	56,6 a	60,8 b	2,8
takkwaliteit (g/cm) n.s.	0,46 a	0,45 a	0,47 a	0,03
Aantal bladeren per tak n.s.	33,72 a	33,46 a	34,19 a	0,9
Bladoppervlakte (cm ²)	379 b	358 a	384 b	16,7
Aantal bloemen/ tak	9,0 a	9,0 a	9,7 b	0,46
Aantal pedunkels (v.a. februari18) n.s.	4,52 a	4,31 a	4,67 a	0,40
Bloemgewicht (alle bloemen)	3,53 a	3,58 a	3,88 b	0,21
Bloemgewicht (per bloem) n.s.	0,40 a	0,41 a	0,41 a	0,02
SPAD (mate voor chlorofyl gehalte blad)	46,9 a	48,0 b	45,78 a	0,72
Percentage droge stof (%) n.s.	8,27 a	8,16 a	8,32 a	0,18

3.4 Aanvullende metingen in het gewas

Aanvullend zijn een aantal metingen verricht aan het gewas en haar omgeving. De resultaten worden hieronder toegelicht.

3.4.1 Lokaal lucht temperatuur en RV

De gemiddelde temperatuur van de lucht op gewashoogte in de drie behandelingen vertoont een klein verschil onderling (Tabel 5).

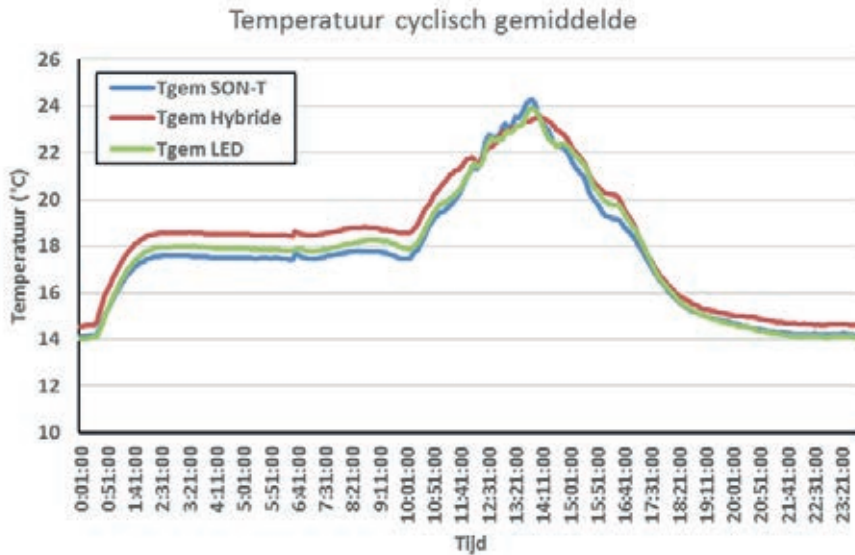
De gemiddelde temperatuur verschilt minder dan 1°C tussen de behandelingen, wat binnen de meetnauwkeurigheid valt van de sensoren. Over het etmaal is de temperatuur dus vrijwel gelijk tussen de behandelingen.

Tabel 5

Temperatuur en RV van de lucht op gewashoogte.

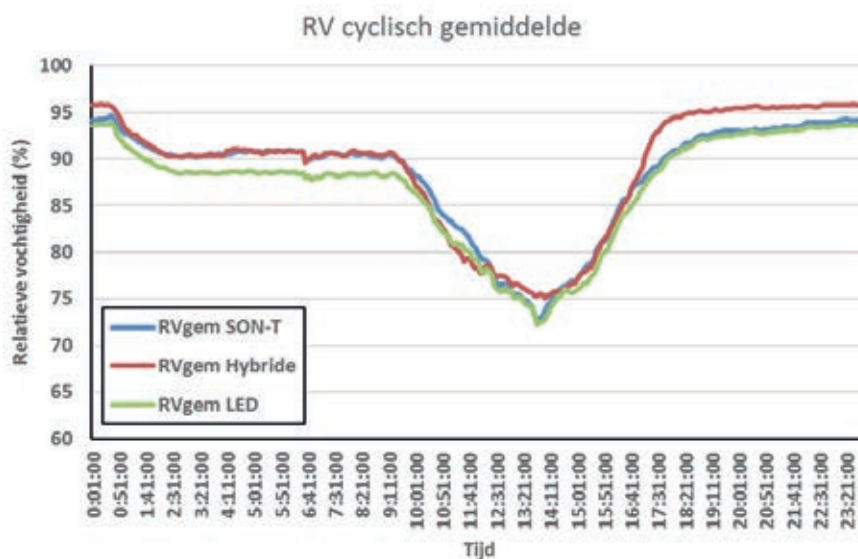
Periode 12-1 tot 8-2	SON-T	Hybride	LED
Temperatuur	17,6	18,3	17,8
RV	88,3	88,7	87,0

Figuur 26 toont de temperaturen die met deze sensoren zijn geregistreerd, als cyclisch gemiddelde. Dat is de gemiddelde temperatuur elke dag op hetzelfde tijdstip. Te zien is dat in de uren dat er belicht wordt zonder zonlicht, de temperatuurgelaagdheid het duidelijkst is. De lampen branden dan volop, de schermdoeken zijn dicht en er is minder luchtbeveging en dus minder menging. De lucht in de hybride behandeling is dan 1 graad warmer dan in de SON-T behandeling. Met de zon erbij en in het donker wordt het verschil kleiner.



Figuur 26 Cyclisch gemiddelde van de temperatuur van de lucht tussen het gewas in de drie behandelingen, in de periode 21-1 tot 8-2, 2018.

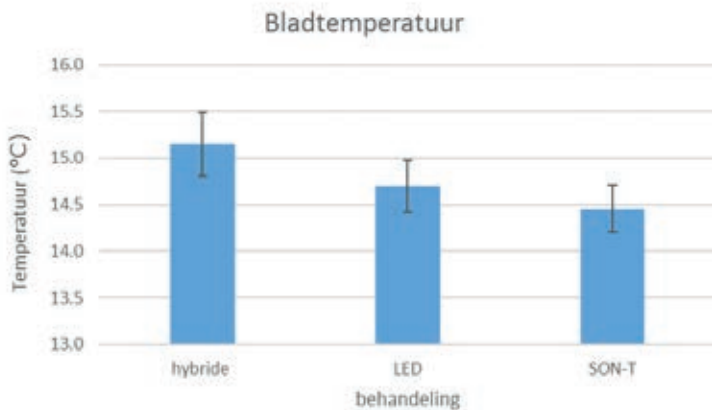
Het cyclisch gemiddelde van de RV (Figuur 27) verloopt wat afwijkend in de hybride behandeling. In de belichte nacht verloopt de RV zoals men zou verwachten: een hogere RV in de behandelingen met SON-T belichting, waaronder de hybride behandeling. De stralingswarmte van de SON-T lampen kan een hogere plantverdamping veroorzaken. Overdag zijn er geen verschillen waarneembaar. Maar 's nachts zonder lampen loopt de RV in de hybride behandeling zonder duidelijke oorzaak hoger op. Mogelijk heeft de sensor vlak bij een vochtige plek in de kas gehangen, of was er sprake van condens in de buurt van de sensor.



Figuur 27 Cyclisch gemiddelde van de RV van de lucht tussen het gewas in de drie behandelingen, in de periode 21-1 tot 8-2, 2018.

