

Leliebroei op weg naar fossielvrij:

Voorbroei onder LED



Juli 2020

S.W. Hogewoning, A. Krause, S.A.J. van den Boogaart & G. Sam-Sin (Plant Lighting B.V.),
B.J. Kok (Delphy B.V.) & L. Helmus-Schuddebeurs (Delphy Improvement Center)

Leliebroei op weg naar fossielvrij:

Voorbroei onder LED

Juli 2020

S.W. Hogewoning¹, A. Krause¹, S.A.J. van den Boogaart¹, G. Sam-Sin¹, B.J. Kok² & L. Helmus-Schuddebeurs²

¹Plant Lighting B.V.

Veilingweg 46

3981 PC Bunnik

info@plantlighting.nl

www.plantlighting.nl

²Delphy Improvement Center

Violierenweg 4

2665 MV Bleiswijk

REFERAAT

S.W. Hogewoning, A. Krause, S.A.J. van den Boogaart, G. Sam-Sin, B.J. Kok & L. Helmus-Schuddebeurs. 2020. Leliebroei op weg naar fossielvrij: Voorbroei onder LED. Plant Lighting B.V., Bunnik. 41p.

Projectnummer: 20123



Ministerie van Landbouw,
Natuur en Voedselkwaliteit



**Glastuinbouw
Nederland**
morgen groeit vandaag



Gewascoöperatie **Lelie**

© 2020 Plant Lighting B.V.

Dit rapport is tot stand gekomen in samenwerking met het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en Glastuinbouw Nederland in het kader van het programma Kas als Energiebron, ter stimulering van energiebesparende maatregelen in de tuinbouw. Het onderzoek is mede mogelijk gemaakt door bijdragen vanuit de gewascoöperatie lelie. De resultaten mogen vrij gebruikt worden, mits de bronnen worden vermeld.

Plant Lighting B.V. is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen als gevolg van gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Inhoudsopgave

REFERAAT.....	3
SAMENVATTING.....	5
DANKWOORD.....	7
1 INLEIDING	8
1.1 Kader onderzoek.....	8
1.2 Probleemstelling.....	8
1.3 Onderzoeksvragen	10
2 MATERIAAL EN METHODEN.....	11
2.1 Plantmateriaal en tijdlijn proef	11
2.2 Klimaat koelcel voortrek.....	12
2.3 Klimaat, belichting en teelt tijdens voorbroei in klimaatcel	13
2.4 Klimaat, belichting en teelt tijdens afbroei in de proefkas.....	16
2.5 Metingen en analyse.....	19
3 RESULTATEN EN DISCUSSIE	20
3.1 Effect belichting tijdens de voorbroei	20
3.2 Effect belichting tijdens voorbroei op afbroei-fase	21
4 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN.....	31
REFERENTIES.....	33
BIJLAGE 1: LENGTE EN LICHTONDSCHIEPING TIJDENS DE VOORBROEI.....	34
BIJLAGE 2: EFFECT BELICHTING TIJDENS VOORBROEI OP EINDKWALITEIT NA DE AFBROEI-FASE.....	37

Samenvatting

Doelstelling en onderzoeksvragen

Voor een energetisch efficiëntere lelieteelt biedt een aparte voorbroeifase onder LED-belichting kansen. Eerder onderzoek liet zien dat gedurende de eerste kasweken de behoefte aan assimilaten nog laag is. Indien een lage lichtintensiteit gedurende de voorbroeifase voldoende is kan fors worden bespaard op elektra, en bij een meerlagenteelt ook op warmte en op ruimte. Dit onderzoek richt zich op de effecten van lichtintensiteit en lichtspectrum gedurende een daglichtloze voorbroeifase onder LED. De gevolgen voor gewasontwikkeling en de eindkwaliteit na afbroei in de kas zijn onderzocht.

Proefopzet

De lelierassen Tabledance (OT) en Santander (Oriëntal) zijn in vijf opeenvolgende proefronden vorgebroeid onder verschillende belichtingsstrategieën. De proef vond plaats in de periode oktober 2019-april 2020. In iedere proefronde zijn de kisten met lelie eerst enige weken in donker voorgetrokken bij 10-12°C. Vervolgens zijn de kisten in een klimaatkamer van Plant Lighting (18°C) geplaatst waarin zes verschillende lichtbehandelingen per proefronde konden worden aangeboden. Afhankelijk van de ontwikkelingssnelheid van het gewas werden de kisten na 15 tot 25 dagen voorbroei verplaatst naar een proefkas bij Delphy Improvement Centre. Daar werden de lelies bij 18°C verder afgebroeid onder praktijkconforme omstandigheden. Na de voortrek werden ook een aantal kisten direct naar de kas gebracht, zodat die ter controle tegelijk met de lelies in de LED-cel groeiden. Tijdens de voorbroei zijn de volgende behandelingen uitgevoerd:

- Proefronde 1 en 2: effect lichtintensiteit (50 en 100 $\mu\text{mol PAR}$) en verrood licht
- Proefronde 3: effect lichtintensiteit (50 en 100 $\mu\text{mol PAR}$) en intensiteit verrood licht
- Proefronde 4: effect lichtintensiteit (25, 50 en 100 $\mu\text{mol PAR}$)
- Proefronde 5: effect timing en dosis verrood

Resultaten

De lichtintensiteit die benodigd is in de voorbroeifase blijkt zeer beperkt: slechts 25 $\mu\text{mol PAR}$ aangevuld met 6 μmol verrood licht bleek voldoende en gaf eenzelfde eindresultaat als 50 of 100 $\mu\text{mol PAR}$ aangevuld met 6 μmol verrood. Verrood licht in de voorbroei bleek cruciaal voor behoud van een trekduur vergelijkbaar met de controle (direct na voortrek in de kas). Zonder verrood trad forse vertraging op (tot 10 dagen!), meer taklengte, en ook meer takgewicht. Hoewel de vertraging in de meeste gevallen onwenselijk zal zijn, kan de mogelijkheid om hierop te kunnen sturen in bepaalde gevallen wellicht een voordeel bieden. Bij rassen die te kort blijven, of in warme periodes waarin takken te kort en te licht zijn, is voorbroei onder een spectrum zonder verrood wellicht aantrekkelijk. Om geen snelheid te verliezen blijkt 6 μmol verrood benodigd tijdens de voorbroei. Minder verrood (3 μmol) resulteerde duidelijk in vertraging en meer lengte. Meer verrood (12 μmol) gaf geen duidelijke meetbare versnelling. Ook de gelijkmatigheid van afrijping is een belangrijke factor. Er viel

geen duidelijke trend te ontdekken in het effect van de dosis verrood op de periode waarin 90% van de takken geoogst is, maar voor een nauwkeurige bepaling hiervan geldt dat deze proefopzet klein is. Verrood licht slechts halve dagen aan zetten bleek teeltvertraging op te leveren en heeft daardoor geen praktische toepassing.

Bj de resultaten dient opgemerkt te worden dat proef is uitgevoerd met twee rassen. De verwachting is dat de proefresultaten ook van toepassing zijn op andere rassen van het Oriëntal-type, maar dit is natuurlijk niet zeker. Verder is het belangrijk om te bedenken dat de lage lichtintensiteit vanaf een zeker ontwikkelingsstadium niet meer zal voldoen om een goede kwaliteit lelie te kunnen broeien. De voorbroei mag dus niet te lang duren.

Conclusie

De hoofdconclusie is dat een energiezuinige voorbroei onder LED zonder kwaliteitsverlies mogelijk is. De lage benodigde lichtintensiteit maakt een aparte voorbroeifase naar alle waarschijnlijkheid praktisch goed haalbaar: de investeringen in belichtingsarmaturen en elektraverbruik blijven zo beperkt. Toepassing kan op meerdere manieren: van een geautomatiseerd meerlagensysteem tot een apart schakelbare belichting voor de eerste teeltweken in de kas.

Dankwoord

Dit rapport geeft de resultaten weer van een onderzoek naar de effecten van verschillende strategieën LED-belichting gedurende de eerste weken van de leliebroei. Het onderzoek vond gedurende 5 proefronden plaats in klimaatcellen van Plant Lighting (voorbroeï onder LED-belichting) en in een proefkas van Delphy Improvement Centre (afbroei). Dit onderzoek is ondersteund door het programma 'Kas als Energiebron', gefinancierd door het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en Glastuinbouw Nederland, en door de gewascoöperatie lelie.