3.4.2 Bladtemperatuur

Eenmalig op 12 januari 2018 is bladtemperatuur van het bovenste bladkrans met een IR handmeter bepaald onder de drie lichtbronnen en zonder daglicht. De meting is gedaan tussen 6:30 en 7:30 uur, bij zwaarbewolkt weer en het donkere scherm dicht. In de LED behandeling zijn de vier bedden gemeten (115 planten); in de andere twee behandelingen is er slechts 1 bed, en daar zijn 80 planten gemeten. De gemiddelde temperatuur (Figuur 28) van het blad van de planten onder de hybride belichting lag 0,6 graden hoger dan onder de SON-T belichting (lager intensiteit) en 0,4 graad hoger dan de LED belichting (nagenoeg gelijke intensiteit). Tussen LED en SON-T zat gemiddeld 0,2 graden verschil. Er was een zeer kleine afwijking in de temperatuur van de bladeren binnen een proefvak.



Figuur 28 Gemiddelde bladtemperatuur onder belichting en zonder zonlicht.

3.4.3 Bodemtemperatuur

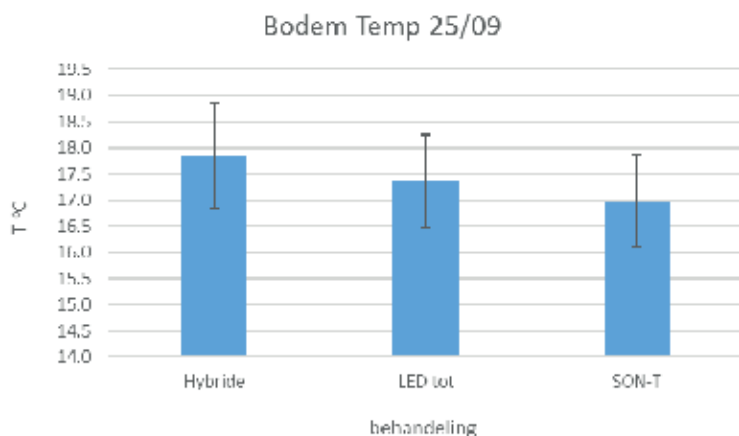
Bij Alstroemeria wordt de bodem gekoeld om de generativiteit in het gewas te bevorderen; de koude rhizoom is een voorwaarde voor een goede productie. Bedrijven hebben daarvoor een koelsysteem met slangen met koud water onder het teeltbed die de bodem, afhankelijk van de cultivar, op een temperatuur van 14 tot 17 graden houden.

3.4.3.1 Eenmalige handmeting

Eenmalig is op 25 september 2017 de temperatuur van de bodem gemeten door het insteken van een handheld thermometer met een prikker van 15 cm in de bodem op verschillende plekken in het bed.

De meting is gedaan tussen 8:00 en 9:00 uur, bij licht zonnig weer en met de lampen aan. In de LED behandeling zijn de vier bedden gemeten (30 prikplekken totaal); in de andere twee behandelingen is er slechts 1 bed, en daar is op 15 plekken geprikt.

De gemiddelde temperatuur van de bodem (Figuur 29) onder de hybride belichting lag 0,9°C hoger dan onder de SON-T belichting (lagere intensiteit). Tussen de 4 LED bedden is een verschil gemeten tot 0,7°C gemiddeld. Anders dan met de temperatuur van het blad, was de afwijking tussen prikplekken in het bed groot (variatie in een bed van 15,6 tot 19,7°C).



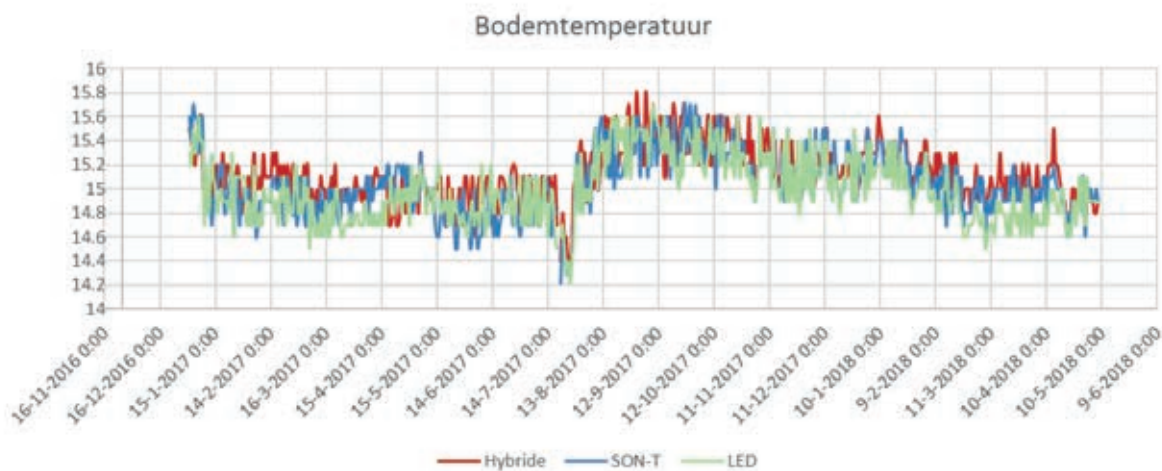
Figuur 29 Bodemtemperatuur eenmalig gemeten op 25-09-2017.

3.4.3.2 Continu meting, een voeler per behandeling

Het hierboven getoonde resultaat, een trend naar een warmere bodem bij de Hybride belichting dan bij de andere twee behandelingen, geeft aanleiding om het bodemtemperatuurverloop in de drie behandelingen onder de loep te nemen, zoals het door het teeltbedrijf wordt gemeten en geregistreerd. Het verloop voor de drie behandelingen in de tijd is in Figuur 30 als 24-uur gemiddelde weergegeven. In de grafiek is te zien dat in de hybride behandeling regelmatig een of twee tiende graad hoger wordt gemeten dan in de andere twee. Over de hele duur van het onderzoek was het gemiddelde bodemtemperatuur 15,0 graden bij de LED en SON-T behandeling, en 15,1 bij de Hybride.

Het is niet heel waarschijnlijk dat dit verschil het gevolg is van extra warmte vanwege de verzwaarde belichting, omdat er nauwelijks licht van de lampen op de bodem valt (zie 3.4.4). Daarnaast is het verschil van 0,1°C ook gemeten in de onbelichte zomerperiode.

Hoewel dit verschil op zichzelf te klein lijkt om verschillen in productie te kunnen verklaren, is het de ervaring in de Alstroemeriateelt dat hele kleine verschillen in bodemtemperatuur wanneer deze lang aanhouden, tot verschillen in productie in aantal takken kunnen leiden. Ook resulteert enkele tienden graad warmere bodem in een iets langere uitgroei duur, van enkele dagen; hierdoor heeft de tak iets langer de tijd om te verzwaren. n Een meting van de uitgroei duur ontbrak in deze proef. Voorzichtig mag worden gesteld dat dit klein verschil in de bodemtemperatuur een van de mogelijke verklaringen zou kunnen zijn voor het verschil in verdeling van de extra assimilaten bij Hybride en LED: meer takken bij de LED, zwaardere takken bij de Hybride.



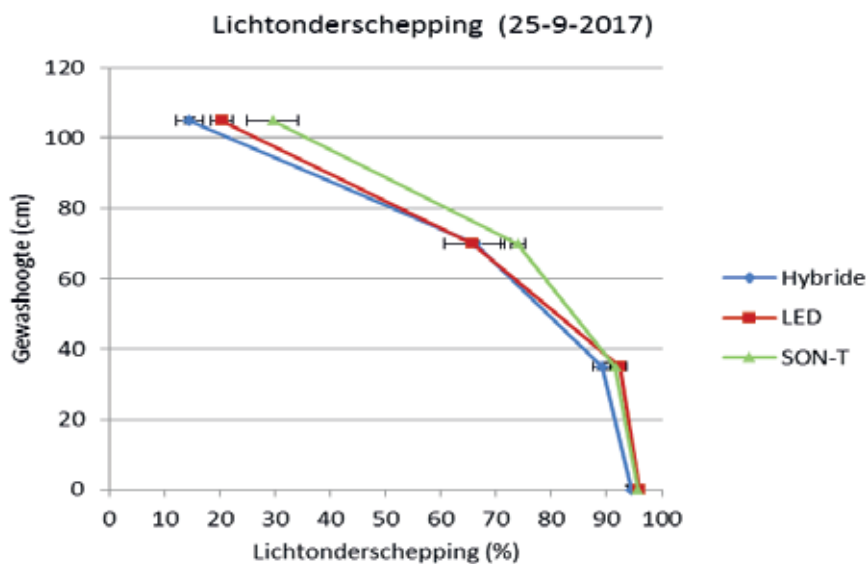
Figuur 30 Bodemtemperatuur als op het bedrijf continu gemeten, weergegeven als 24-uurs gemiddelde. Streef temperatuur is 15,5 in najaar en winter, en 15°C in voorjaar en zomer.