We willen een aantal personen nog met name hartelijk bedanken voor hun bijdrage in de BCO: De leliekwekers Fokke Galema & Dirk van Uden (Kwekerij Bakker), Kees van Paridon (Paauw Lilies), Andre Imanse (Imanse Quality Lilies) en potleliekweker Peter van de Wetering (Wetering Potlilium BV). Edwin van Geest (Glastuinbouw Nederland) wordt bedankt voor het coördineren van de BCO's. Onderzoekspartner Delphy Improvement Centre wordt bedankt voor de prettige samenwerking. Als laatste willen we de onderzoekscoördinatoren Dennis Medema en Leo Oprel van het programma Kas als Energiebron bedanken voor hun steun bij de totstandkoming en uitvoering van dit project.

Juli 2020,

Sander Hogewoning

1 Inleiding

1.1 Kader onderzoek

Voor de glastuinbouw is het een beleidsdoel om gebruik van fossiele energie te reduceren tot uiteindelijk nul. Dus ook de lelieteelt zal in de toekomst fossielvrij moeten worden. Om dit te bereiken en toch rendabel jaarrond te kunnen blijven telen zal aan een aantal uitdagingen het hoofd moeten worden geboden.

Ten eerste moet er worden belicht op een manier die zo min mogelijk elektra kost. Daarom moet in eerste instantie het daglicht optimaal worden benut en moet niet meer belicht worden dan nodig is. Daarnaast moet worden belicht met zo efficiënt mogelijke armaturen. LED biedt hier een goede mogelijkheden toe, immers, de meest efficiënte LED-armaturen zijn nu al meer dan tweemaal zo efficiënt als verouderde SON-T lampen, en tot 78 % efficiënter dan moderne 1000W SON-T lampen. Dit voor wat betreft de output in $\mu\text{mol PAR}$ per Watt energie input, rekenend met 1.85 $\mu\text{mol/Watt}$ voor moderne SON-T en 3.3 $\mu\text{mol/Watt}$ voor LED.

De tweede grote uitdaging is invulling van de warmtevraag. LED-belichting brengt minder warmte in de kas dan SON-T gedurende de uren dat de lampen aan staan (in de nacht maakt het niets uit). Dat is geen argument om dan maar minder efficiënte belichting te gebruiken, want het inzetten van lampen als warmtebron is zeer inefficiënt vergeleken met de inzet van een warmtepomp in combinatie met warmte-koude opslag. Er is dus een nieuwe klimaatstrategie nodig. In eerste instantie moet zo min mogelijk warmte verloren gaan. Dus de kas zo goed mogelijk isoleren met moderne schermdoeken. Een volledig gesloten scherm geeft een noodzaak tot actieve ontvochtiging. Het voordeel daarvan is dat de latente warmte uit het vocht kan worden teruggewonnen door met behulp van een warmtepomp een warmtebuffer op te warmen om de kas weer te verwarmen. Doordat dan minder gelucht hoeft te worden, wordt CO_2 beter benut.

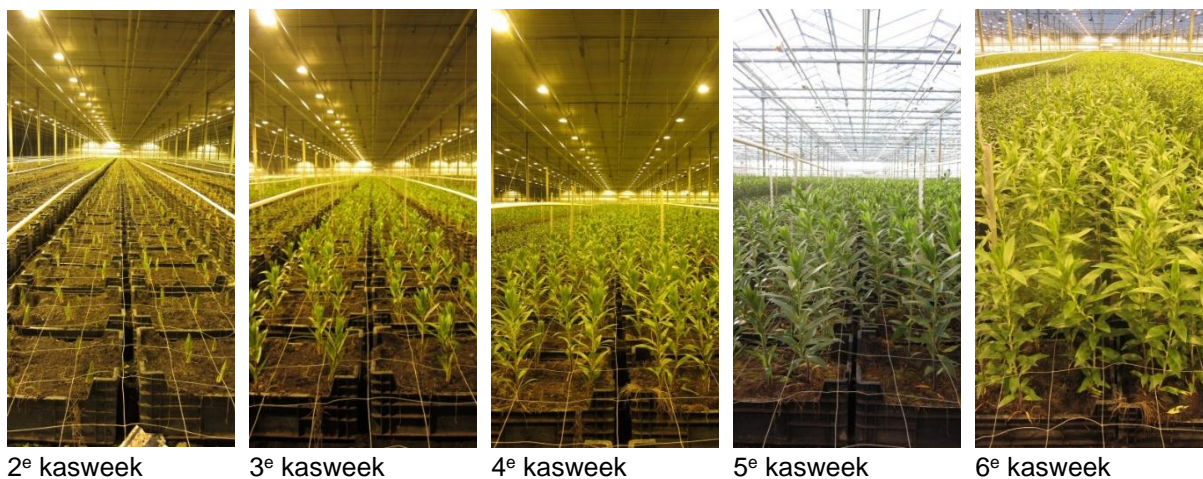
Het hierboven geschetste beeld vraagt een ingrijpende omslag in de leliebroeierij. Een stapsgewijze vermindering van de behoefte aan gas en overstap op efficiëntere belichting is daarom wenselijk voor de sector. Juist voor de lelie-broeierij zijn er kansrijke aanknopingspunten om stappen te kunnen maken. Die worden hieronder verder toegelicht.

1.2 Probleemstelling

In de lelieteelt is gedurende de eerste kasweken de licht- en warmtebenutting erg inefficiënt. Er is nog weinig bladoppervlakte, waardoor vooral de grond belicht wordt en een groot kasvolume verwarmd moet worden zonder dat er veel gewas in staat. Door deze inefficiënte teeltfase in de kas te vervangen voor een meer efficiënte 'voorbroeifase' kan al een flinke stap in de richting van een fossielvrije teelt worden gezet. Deze voorbroeifase kan in een aparte kasafdeling (al dan niet meerlaags) of in een daglichtloos meerlagensysteem. Hierdoor wordt de teeltduur in de kas verkort. Hieronder volgt de onderbouwing achter deze gedachte:

Bij teelt in kisten is de assimilatenbehoefte laag gedurende de eerste 4 weken na plaatsing van

de kisten in de kas, volgend op de voortrek die nu al plaatsvindt in een koelcel. Dit bleek uit het onderzoek “Belichten naar gewasbehoefte: Een voorstudie met lelie als proefgewas” (Hogewoning et al. 2016; zie Figuur 1). Het bleek dat pas in de vijfde kasweek een toename in totale biomassa (bol+tak) plaatsvindt. Dit maakt het interessant om de eerste 3 à 4 weken na voorbroei de kisten in een apart compartiment of in een meerlaags systeem onder LED-belichting te broeien. Daarna worden de lelies te lang en neemt de assimilatenbehoefte snel toe, dus moeten ze naar hun eindpositie in de kas. De benodigde lichtintensiteit is in de eerste 3 à 4 weken naar verwachting beperkt. Daardoor is het energieverbruik voor de lampen relatief laag. Verder verdampt het gewas nog weinig. Daarom zal geen gas nodig zijn voor verwarming in een meerlagensysteem (lampen produceren voldoende warmte), en slechts beperkt in geval van voorbroei in een apart kascompartiment (weinig luchting nodig om te ontvochtigen). Een overschot aan warmte moet worden weggekoeld en kan in de winter hergebruikt worden voor verwarming van de kas. Met een meerlagensysteem kan in een bestaande kas ~30% meer geproduceerd worden en hoeft dus veel minder oppervlakte verwarmd te worden voor eenzelfde productie. Bij een gemiddeld huidig verbruik van 33 m³ aardgas per m² per jaar voor verwarming (KWIN 2016-2017) kan dan een orde van grootte van ruim 10 m³ gas per m² per jaar bespaard worden.



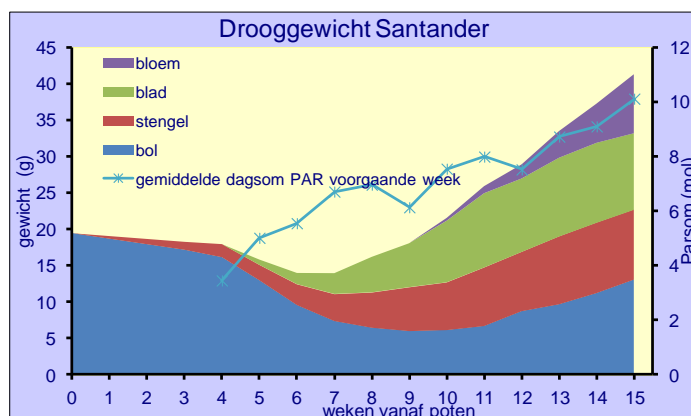
2^e kasweek

3^e kasweek

4^e kasweek

5^e kasweek

6^e kasweek



Figuur 1: Boven: Ontwikkeling lelie ‘Santander’ gedurende de eerste 6 weken in de kas. De eerste weken worden ruimte en licht nog niet goed benut. Beneden: Verloop drooggewicht gedurende de gehele broei. De kisten zijn 3 weken na poten in de kas gezet. Pas na 7 à 8 weken na poten van de bollen (=4 à 5 weken in de kas) nam het drooggewicht van de gehele plant weer toe. Bron: Hogewoning et al. 2016.

De uitdaging in een voorbroeifase met LED-belichting, en bij LED-belichting in het algemeen, is te sturen op voldoende bloeisnelheid, beperking van stengelstrekking en voldoende bladspreading. Dit vergt gericht plantfysiologisch onderzoek. Lelie is een zogenaamde ‘kwantitatieve lange dag plant’ en daarom wat betreft bloei gevoelig voor de belichtingsstrategie: zowel lichtspectrum als daglengte sturen de bloeisnelheid. Het effect van lichtspectrum op bloeisnelheid (trekduur) kwam ook duidelijk naar voren in een eerder onderzoek, waarbij vooral lelies van het Oriëntal-type sterk op lichtspectrum reageerden (Hogewoning et al, 2014). Te veel stengelstrekking is onpraktisch en onwenselijk in een meerlagensysteem of apart kascompartiment. En bovendien is meer stengellengte dan benodigd verspilling van assimilaten. Een goede bladspreading is belangrijk om het licht goed te kunnen benutten, en tevens voor voldoende calcium-transport benodigd voor voldoende stevige cellen. Al deze aspecten zijn beïnvloedbaar met licht. Kennisontwikkeling hierover is de eerste benodigde stap om naar een fossielvrije leliebroei toe te werken.

1.3 Onderzoeksvragen

De plantfysiologische onderzoeksvraag is wat het effect op de ontwikkeling van lelie is van verschillende belichtingsstrategieën gedurende een voorbroeifase van een aantal weken onder LED. Daartoe zijn 5 proefronden uitgevoerd waarin behandelingen gedurende de voorbroeifase in een klimaatcel zijn aangelegd. Die behandelingen verschillen in lichtintensiteit, in lichtspectrum en in de timing van het verrode gedeelte van het lichtspectrum (zie verdere details over de proefopzet in hoofdstuk 2). De aandacht richt zich op effecten van de behandelingen zowel gedurende de voorbroeifase, als aan het einde van de daaropvolgende afbroei in de kas (o.a. trekduur, lengte, takgewicht, bloemknoppen, stevigheid).

Gezocht is naar het minimum aan benodigde lichtintensiteit en verrood stuurlicht. Hoe minder hiervan benodigd is tijdens de voorbroei, hoe eerder een aparte voorbroeifase, al dan niet in meerdere lagen, rendabel wordt. Dit zowel vanuit het oogpunt van investeringen (LED-armaturen, aansluitcapaciteit elektra en koelinstallatie) als operationele kosten (elektra belichting en koeling, onderhoud en vervanging).

2 Materiaal en methoden

2.1 Plantmateriaal en tijdlijn proef

Het onderzoek vond plaats tussen eind september 2019 en april 2020. In die periode is de kasttemperatuur het meest stabiel. Er waren 5 opeenvolgende proefronden. In alle proefronden werden leliebollen geplant in standaard broeikisten (40 x 60cm) met steeds dezelfde verse potgrond ('leliepotgrond' van Van Egmond Potgrond). Per kist werden 10 bollen geplant welke van tevoren werden gewogen en gesorteerd, zodat in iedere kisten vrijwel een gelijk versgewicht aan bollen geplant werd (Tabel 1). De proef is in alle proefronden uitgevoerd met de volgende twee cultivars:

- 'Santander' (Oriëntal; OR), ziftmaat 16-18 (herkomst bollen Chili).
- 'Table Dance' (hybride van Oriëntal en Trompet; OT), ziftmaat 17-18 (herkomst bollen N-Zeeland).

De volgende fases vonden plaats (zie schema in Tabel 2):

1. Koelcel. De lelies werden gedurende een aantal weken beworteld in een daglichtloze koelcel bij Imanse Quality Lilies.
2. Voorbroei. Vanaf het punt dat de scheuten net wel, of nog net niet boven de grond uit kwamen, werden de kisten in zes klimaatcabines bij Plant Lighting te Bunnik geplaatst. Alle zes de klimaatcabines waren gesitueerd in één klimaatcel. De opzet was zo dat gevarieerd kon worden in belichting tussen de zes cabines, terwijl de overige omstandigheden (temperatuur, RV, CO₂ en luchtbeweging) gelijk bleven. Per cabines was ruimte voor 8 kisten (4 per cultivar). Controleplanten werden direct in de kas geplaatst (8 kisten per cultivar).
3. Afbroei. Na ±3 weken voorbroei onder LED-belichting werden de kisten vervoerd naar een proefkas van Delphy Improvement Centre te Bleiswijk en bij de controleplanten geplaatst. Hier werden de lelies verder afgebroeid tot oogst.

Tabel 1. Bolgewicht per kist (10 bollen) voor de verschillende plantingen. Bij de 4^e en 5^e planting was de partij bollen minder homogeen voor respectievelijk Tabledance en Santander, en daarom is voor twee herhaling een ander bolgewicht afgewogen dna voor de andere twee herhalingen per behandeling.

Plantgewicht van 10 bollen	Tabledance		Santander	
	A en B	C en D	A en B	C en D
Herhaling				
1 ^e planting	780-790 g	780-790 g	570-580 g	570-580 g
2 ^e planting	780-790 g	780-790 g	570-580 g	570-580 g
3 ^e planting	780-790 g	780-790 g	570-580 g	570-580 g
4 ^e planting	780-790 g	780-790 g	830-840 g	640-645 g
5 ^e planting	800-810 g	770-780 g	770-780 g	770-780 g

Tabel 2. Proefschema met de uitgevoerde handelingen per proefronde.

Cultivar	Aantal dagen ontdooien	Aantal dagen voortrek (10- 12°C donker)	Aantal dagen voorbroei (18°C LED)	Plantdatum LED-cel	Plantdatum Kas
Planting 1					
Tabledance	5	20	25	30-09-2019	25-10-2019
Santander	12	20	25	30-09-2019	25-10-2019
Planting 2					
Tabledance	6	16*	20	31-10-2019*	20-11-2019
Santander	6	15*	20	31-10-2019*	20-11-2019
Planting 3					
Tabledance	6	14	18	28-11-2019	16-12-2019
Santander	6	14	25	28-11-2019	23-12-2019
Planting 4					
Tabledance	6	14	18	30-12-2019	17-01-2020
Santander	7	18	18	30-12-2019	17-01-2020
Planting 5					
Tabledance	4	14	15	30-01-2020	14-02-2020
Santander	4	18	15	30-01-2020	14-02-2020

*)Bij proefronde 2 zijn de kisten na 9 dagen in de voortrek-cel gedurende 6 dagen (25 tot 31 oktober) in donker in de LED-cel geplaatst bij 14.5°C vanwege een nog te premature ontwikkeling. Op 31 oktober is het licht aangegaan en de temperatuur verhoogd naar 18°C. Die periode van 6 dagen wordt als voortrek gerekend in de tabel.