3.4.4 Lichtonderschepping in het gewas

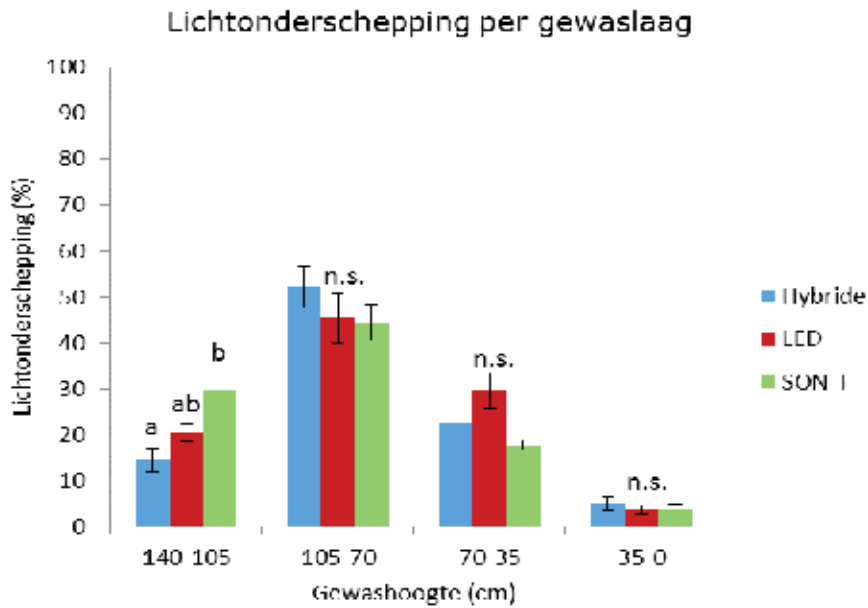
Het lichtniveau is gemeten op vijf verschillende hoogtes van het gewas. De bovenste meting vlak boven het gewas op 140 cm vanaf de grond. De tweede meting op 105 cm, de derde op 70 cm. De vierde op 35 cm, de vijfde meting op de grond. Per hoogte twee metingen, per lichtbehandeling 5 herhalingen in het gewas. Ook 5 herhalingen waarbij het lichtstok voor een deel op het pad staat. De stok heeft een lengte van 104 cm.

3.4.4.1 (Zon)lichtonderschepping 25-09

De gemeten lichtonderschepping in september is getoond in Figuur 31 voor het gewas in de drie behandelingen. Te zien is dat het meeste licht (ruim 50%) ervan wordt onderschept door het gewas laag van 75 tot 105 cm hoogte vanaf de grond. Ook dat het gewas onder SON-T in de bovenste gewas laag (gewashoogte 140-105 cm) meer licht onderscheept: 30% waarbij de Hybride en LED met respectievelijk 15 en 19% onderscheppen in deze laag. Dit betekent dat het gewas daar voller was. Dit verschil is significant. Het verschil tussen behandelingen in de andere gewaslagen is niet significant, zie ook de weergave als histogram met het % onderschepte licht per gewas laag (Figuur 32). Te zien is ook dat maar een heel klein beetje van het licht (nog maar 5%) op de grond komt.



Figuur 31 Lichtonderschepping per behandeling in de verschillende gewas hoogtes (in % van totaal invallend licht op 140 cm hoogte).

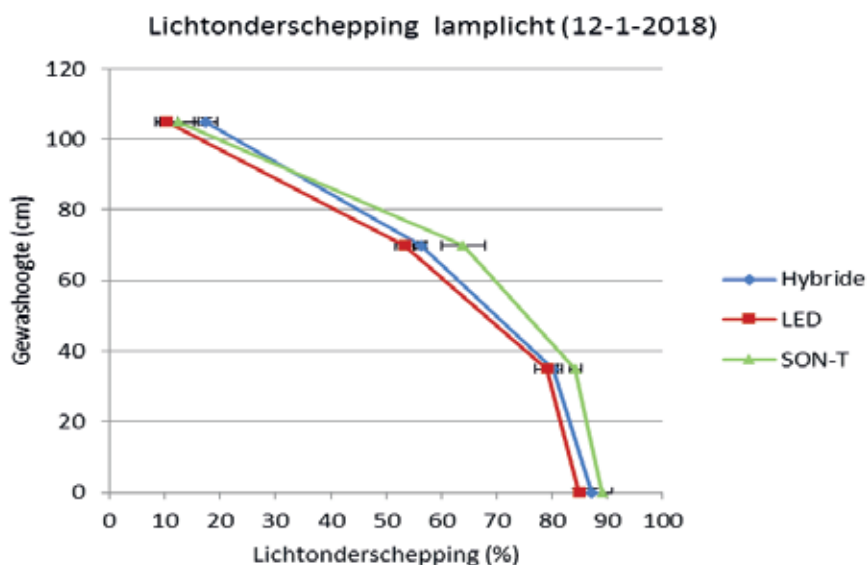


Figuur 32 Lichtonderschepping (in % van totaal invallend licht op 140 cm hoogte) per behandeling per gewas laag. Verschillende letters geven significante verschillen aan; n.s.: niet significant.

3.4.4.2 (Lamp)lichtonderschepping 12-01

De meting in januari is gedaan met alleen lamplicht, voor het dag werd. Hiervoor is een ander instrument gebruikt, namelijk een spectrometer. Deze meet niet alleen totaal licht, maar ook het spectrum van het licht dat op elke gewas laag valt. Anders dan de lichtstok die over 105 cm lengte het licht integreert, geeft de spectrometer een puntmeting weer. Voor de meting is hier dus op verschillende posities in het bed gemeten: in het midden van het bed, op ¼ breedte van het bed, aan de rand van het bed.

De resultaten van de lamplicht onderschepping door het gewas worden hieronder (Figuur 33) per lichtbehandeling en gewas laag weergegeven

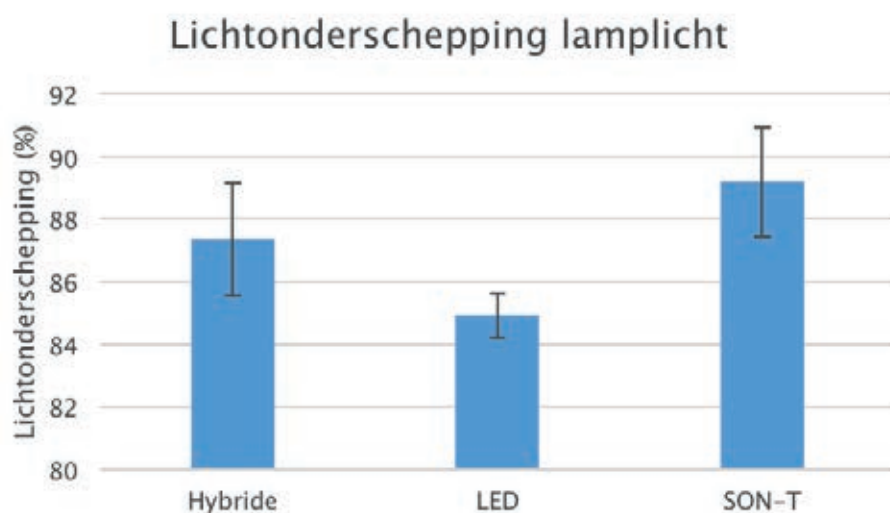


Figuur 33 Lichtonderschepping lamplicht per behandeling en gewashoogte. (In % van totaal invallend licht op 140 cm hoogte).