2.2 Klimaat koelcel voortrek

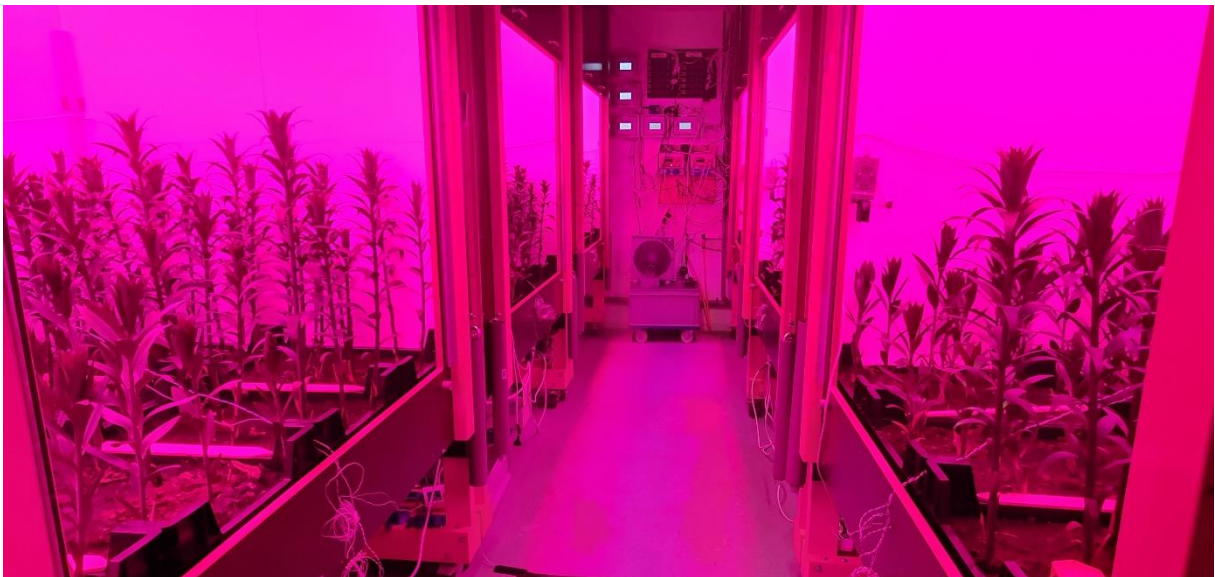
In de koelcel bij Imanse Quality Lilies waar de lelies werden beworteld was de temperatuur 10 tot 12°C en de RV 95%. De planten stonden in donker gedurende deze fase.

2.3 Klimaat, belichting en teelt tijdens voorbroei in klimaatcel

Voor een indruk van de voorbroei in de zes klimaatcabines in een klimaatcel van Plant Lighting te Bunnik: zie foto Figuur 2 onder. De volgende klimaatcondities werden gehanteerd tijdens de voorbroeifase:

- Temperatuur 18°C gemiddeld per etmaal (overdag iets warmer dan 's nachts).
- RV 75% (dag) en 90% (nacht)
- CO₂ 800 ppm overdag nadat scheuten boven de grond uitkwamen
- Belichtingsduur 18 uur

Watergift naar behoefte met kraanwater zonder bemesting (EC ~0.33).



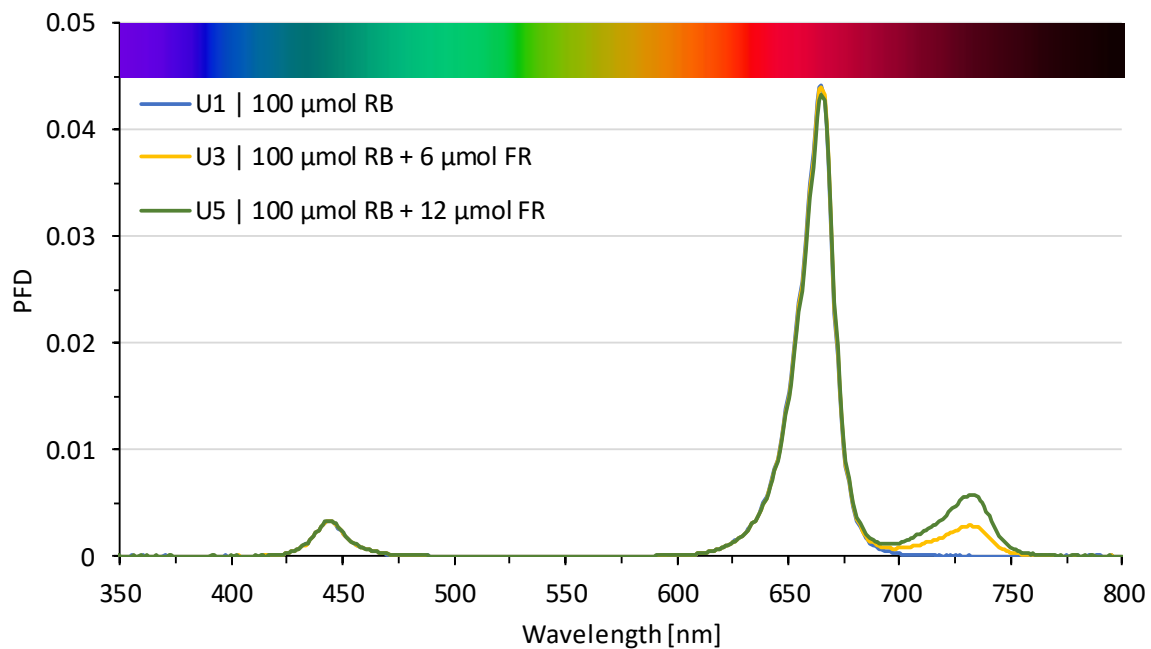
Figuur 2. Voorbroei in zes klimaatcabines bij Plant Lighting te Bunnik. Er kan worden gevarieerd in belichting tussen de zes cabines, terwijl de overige klimaatsomstandigheden gelijk bleven.

De belichting verschilde per klimaat-cabine en per proefronde. Verschillende intensiteiten en lichtspectra zijn getoetst, waarbij steeds gebruik gemaakt is van verschillende combinaties blauw (450 nm), rood (660 nm), en verrood (730 nm) LED-licht (zie voorbeeld van de lichtspectra in Figuur 3). Per proefronde was de aandacht gevestigd op:

- Proefronde 1 en 2: Effect lichtintensiteit (50 vs. 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR) en effect verrood (geen verrood, lage intensiteit verrood en hogere intensiteit verrood).
- Proefronde 3: Effect lichtintensiteit (50 vs. 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR) en intensiteit verrood.
- Proefronde 4: Effect lichtintensiteit (25, 50 en 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR) bij vaste intensiteit blauw en verrood.
- Proefronde 5: Effect timing verrood (ochtend, middag, hele dag) en intensiteit verrood (6 vs. 12 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$).

Met deze aanpak kunnen veel verschillende varianten in belichtingsstrategie in korte tijd worden getoetst. In de behandelingen waarin verrood LED-licht is ingezet, is het verrode gedeelte van het spectrum (>700 nm) niet meegeteld in de intensiteit PAR (400- 700 nm).

Details over de lichtbehandelingen voor alle vijf de proefronden staan schematisch weergegeven in Tabel 3 op de volgende pagina. Een verdere onderbouwing van de keuze voor de specifieke behandelingen per proefbehandeling wordt gegeven bij de resultaten in hoofdstuk 3.



Figuur 3. Combinaties van blauw (450 nm), rood (660 nm), en verrood (730 nm) LED-licht zijn gebruikt om de verschillende lichtintensiteiten in lichtspectra samen te stellen in de voorbroei tijdens de 5 proefronden. Dit voorbeeld betreft 3 klimaat-cabines in proefronde 1.

Tabel 3. Details belichting in de voorbroei per proefronde. PAR is photosynthetically active radiation: het fotosynthetisch actieve golflengtegebied van 400 tot 700 nm. PFD is photon flux density, het golflengtegebied inclusief het gedeelte >700 nm (verrood). PAR en PFD zijn beide uitgedrukt in $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. De belichting was altijd gedurende 18 uur per dag aan, behalve het verrode gedeelte van het spectrum in proefronde 5. Fr = 6% verrood, Fr⁺ = 12% verrood en Fr⁺⁺ = 24% verrood.

Proefronde 1 en 2:

Behandeling	PAR [$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$]	PFD [$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$]	Rood [$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$]	Blauw [$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$]	Verrood [$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$]	PSS
LED R/B	50	50	47	3	0	0.88
LED R/B	100	100	94	6	0	0.88
LED R/B/Fr	50	53	47	3	3	0.87
LED R/B/Fr	100	106	94	6	6	0.87
LED R/B/Fr ⁺	50	56	47	3	6	0.86
LED R/B/Fr ⁺	100	112	94	6	12	0.86

Proefronde 3:

Behandeling	PAR [$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$]	PFD [$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$]	Rood [$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$]	Blauw [$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$]	Verrood [$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$]	PSS
LED R/B/Fr	50	53	47	3	3	0.87
LED R/B/Fr	100	106	94	6	6	0.87
LED R/B/Fr ⁺	50	56	47	3	6	0.86
LED R/B/Fr ⁺	100	112	94	6	12	0.86
LED R/B/Fr ⁺⁺	50	62	47	3	12	0.83
LED R/B/Fr ⁺⁺	100	124	94	6	24	0.83

Proefronde 4:

Behandeling	PAR [$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$]	PFD [$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$]	Rood [$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$]	Blauw [$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$]	Verrood [$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$]	PSS
LED R/B/Fr	100	106	94	6	6	0.87
LED R/B/Fr	100	106	94	6	6	0.87
LED R/B/Fr ⁺	50	56	44	6	6	0.85
LED R/B/Fr ⁺	50	56	44	6	6	0.85
LED R/B/Fr ⁺⁺	25	31	19	6	6	0.82
LED R/B/Fr ⁺⁺	25	31	19	6	6	0.82

Proefronde 5:

Behandeling	PAR	PFD [$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$]	Rood [$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$]	Blauw [$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$]	Verrood [$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$]	PSS
LED R/B/Fr ⁺ 0-18h	50	56	44	6	6	0.85
LED R/B/Fr ⁺ 0-9h	50	56	44	6	6	0.85
LED R/B/Fr ⁺ 9-18h	50	56	44	6	6	0.85
LED R/B/Fr ⁺⁺ 0-18h	50	62	44	6	12	0.83
LED R/B/Fr ⁺⁺ 0-9h	50	62	44	6	12	0.83
LED R/B/Fr ⁺⁺ 9-18h	50	62	44	6	12	0.83

2.4 Klimaat, belichting en teelt tijdens afbroei in de proefkas

De controle-planten werden direct na de koelcel-fase naar de proefkas bij Delphy Improvement Centre te Bleiswijk gebracht. Aan het einde van de voorbroei werden de kisten uit de voorbroei van Plant Lighting naar de proefkas getransporteerd en bij de controle planten gezet. Vervolgens werd er een gaasnet getrokken ter ondersteuning van de takken.

De proefkas heeft een teeltoppervlakte van 120m² netto. Per proefronde werd per cultivar een teeltbed van twee kisten naast elkaar in de lengterichting (2* 40=80 cm breed) gemaakt. Omdat de voorbroei veel korter duurde dan de afbroei, moest ruimte overgelaten worden in de kas voor volgende proefronden. Hierdoor was aan het begin van de proef een groot gedeelte van de kas leeg, later in de proef was de kas grotendeels gevuld, en tegen het einde van de proef kwam weer een toenemend gedeelte leeg te staan (Foto 2).

Tijdens de teelt werd gegoten met een EC van 1.5 mS/cm (Yara Substrafeed A1 voeding).



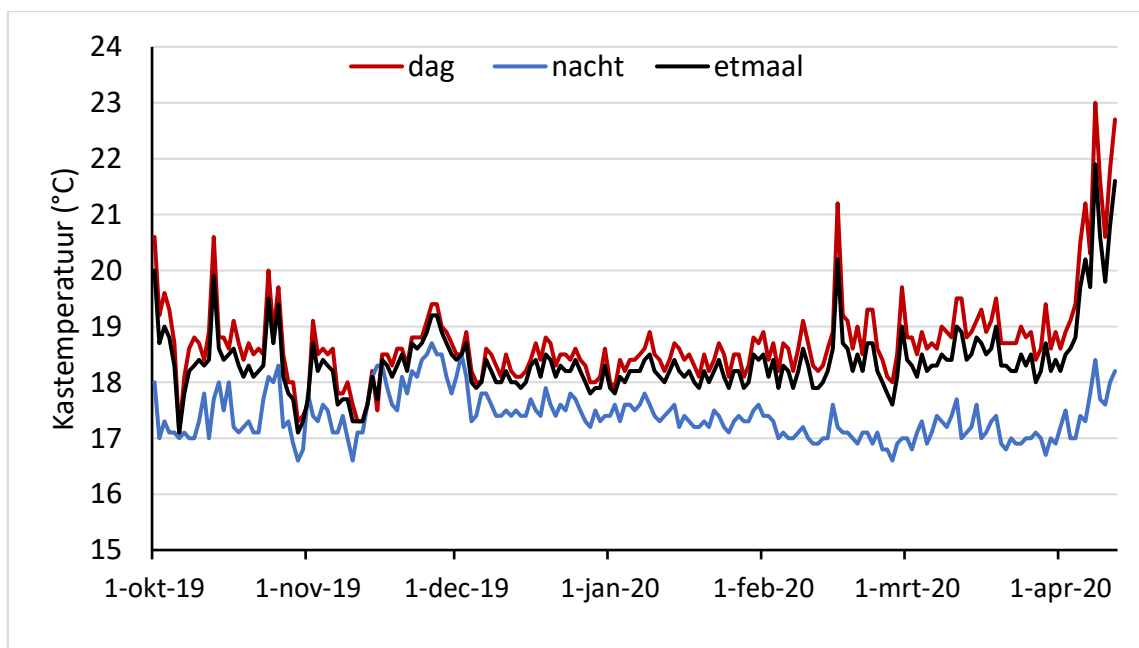
Figuur 4. Proefkas Delphy Improvement Centre waar de afbroei plaatsvond. Per proefronde werden er teeltbedden bijgemaakt, waardoor de kas steeds voller kwam te staan, en tegen het einde van de proef weer minder vol.

De volgende klimaatcondities werden gehanteerd tijdens de afbroei:

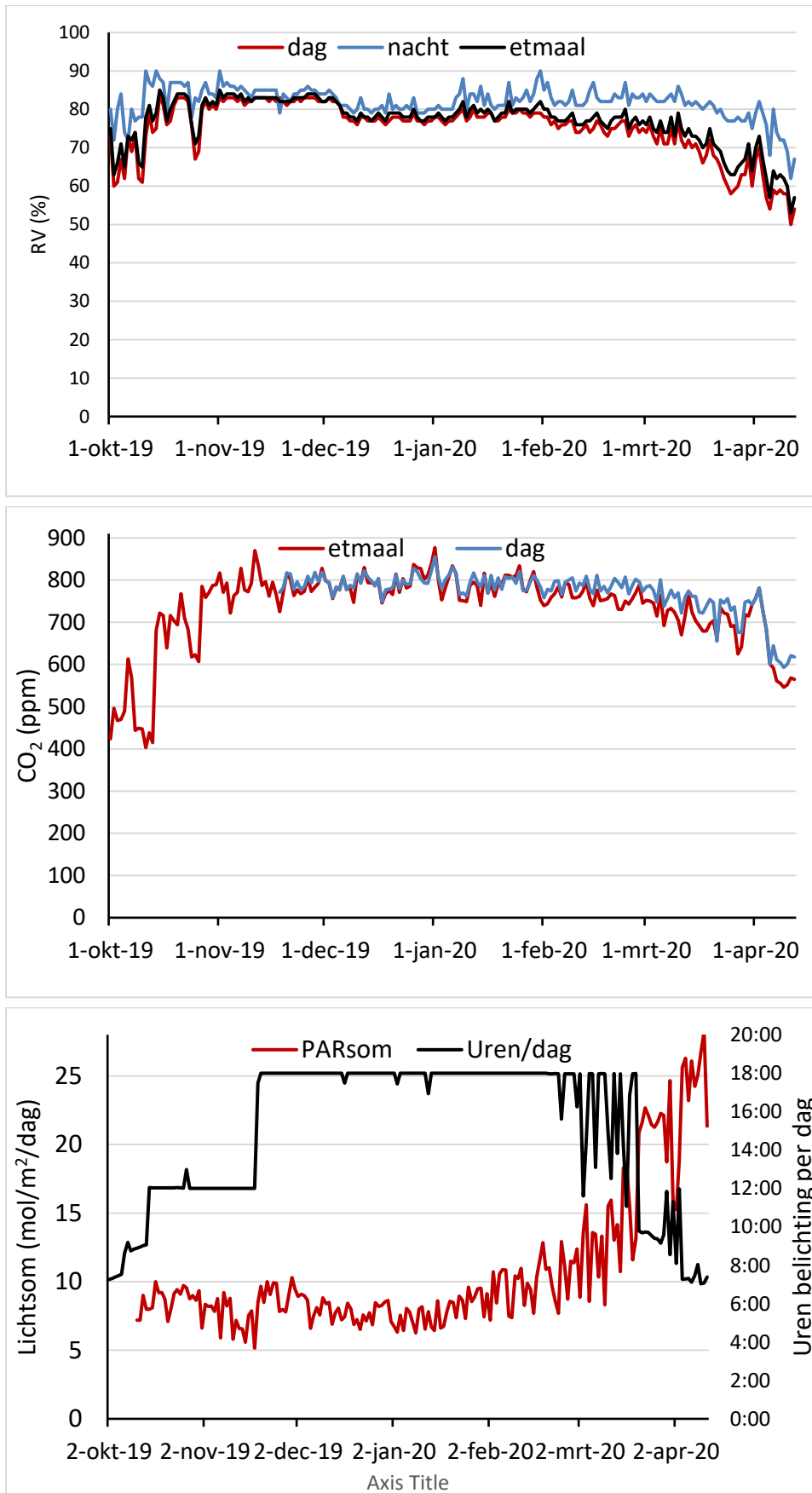
- Temperatuur streven 18°C gemiddeld per etmaal, net als in de voorbroei
- RV 75% (dag) en 85-90% (nacht)
- CO₂ 800 ppm overdag
- Belichtingsduur met 90 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ SON-T tot maximaal 18 uur (00:00 tot 18:00 uur).