Ook van het lamplicht onderschept het gewas meer in de behandeling met SON-T, en dan vooral de middelste bladlagen van het gewas. Op de grond komt nog 10% van het licht, meer dan van het zonlicht. In de behandeling LED is er nog 15% licht op de grond, maar het meeste is strooilicht van de omringende SON-T, zie ook Figuur 6 en Figuur 11.

In het midden van het bed, onderschept het gewas in de SON-T afdeling meer van het lamplicht dan in de hybride belichting. Op een kwart van het bed en in de rand zijn er geen verschillen in onderschepping tussen het gewas in beide behandelingen. In de behandeling met alleen LED licht, valt er relatief veel licht in het pad, maar de variatie tussen meetpunten is groot.

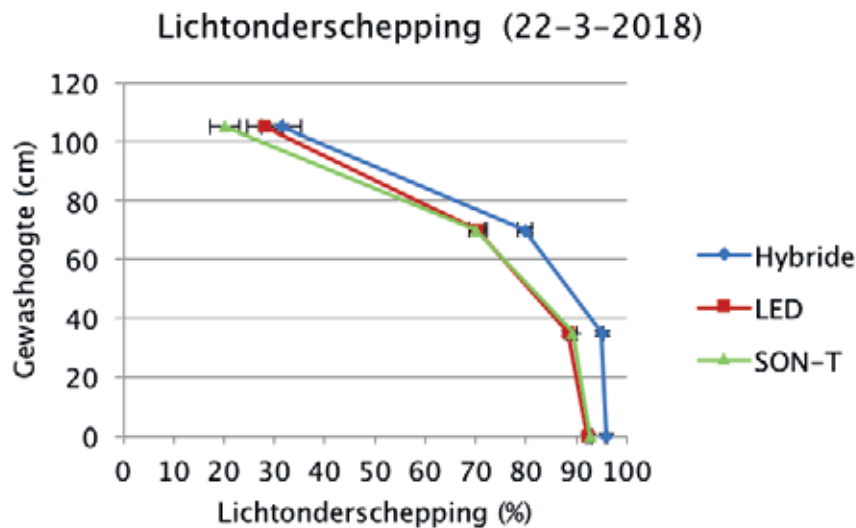
Gemiddeld door het hele gewas, is de onderschepping van het licht uit de SON-T lampen het hoogst, gevolgd door de hybride. Het gewas onderschept het minste licht uit de LED lampen zonder SON-T ertussen (Figuur 34). De LED lampen hangen in strengen boven het gewas, parallel aan de paden. Er hangen ook meer strengen naast elkaar dan in de SON-T en Hybride behandelingen. Dit heeft als gevolg dat er relatief meer licht in de paden valt. Dit is dus niet zozeer het gevolg van het spectrum, maar van de manier waarop de lampen gepositioneerd zijn ten opzichte van het gewas.



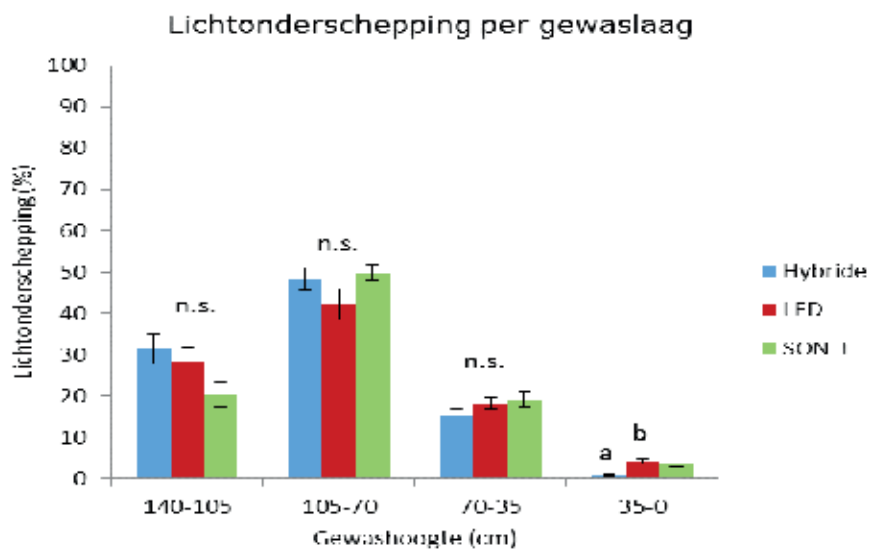
Figuur 34 De onderschepping van licht door het gewas in de drie lichtbehandelingen. (In % van totaal invallend licht op 140 cm hoogte).

3.4.4.3 (Zon)lichtonderschepping 22-03

De in maart gemeten lichtonderschepping is getoond in Figuur 35 en Figuur 36 voor het gewas in de drie behandelingen. Te zien is een heel ander beeld dan in de eerdere twee metingen, waarbij juist in de hybride behandeling meer licht wordt onderschept; echter alleen in de onderste laag is de onderschepping van zonlicht ook betrouwbaar hoger ten opzichte van de LED-SON-T behandeling. Dit betekent dat het gewas daar voller was. Dit viel ook met het blote oog al op tijdens de meting, waarbij het leek als of er meer loze takken (dus zonder bloem) op stonden.



Figuur 35 Lichtonderschepping per behandeling in de verschillende gewas hoogtes. (In % van totaal invallend licht op 140 cm hoogte).



Figuur 36 Lichtonderschepping (in % van totaal invallend licht op 140 cm hoogte) per behandeling per gewas laag.

3.5 Efficiëntie in licht en elektrabenutting

De lichtbenuttingsefficiëntie wordt omschreven als de hoeveelheid geproduceerde biomassa per eenheid licht. We drukken het uit in grammen per Mol (PAR) licht.

Analoog omschrijven we de Elektrabenuttingsefficiëntie als de hoeveelheid geproduceerde biomassa per ingebrachte elektra eenheid. We drukken het uit in grammen per Kilowattuur.

Deze kentallen zijn nodig om de drie behandelingen, die in lichtniveau, intensiteit, branduren van de lampen en output per kw, onderling te vergelijken.

We bepalen hieronder achtereenvolgens het aantal Mol licht dat in de kas is gekomen gedurende de proefperiode, de gebruikte elektra, en we relateren de productie (Hoofdstuk 3.3) aan deze kentallen.

Voor de berekeningen, onderscheiden we drie periodes:

periode	van	tot	toelichting
1	1-feb	20-mei	Eerste meetwinter, start productieregistratie
2	21-mei	9-aug	Zomer, er wordt niet belicht
3	10-aug	7-mei	Tweede meetwinter, volledige belichtingsperiode

3.5.1 Lichtsommen

Voor het bepalen van de lichtsommen zijn de volgende gegevens uit de klimaatcomputer van de teler gebruikt:

- Globale straling.
- Moment van aan- uitschakeling van de lampen (per streng apart).
- Sturing van de schermen.

De tabellen hieronder geven de uitgangspunten weer die zijn gebruikt:

Transmissie van de kas en de schermen.

kastransmissie			scherm transmissie	
hybride	LED	SON-T	transparant	donker
0,7	0,69	0,7	0,59	0,01

De berekende totale lichtsom (globale straling dat binnen de kas komt, plus het licht dat uit de lampen komt) per periode is weergegeven in Tabel 7.

Uit de tabel blijkt er in de LED proefvak minder licht van de zon binnen komt door de iets lagere gemeten transmissie dan in de andere proefvakken. Dat is 24 mol in de eerste meetwinter, 30 mol in de zomerperiode en 40 mol totaal in de tweede, volledige meetwinter.