De lampen werden afgeschakeld bij een instraling $>350\text{W}/\text{m}^2$ en weer aangeschakeld bij $200\text{W}/\text{m}^2$. PAR werd gelogd met een PAR-sensor in de kas (Apogee full spectrum). Het verduisteringsdoek (Obscura 9950) werd gesloten in de (belichte) nacht. Er werd verneveld indien nodig.

In onderstaande figuren/tabellen staat het gerealiseerde klimaat (PAR-som, temperatuur, RV, CO₂) weergegeven. Hieruit blijkt dat gewenste temperatuur en de overige klimaat-settings goed gehaald werden tot aan eind maart 2020. Daarna loopt als gevolg van de buitenomstandigheden de kastemperatuur op en nemen RV en CO₂ in de kas af.



Figuur 5. Kastemperatuur in de proefkas van Delphy Improvement Centre in Bleiswijk gedurende de 5 proefronden afbroei (zie tijdslijn in Tabel 2).



Figuur 6. RV (boven), CO₂ (midden), lichtsom en belichtingsuren (onder) in de proefkas van Delphy Improvement Centre in Bleiswijk gedurende de 5 proefronden afbroei (zie tijdlijn in Tabel 2).

2.5 Metingen en analyse

Aan het einde van de voorbroei onder LED-belichting in de klimaat-cabines is van iedere tak de lengte gemeten. Verder is de lichtonderschepping door het gewas gemeten met een LI-191R line-quantumsensor (LI-COR), door de lichtintensiteit boven het gewas en onder onderste bladeren te meten.

Uitgebreidere metingen zijn verricht aan het einde van de afbroei. Iedere tak is geoogst in een gelijk rijpheidsstadium met de onderste bloemknop volledig op kleur. Dat waren 40 takken per cultivar per behandeling (80 takken voor de controle). De volgende gegevens zijn verzameld en metingen zijn gedaan:

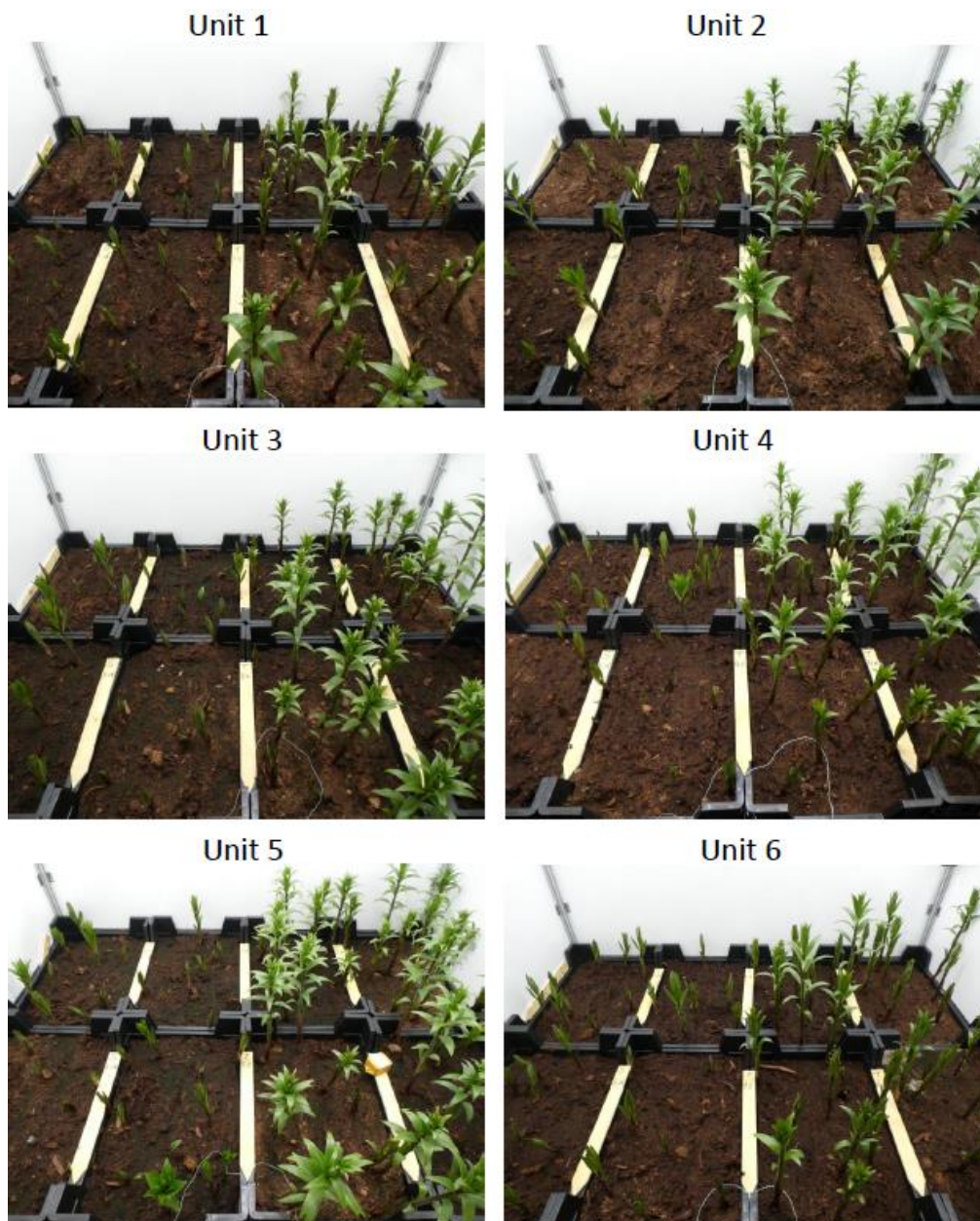
- Vanuit de oogstdatum is de trekduur terug te rekenen
- Taklengte
- Takgewicht (vers)
- Takgewicht (droog) door 2 takken per kist per ras per behandeling te drogen in een droogstoof.
- Stevigheid (berekende waarde: gewicht per lengte-eenheid)
- Aantal knoppen
- Koplengte (alle knoppen???)
- Aantal verdroogde knoppen
- Aantal misvormde knoppen
- Kransbloei (ongewenste bloeiwijze waarbij meerdere knoppen vanuit één punt groeien)

Voor de statistische analyse is de gemiddelde waarde over de 10 takken per kist als experimentele eenheid beschouwd, waardoor er 4 herhalingen zijn (N=4). De resultaten zijn getoetst op significante verschillen ($\alpha=0.05$) met een one-way ANOVA met Tukey HSD.

3 Resultaten en discussie

3.1 Effect belichting tijdens de voorbroei

Aan het einde van de voorbroei onder LED zijn de taklengte en de lichtonderschepping van het gewas gemeten (Figuur 14 in Bijlage 1). De variatie in taklengte was binnen eenzelfde behandeling al groot, en er is geen duidelijk behandelingseffect te zien. Lichtonderschepping lijkt iets lager te zijn bij de behandelingen zonder verrood licht (proefronde 1 en 2) of met verrood licht slechts de helft van de dag aan (proefronde 5). Dit komt overeen met de visuele observatie dat de bladeren minder snel spreiden bij deze behandelingen (zie Foto onder).



Figuur 7. Proefronde 1 na 15 dagen in de voorbroei onder verschillende lichtintensiteiten en lichtspectra. Per behandeling: links 4 kisten Santander en rechts 4 kisten Tabledance. Behandeling 1 en 6 zijn de lichtspectra zonder verrood, waarbij de bladeren duidelijk minder goed zijn gespreid.

3.2 Effect belichting tijdens voorbroei op afbroei-fase

De effecten van de verschillende behandelingen tijdens de voortrek op de uiteindelijke trekduur en oogstperiode (90% van de geoogste takken), de taklengte, het takgewicht, en de stevigheid (gram versgewicht per eenheid taklengte) staan weergegeven in grafieken in de Figuren 8-13 voor respectievelijk proefronde 1-5. In bijlage 2 staan tabellen met daarin per proefronde ook de aanvullende meetresultaten (percentage drooggewicht tak, aantal knoppen per tak, knoplengte en percentage takken met kransbloei) en aanduiding significantie ($p < 0.05$).