Ook in lichtsommen van de lampen zijn er verschillen, niet alleen vanwege de verschillen in lichtintensiteiten, maar ook waren er verschillende in branduren van de lampen (Tabel 6): de LED belichting in de hybride proefvak stond langer en vaker aan dan de SON-T belichting uit dat vak, en ook langer en vaker dan de LED en de controle SON-T belichting.

Tabel 6

Branduren van de lampen per periode en per schakelgroep.

periode	Hybride SON-T	hybride LED	LED	SON-T
1	797	880	798	799
2	0	0	0	0
3	2718	3063	2703	2703
Totaal	3515	3943	3501	3502

Tabel 7

Lichtsom (mol/m^2) per periode voor de 3 behandelingen.

	PAR zon (mol/m^2)			PAR lamp (mol/m^2)			PAR totaal (mol/m^2)		
	Periode 1	Periode 2	Periode 3	Periode 1	Periode 2	Periode 3	Periode 1	Periode 2	Periode 3
hybride	1638	2062	2779	241	0	828	1879	2062	3607
LED	1614	2032	2739	227	0	769	1841	2032	3508
SON-T	1638	2062	2779	178	0	603	1816	2062	3382

3.5.2 Elektragebruik per behandeling

De berekende elektra gebruiken in kWh per behandeling voor de drie gedefinieerde periodes zijn weergegeven in Tabel 8. Aangenomen voor deze berekeningen is de opgegeven efficiëntie in μmol per Watt_{elektrisch} als volgt:

Intensiteit en efficiëntie van de belichting systemen.

	intensiteit $\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$		efficiëntie $\mu\text{mol}/\text{Wel}$
	LED	SON-T	
hybride SON-T		61	1,85
hybride LED	21		2,7
LED	79		2,3
SON-T		62	1,85

Uit de tabel blijkt dat ondanks een hogere intensiteit, totaal van januari tot begin mei het elektra gebruik in de LED en de SON-T behandelingen praktisch gelijk ligt. De hybride behandeling, echter, heeft vooral door het hogere aantal branduren van de LED strengen, ca. 10 kWh meer gebruikt

Tabel 8

Berekende elektriciteitsgebruik (kWh/m^2) per periode voor de drie behandelingen.

periode	hybride	LED	SON-T
1	33,1	27,4	26,8
2	0,0	0,0	0,0
3	113,4	92,8	90,6
<i>Totaal</i>	<i>146,5</i>	<i>120,2</i>	<i>117,4</i>

3.5.3 Licht en elektrabenuuttingsefficiëntie

Als eerder gedefinieerd is de lichtbenuuttingsefficiëntie LBE de hoeveelheid oogstbare biomassa per eenheid licht (gram bloem per Mol (PAR) licht).

Elektrabenuuttingsefficiëntie EBE is de hoeveelheid geoogste biomassa per ingebrachte elektra eenheid (gram bloem per Kilowattuur voor de lampen).

De aldus berekende lichtbenuuttingsefficiëntie en elektrabenuuttingsefficiëntie zijn te zien in Tabel 9.

De resultaten laten zien dat de lichtbenuuttingsefficiëntie van het gewas in de zomer –de periode dat niet belicht wordt- het laagst is. Daar wordt geen elektra gebruikt.

De LBE van het gewas over de gehele looptijd verschilde weinig tussen behandelingen, maar was hoger in de behandelingen Hybride en LED dan in de SON-T. Dat betekent dat de verzwaring van de belichting van 61 naar 80 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ goed door het gewas wordt gebruikt: de efficiëntie waarmee het gewas het licht in bloemen omzet is in beide hogere belichtingssystemen iets hoger dan in de SON-T, let wel op dat het verschil wel heel klein is, over het jaar heen maar 4% hoger LBE.

Tabel 9

Productie en productie in relatie tot licht en elektra input.

periode	Productie kg/m^2 bij 90cm			LBE (productie g/mol)			EBE (productie g/kW)		
	hybride	LED	SON-T	hybride	LED	SON-T	hybride	LED	SON-T
1	7,9	8,23	7,5	4,2	4,5	4,1	238,0	300,4	280,7
2	8,0	7,6	7,9	3,9	3,7	3,8			
3	20,6	19,9	18,3	5,7	5,7	5,4	181,5	214,7	201,7
Totaal	36,5	35,8	33,7	4,8	4,8	4,6	249,0	297,4	287,2
Totaal licht periode	28,5	28,2	25,8	5,2	5,3	5,0	194,3	234,3	219,7

Gedurende het jaar doet zich een verschil in LBE waarbij in de zomer het licht minder efficiënt wordt benut dan in de winter. Dit is bekend uit o.a. Chrysant (Hyun Lee *et al.* 2003), dat in de winter het beetje licht dat er is heel efficiënt kan worden gebruikt, en in de zomer veel minder, veelal het gevolg van lichtverzadiging in combinatie met beperkende CO_2 niveaus.

De verschillen in LBE in het jaar tussen de systemen zijn echter klein, zeker als we kijken naar de LED en de Hybride: in de eerste winter bleek de LED een 6% hogere LBE te realiseren dan de Hybride; in de tweede winter was het LBE van de LED gelijk aan de Hybride. Dat beide een iets hogere lichtbenutting realiseren dan de referentie SON-T met een lager lichtniveau kan aangeven dat er nog ruimte is voor verzwaring van het licht totdat het optimum aan lichtbenutting wordt bereikt.

Kijken we naar de EBE, dat wil zeggen, hoeveel bloemen er uit een kilowattuur is uitgehaald, dan blijkt de hybride over de gehele proef het systeem dat de minste grammen gewas produceert per kilowatt, oftewel, het is de minst efficiënte van de systemen vanuit energetisch oogpunt. Zelfs de SON-T is efficiënter.

Uit de cijfers blijkt dat de meest energiezuinige van de drie systemen is de Full LED optie, zelfs in dit geval waar de lampen een lager output hebben (en dus relatief minder efficiënt zijn).

4 Algemene discussie

Uit de resultaten blijkt dat de Hybride belichting geresulteerd heeft in:

- 8% meer productie in kilogram dan de referentie SON-T in de vorm van langere (5 cm) en zwaardere takken (4 gram).
- 0,5% minder takken per m² dan de referentie SON-T.
- 0,7 bloemen extra per tak dan de referentie SON-T en dus iets meer totaal bloemgewicht.
- Een deel van de extra gewicht zit in de extra lengte, en daardoor gemiddeld niet meer grammen per cm steel en meer gewicht aan "afval".

De LED behandeling (er was wel wat strooilicht van de omringende SON-T lampen), met rood/blauwe LED's heeft geresulteerd in:

- 6% meer productie in de vorm van extra takken, en 7% meer totaalgewicht dan de SON-T referentie.
- Iets kleiner bladoppervlakte per tak dan de takken uit de referentie.
- Een iets hoger chlorofyl gehalte dan in de takken uit de SON-T referentie.

Dit resultaat kan niet aan het verschil in spectrum worden toegeschreven, want:

- De LED en Hybride belichting hadden een hogere intensiteit (ca. 33% hoger) dan de referentie SON-T.
- De LED lampen uit de Hybride belichting hebben 442 uur meer gebrand (13% meer) dan de lampen in de SON-T en LED behandelingen.
- Totaal over de hele onderzoeksperiode (januari 2017 tot mei 2018) was er in de hybride behandeling daardoor 288 Mol extra licht ten opzichte van de referentie (4% extra licht).

Om de drie behandelingen, verschillend in lichtniveau, intensiteit, branduren van de lampen en output per kWh onderling te vergelijken, rekenen we de behaalde productie om naar gram product per mol licht en naar gram product per ingebrachte kilowattuur elektra.