3.2.1 Proefronde 1 en 2

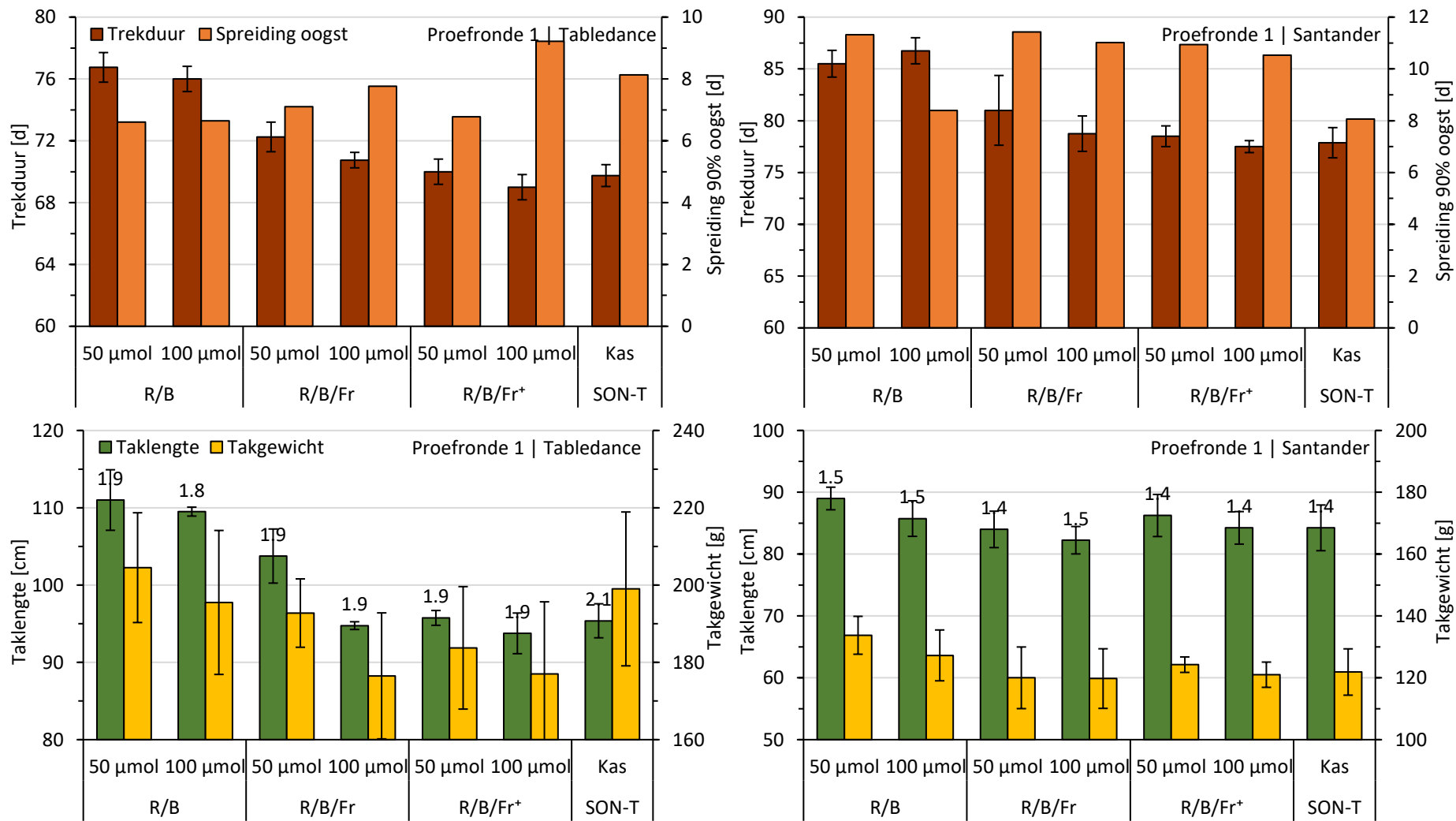
In proefronde 1 en 2 zijn dezelfde behandelingen getoetst, waarbij de aandacht uitging naar het effect van verrood licht en lichtintensiteit in de voorbroei (Figuur 8-9). In proefronde 2 zijn de resultaten niet weergegeven voor de controle. Dit vanwege het feit dat in proefronde 2 de controle in de kas zes dagen eerder werd belicht dan de voorbroei-behandelingen onder LED.

Een zeer opvallend resultaat is de langere trekduur in de behandelingen voorgebroeid onder een LED-spectrum zonder verrood licht (alleen rood en blauw). In proefronde 1 heeft 25 dagen voorbroei zonder verrood licht geresulteerd in een week (Tabledance) tot zelfs 9 dagen (Santander) langere trekduur ten opzichte van de snellere behandelingen met verrood en de controle die direct na de voortrek in de kas geplaatst was (Figuur 8 en Bijlage 2). Toevoeging van slechts 3 μmol verrood aan het rood/blauwe spectrum gaf ook enige vertraging, en vanaf 6 μmol verrood was de trekduur niet significant verschillend van de controle. Proefronde 2 liet een vergelijkbaar beeld zien.

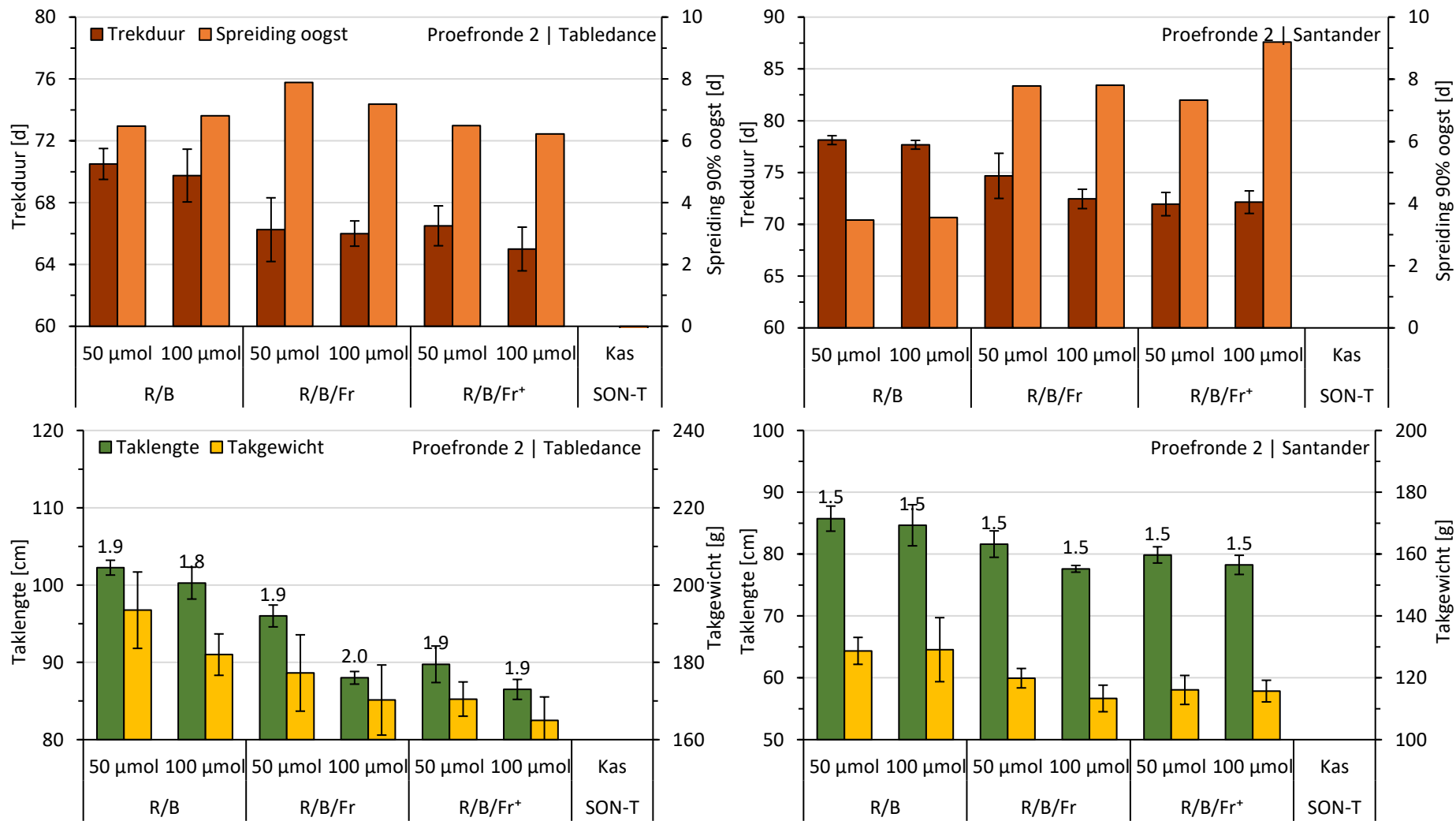
De takken waren ook opvallend, en behalve bij Santander in proefronde 1, ook significant langer in de behandelingen zonder verrood. Waarschijnlijk komt dit door de langere teeltduur. Want in het algemeen stimuleert verrood licht juist strekking van gewassen. Tabledance reageerde met een toename in taklengte van 15 cm in dit opzicht sterker dan Santander. De behandeling met de laagste intensiteit verrood (3 μmol) resulteerde ook in langere takken (+8 cm). Tussen de behandeling met 6 of meer μmol verrood en de controle waren de behandelingsverschillen niet significant verschillend.