Uit de elektrabenuutingscijfers blijkt dat de meest energiezuinige van de drie systemen de Full LED optie is, zelfs in dit geval waar de lampen een lagere output hebben (en dus relatief minder efficiënt zijn) dan de lampen die gebruikt zijn in de hybride behandeling.

Uit de discussie met telers hebben wij gemerkt dat dit resultaat om uitleg vraagt, omdat gevoelsmatig het hybride systeem heel zuinig in gebruik lijkt te zijn in vergelijking met SON-T.

Om te begrijpen waarom dat niet zo is, is het goed om te beseffen dat:

- De High Output LED lampen verbruiken weliswaar minder elektra per μmol , maar ze vertegenwoordigen echter maar 25% van de totale installatie in de hybride systeem.
- De High Output LED lampen in het hybride systeem konden apart van de SON-T schakelen, en hebben in de eerste (de korte) winter 83 uur meer gebrand dan de SON-T en full LED behandelingen; in de tweede (langere meetperiode dan eerste winter) winter 345 uur meer, zoals het te zien is in Tabel 6.
- De LED behandeling gebruikt de minste energie per gram product. Dit komt omdat hij bestaat uit 100% LED lampen, ook als hebben deze een iets lager output in licht per eenheid elektra. Deze lampen hebben even lang gebrand als de SON-T, maar omdat er een hoge intensiteit hangt dan bij SON-T, hebben zij totaal over de onderzoeksperiode 3 kWh meer gebruikt dan de SON-T lampen (Tabel 8). Ze leverden wel voor die 3 extra kw, 215 Mol licht meer dan de SON-T lampen (Tabel 7), resulterend in 2 kg extra gewas.
- De Hybride installatie (grotweg 75% SON-T, 25% HO LED) gebruikte 29,1 kWh meer dan de SON-T installatie, leverde 288 Mol extra licht dan de SON-T en resulteerde in 2,8 kg extra gewas.

Opmerkelijk is het verschil in verdeling van de meerproductie tussen de twee behandelingen met hoger lichtniveau: in de hybride behandeling is de extra biomassa gaan zitten in langere, zwaardere takken. In de LED behandeling is dat gebeurd als extra takken; het veldje leek ook op het oog korter dan de omringende takken. Wat hiervan precies de oorzaak is, is niet met de verrichte metingen te achterhalen. Was het toch een subtiel effect van het spectrum (door de veranderde rood/ verrood verhouding)? Of zou het gemeten verschil in bodemtemperatuur toch hier een oorzaak van zijn? Dit zou kunnen, want het is in de Alstroemeriateelt bekend dat het gewas heel sterk reageert op kleine maar constante temperatuur verschillen in de bodem binnen de gemeten temperatuurbereik. Enkele tiende graad warmere bodem leidt, indien het over een langere tijd, tot minder takken en kan de uitgroeiduur iets verlengen, waardoor de tak langer de tijd heeft om te verzwaren. Zo is de ervaring van telers.

Er zijn geen betrouwbare verschillen gevonden in totale lichtonderschepping gevonden, maar wel een verschil in verdeling. Het is onduidelijk of lichtverdeling in Alstroemeria impact heeft op de productie (weinig licht op de grond vegetatief?). Bij de meting van lichtonderschepping onder lamplicht, kwamen geen verschillen naar voren. Wel was de onderschepping het laagst in de LED behandeling. Dit kan worden verklaard door het feit dat er meer licht op de grond valt in het pad. Omdat er meerdere LED strengen parallel hangen in lijn met de paden, leidt dat mogelijk tot meer lichtverlies in het pad.

De meting in het voorjaar liet duidelijk betrouwbare verschillen zien in lichtonderschepping. Dit gewas is dan gevormd onder de belichte winteromstandigheden. De lichtonderschepping in de hybride behandeling is duidelijk hoger (respectievelijk 4 en 3%) dan in de LED en SON-T behandelingen. De verschillen treden op vanaf de tweede gewaslaag. Wel viel het bij deze meting op dat er op het oog meer loos stond in de hybride behandeling. Hierdoor kan het gewas voller zijn, waardoor de lichtonderschepping hoger is, maar dit hoeft niet te leiden tot een hogere productie van goede takken. In de LED behandeling was het gewas duidelijk opener. In vervolgonderzoek is het belangrijk om ook de stengeldichtheid waar te nemen, en ook in de lichtonderscheppingmetingen en biomassametingen rekening te houden met de hoeveelheid loos.

5 Conclusies

De high output LED als gebruikt in dit praktijkbedrijf Alstroemeria heeft in vergelijking met de SON-T referentie, deels door een verhoogd lichtniveau (ca. 33%) en deels doordat de lampen 13% meer uren hebben gebrand dan in de SON-T referentie, een 8% hogere productie teweeggebracht in de vorm van langere, zwaardere takken.

De "normaal output" LED, ook met een ca. 33% hogere intensiteit maar even veel uur gebruikt als de referentie heeft eveneens geresulteerd in een meerproductie (6% meer takken, 7% meer totaalgewicht).

De benutting van het licht van beide bronnen (uitgedrukt als grammen product per Mol licht –zonlicht plus lamplicht- was voor beide LED systemen (hybride en full LED) ongeveer gelijk, en in beide was de lichtbenutting hoger dan in de referentie SON-T met een lager lichtniveau. Dit zou kunnen betekenen dat er nog ruimte is voor verzwaring van het lichtniveau totdat het optimum aan lichtbenutting wordt bereikt. Waar dit optimum ligt is voor Alstroemeria niet bekend.

Energetisch gezien (in gram gewas per Kw elektra) blijkt de Hybride belichting de minst efficiënte van de drie systemen te zijn.

De meest energiezuinige van de drie systemen is de Full LED optie, zelfs in dit geval waar de lampen een lager output hebben (en dus relatief minder efficiënt zijn) dan de gebruikte lampen in de LED belichting.

6 Betekenis voor praktijk en onderzoek

De proef wat we voor dit onderzoek hebben mogen monitoren was de eerste toepassing van dit soort lampen in de praktijk bij Alstroemeria. Inmiddels neemt het aantal telers toe die op middelgrote schaal proeven doen met hybride belichting systemen, altijd als aanvulling op de bestaande installaties.

Aanbevolen wordt om goed naar de relatie input/ output te kijken bij de keus voor hybride, zeker gelet op de investering die ervoor nodig is.

Het programma "Kas als Energiebron" anticipeert op een nabije toekomst zonder gas, of met heel duur gas, wat een volledige verandering teweeg zal brengen in de teeltmethodes zoals we ze nu kennen. Daarom investeert KaE dit jaar nog in een onderzoek naar de mogelijkheden te telen in een All-electric kas. Hierin is het de bedoeling om met een hogere intensiteit Full LED belichting te gaan telen, en de warmte van de lampen, de latente warmte en de warmte van de bodemkoeling allemaal te gebruiken voor de verwarming van de kas.

Met de resultaten uit dit onderzoek zijn vragen beantwoord maar ook zijn nieuwe vragen geformuleerd:

T.a.v. schakelstrategie

De High Output LED lampen in het hybride systeem hebben langer gebrand dan de SON-T; in afwezigheid van zonlicht betekent dit dat het gewas met maar 20 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ wordt belicht. Uit fotosynthese metingen in het verleden (o.a. door Trouwborst *et al.* 2015) weten we dat de eerste μmol licht bij Alstroemeria nodig zijn om te compenseren voor de donkere ademhaling. Ook blijkt dat de planten langzaam de huidmondjes open doen. Wellicht is het daarom efficiënter om juist met de SON-T te beginnen, of niet in twee delen te schakelen, maar alle lampen in een keer aan te schakelen. Mogelijk is er een hoger rendement te halen dan met de gebruikte strategie (zoals het met de LED gebeurde).

T.a.v. het gebruikte lichtspectrum

Uit onderzoek in roos (De Gelder en Van der Burg, 2017), is gebleken dat de samenstelling van het spectrum van de lampen in een situatie met heel weinig natuurlijk licht (zoals de Nederlandse wintersituatie), van belang is voor de kleur van blad en bloem en de morfologie van de plant. Het aandeel verrood beïnvloedt de verdeling van de assimilaten in tomaat (meer naar de vruchten en minder naar het blad en de stengels, Dieleman 2017). De gebruikte HO LED in de hybride belichtingsinstallatie bestaat uit 95% rood licht en 5% blauw licht. Dit verhoogt het aandeel rood (vooral) en blauw (iets) boven op die van de SON-T. Maar wellicht is juist groen licht wat in de SON-T ontbreekt, of een beetje Verrood, en had het spectrum van de LED in de hybride juist meer complementair moeten zijn aan het spectrum van de SON-T en minder "aanvullend". Deze vraag zal nog in 2018 worden beantwoord binnen het onderzoek "LED licht bij Zonlicht" wat binnen enkele weken van start gaat met onder andere gewassen, Alstroemeria.

T.a.v. verhoging lichtniveaus bij Alstroemeria

Uit dit onderzoek blijkt dat verhogen van het lichtniveau bij Alstroemeria tot een hogere lichtbenuttingsefficiëntie leidt, het kan lonend zijn. De vraag is met welke lichtbron. Bij de praktijkniveaus van ca. 80 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$, is het uiteindelijk een economische afweging en het lijkt er niet op dat het verschil in spectrum heel belangrijk is. Als de lichtintensiteit hoger wordt, wordt LED belangrijker omdat het minder energie gebruikt per μmol licht, en de teler beter in staat stelt om de temperatuur te handhaven zonder overmatig ventileren, wat ten goede komt aan de CO_2 gehaltes in de kas. Maar dan wordt het belang van het spectrum, zie boven, ook groter.

Literatuur

De Groot, M., 2008.

Minder belichten Alstroemeria in de winter geen optie. Vakblad voor de Bloemisterij 47, p.46-47.

Dieleman, A., 2017.

Gedeeltelijk vervangen van PAR licht door verrood licht: wat is het effect op tomaten? <https://www.wur.nl/nl/nieuws/Gedeeltelijk-vervangen-van-PAR-licht-door-verrood-licht-wat-is-het-effect-op-tomaten.htm>

Garcia Victoria, N.; Helm, F.P.M. van der; Warmenhoven, M.G. 2015.

Praktijkproef LED Alstroemeria: invloed licht spectrum op bladkwaliteit, bouwstenen voor energiebesparing.

Wageningen UR Glastuinbouw Rapport GTB- 1337

Garcia Victoria, N., Weerheim, K., Helm, F.P.M. van der, Kempkes, F., Visser, P. en De Groot, M. 2016.

Energiebesparing met LED belichting in gerbera. Resultaten van 1^{ste} jaar LED onderzoek. Wageningen UR Glastuinbouw Rapport GTB-1389

Gelder, A., en Van der Burg, R., 2017.

LED en energiezuinigheid en kwaliteit bij Red Naomi! Wageningen UR Glastuinbouw Rapport WPR-708.

Hyun Lee, J., Goudriaan, J., Challa, H., 2003.

Using the exponential Growth Equation for Modelling Crop Growth in Year-round Cut Chrysanthemum. Ann. Bot. 92(5) 697-708.

Trouwborst, G., Hogewoning S. en Pot, S. 2015.

Meer rendement uit licht en CO₂ bij Alstroemeria.

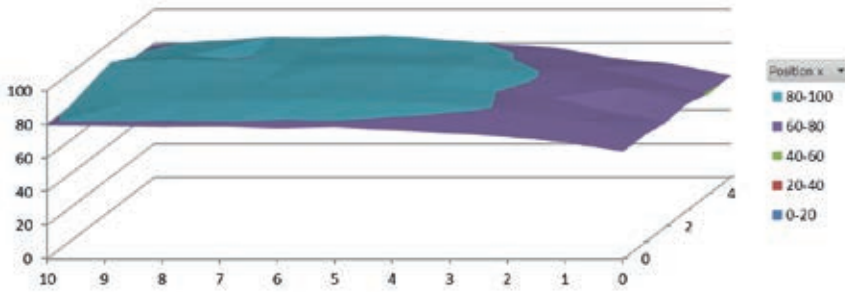
Bijlage 1 Kastransmissie

Hybride	Meetvak 69.5%						SON-T	Meetvak 68.8%					
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
1	57%	59%	52%	63%	62%	62%	1	61%	62%	62%	44%	61%	56%
2	60%	64%	66%	67%	65%	66%	2	61%	64%	66%	63%	64%	63%
3	59%	67%	67%	68%	66%	67%	3	59%	66%	67%	66%	67%	66%
4	58%	68%	70%	69%	68%	69%	4	53%	68%	68%	68%	68%	67%
5	59%	67%	70%	68%	68%	67%	5	64%	68%	70%	69%	69%	67%
6	61%	70%	70%	69%	69%	70%	6	64%	68%	70%	69%	69%	67%
7	57%	70%	70%	69%	68%	70%	7	66%	68%	70%	69%	69%	69%
8	60%	70%	70%	69%	69%	70%	8	66%	68%	70%	70%	70%	67%
9	67%	69%	70%	69%	68%	70%	9	67%	69%	70%	69%	69%	68%
10	67%	70%	70%	69%	69%	68%	10	66%	68%	70%	70%	70%	67%
11	68%	70%	70%	69%	68%	70%	11	66%	69%	70%	70%	69%	70%
12	68%	70%	70%	69%	69%	70%	12	68%	68%	69%	70%	70%	67%
13	70%	68%	70%	69%	68%	70%	13	66%	69%	68%	70%	70%	70%
14	69%	69%	70%	69%	68%	68%	14	68%	68%	69%	69%	69%	68%
15	70%	67%	70%	69%	68%	70%	15	66%	68%	68%	70%	70%	67%
16	68%	68%	70%	69%	68%	68%	16	67%	68%	68%	68%	69%	67%
17	70%	67%	70%	69%	68%	69%	17	65%	68%	68%	67%	68%	67%
18	69%	69%	70%	69%	68%	69%	18	65%	68%	70%	68%	68%	70%
19	69%	69%	70%	69%	69%	69%	19	66%	67%	68%	68%	69%	69%
20	67%	69%	70%	69%	68%	70%	20	66%	69%	70%	70%	70%	69%
21	67%	70%	70%	69%	70%	70%	21	68%	69%	68%	69%	67%	69%
22	68%	69%	71%	69%	68%	70%	22	67%	69%	69%	70%	70%	69%
23	67%	69%	70%	69%	70%	70%	23	68%	67%	69%	69%	68%	70%
24	68%	67%	71%	69%	68%	70%	24	67%	69%	68%	70%	69%	68%
25	68%	70%	70%	69%	70%	70%	25	68%	69%	69%	70%	68%	70%
26	70%	67%	71%	69%	70%	70%	26	68%	69%	68%	69%	69%	68%
27	68%	69%	70%	69%	70%	70%	27	68%	67%	69%	71%	69%	68%
28	70%	67%	70%	69%	70%	70%	28	68%	69%	68%	69%	68%	70%
29	68%	67%	70%	68%	70%	69%	29	68%	69%	68%	70%	70%	67%
30	70%	67%	67%	67%	67%	67%	30	68%	68%	68%	69%	67%	68%
31	68%	64%	49%	63%	60%	67%	31	66%	67%	68%	67%	69%	67%
32	69%	54%		58%		62%	32	68%	65%	66%	70%	67%	67%
33	67%					61%	33	66%	60%	61%	67%	67%	65%
34	68%					43%	34	64%			67%	61%	
35	66%						35	56%			64%		
36	66%						36				60%		
37	45%												
Gemiddeld	65%	67%	68%	68%	68%	67%		65%	67%	68%	68%	68%	68%

	Meetvak	69.9%								
LED	1	2	3	4	5	6		SON-T+Doek	4	5
1	58%	68%	68%	65%	59%	63%		1	42%	47%
2	63%	69%	69%	67%	65%	67%		2	40%	43%
3	64%	69%	71%	67%	67%	68%		3	40%	41%
4	60%	69%	71%	71%	68%	69%		4	40%	41%
5	60%	69%	71%	71%	68%	69%		5	40%	41%
6	67%	69%	71%	68%	68%	71%		6	40%	41%
7	67%	69%	71%	71%	68%	71%		7	40%	41%
8	67%	69%	71%	70%	69%	72%		8	40%	41%
9	67%	69%	70%	71%	70%	72%		9	40%	41%
10	67%	70%	70%	71%	71%	72%		10	40%	41%
11	67%	69%	71%	70%	71%	72%		11	40%	41%
12	67%	69%	72%	70%	71%	72%		12	40%	43%
13	69%	69%	71%	70%	71%	72%		13	40%	42%
14	67%	69%	72%	71%	71%	72%		14	40%	42%
15	70%	69%	72%	71%	71%	68%		15	40%	41%
16	69%	69%	72%	71%	71%	68%		16	40%	41%
17	69%	69%	72%	70%	71%	68%		17	40%	42%
18	67%	69%	71%	70%	71%	68%		18	40%	42%
19	68%	69%	72%	71%	71%	70%		19	40%	42%
20	67%	69%	72%	71%	71%	70%		20	40%	42%
21	68%	69%	72%	71%	71%	71%		21	40%	42%
22	69%	69%	72%	71%	71%	71%		22	40%	42%
23	69%	69%	72%	70%	71%	71%		23	40%	42%
24	70%	69%	72%	73%	71%	71%		24	40%	42%
25	70%	68%	72%	73%	71%	71%		25	40%	42%
26	69%	69%	72%	73%	71%	71%		26	40%	41%
27	69%	69%	75%	73%	71%	71%		27	40%	41%
28	69%	69%	72%	73%	71%	71%		28	42%	42%
29	69%	69%	73%	73%	71%	71%		29	42%	42%
30	69%	69%	72%	73%	71%	71%		30	44%	40%
31	69%	67%	71%	71%	71%	71%		31	44%	43%
32	69%	65%	72%	73%	71%	71%		32	44%	44%
33	69%	65%	71%	70%	69%	68%		33	44%	45%
34	69%	63%	70%	70%	68%	68%		34	44%	45%
35	69%	58%	67%	69%	67%	65%		35	45%	
36	67%		62%	58%				36	45%	
37	65%			50%						
38	64%									
39	55%									
	67%	68%	71%	70%	69%	70%			41%	42%
										39%
										verlies door doek

Bijlage 2 Verdeling kunstlicht

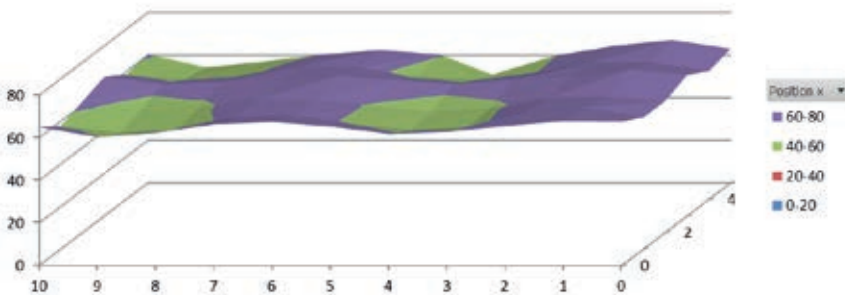
Treatment Lamp type
Average of Ephot (Begin..End) [$\mu\text{mol/s sqm}$]



Verdeling LED in LED only.

Position y

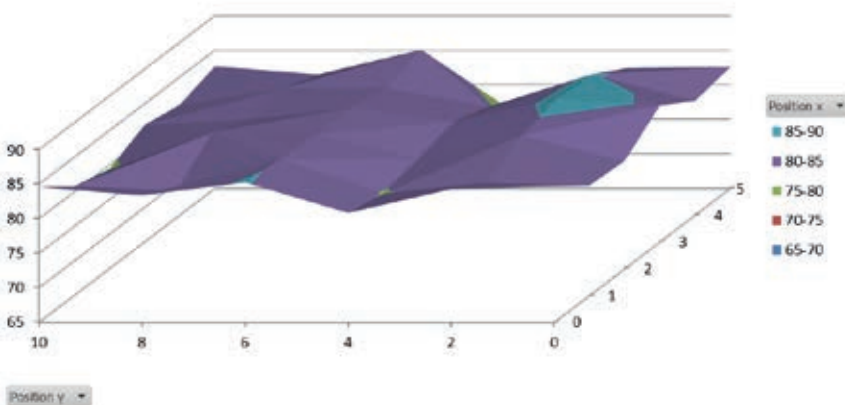
Treatment Lamp type
Sum of Ephot (Begin..End) [$\mu\text{mol/s sqm}$]



Verdeling SON-T controle.

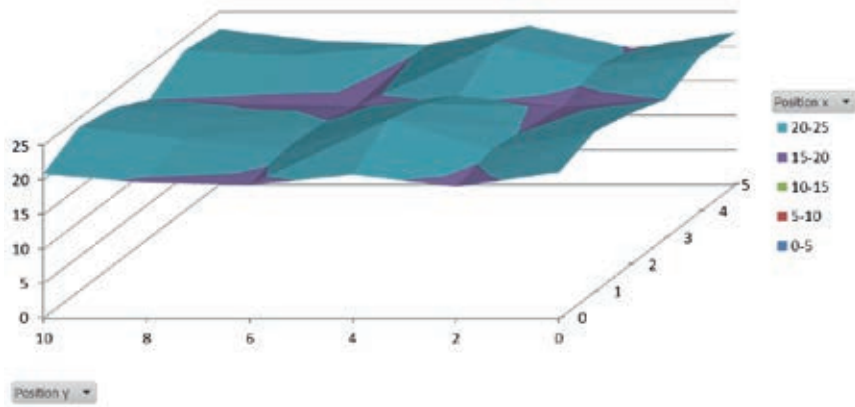
Position y

Treatment Lamp type
Sum of Ephot (Begin..End) [$\mu\text{mol/s sqm}$]



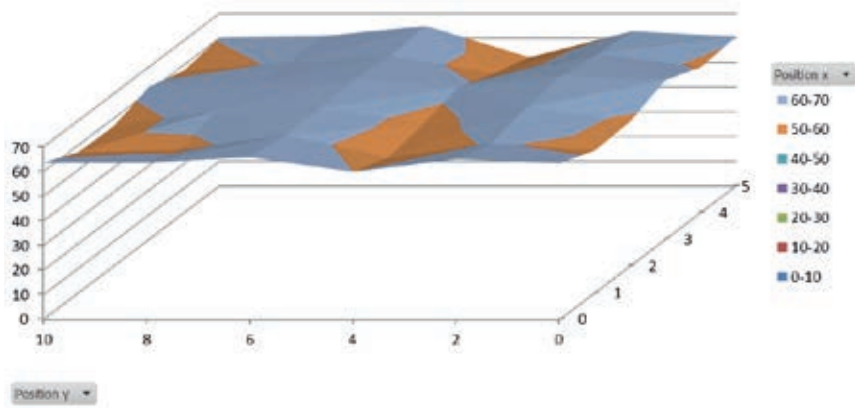
Verdeling Hybride.

Treatment Lamp type
Average of Eshot (Begin..End) [$\mu\text{mol/s sqm}$]



Verdeling LED in Hybride.

Treatment Lamp type
Average of Eshot (Begin..End) [$\mu\text{mol/s sqm}$]



Verdeling SON-T in Hybride.

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

Rapport WPR-806

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 5.000 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research 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.