Het takgewicht was, beide rassen en proefronden wegende, hoger voor de behandelingen zonder verrood (in proefronde 2 ook significant hoger). Dit is op zich niet verbazend gezien de langere trekduur en dus ook hogere totale assimilatiesom over de gehele teelt. Het percentage drooggewicht was zeker niet lager in die behandelingen (tabel in Bijlage 2). Ondanks de tragere teelt bij voorbroei zonder verrood, kan sturen op langere en zwaardere takken in bepaalde gevallen wellicht gunstig toch zijn. Er is geen trend waargenomen dat een hogere lichtintensiteit in de voorbroei (100 t.o.v. 50 μmol) uiteindelijk tot meer takgewicht leidt. Het gewicht per cm was alleen bij Tabledance in proefronde 1 het hoogst bij de controle. Dit lijkt een uitzondering, ook gezien de latere proefronden.

Tussen de behandelingen zijn verder geen opvallende patronen waargenomen in aantal knoppen, knoplengte en het optreden van kransbloei.



Figuur 8. Trekkduur en aantal dagen waarin 90% is geoogst (bovenste grafieken), en taklengte, takgewicht en het aantal grammen per lengte-eenheid (getal boven de taklengte) (onderste grafieken) van proefronde 1. Waarbij Tabledance aan de linkerzijde staat weergegeven en Santander aan de rechterzijde. De error-bars geven de SD weer, n = 4.



Figuur 9. Trekduur en aantal dagen waarin 90% is geoogst (bovenste grafieken), en taklengte, takgewicht en het aantal grammen per lengte-eenheid (getal boven de taklengte) (onderste grafieken) van proefronde 2. Waarbij Tabledance aan de linkerzijde staat weergegeven en Santander aan de rechterzijde. De error-bars geven de SD weer, n = 4.

3.2.2 Proefronde 3

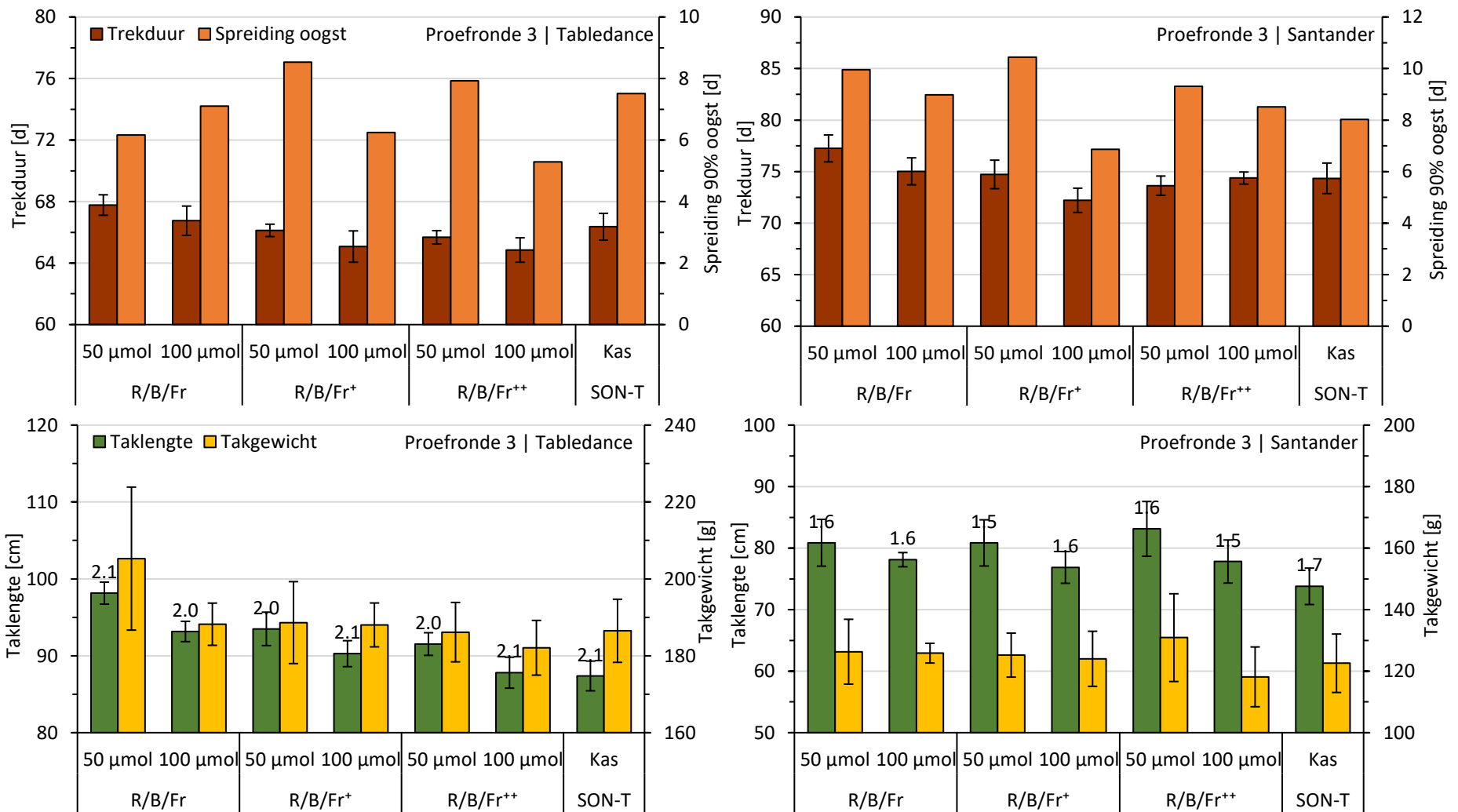
In proefronde 3 zijn de effecten van de intensiteit verrood en de lichtintensiteit (50 of 100 $\mu\text{mol PAR}$) tijdens de voorbroei getoetst (Figuur 10 en tabel in Bijlage 2). Waarbij er geen behandelingen meer zijn getoetst zonder verrood, immers, uit proefronde 1 en 2 kwam zeer duidelijk naar voren dat dit tot teeltvertraging leidt. Omdat in de voorgaande twee proefronden vanaf 6 of meer $\mu\text{mol verrood}$ de behandelingsverschillen te klein waren om een trend te kunnen waarnemen, is in deze proefronde ook een hogere dosis verrood beproefd. Het is interessant om te toetsen of een hogere dosis verrood de trekduur nog verder verkort, en of vanaf een bepaalde intensiteit verrood de taklengte weer gaat toenemen. Bij de meeste gewassen leidt meer verrood in het spectrum immers tot een toename in strekking van de internodiën.

De trekduur was net als in proefronde 1 en 2 iets langer bij de behandeling met een lage intensiteit verrood (3 μmol) vergeleken met de behandelingen met meer verrood. Meer dan 6 μmol blijkt weinig versnelling in trekduur op te leveren: hooguit een dag sneller bij 12 t.o.v. 6 $\mu\text{mol verrood}$, en geen verdere versnelling bij 24 $\mu\text{mol verrood}$.

De taklengte was bij Tabledance significant groter bij laag verrood (3 μmol). Opvallend genoeg resulteerde hoog verrood (24 μmol) juist in takken die aan de korte kant waren. Dat is een opvallend en onverwacht resultaat waaruit blijkt dat de lengtegroei van lelie heel anders reageert op verrood dan de meeste andere gewassen, welke in het algemeen juist strekken bij toenemend verrood.

Net als in de vorige proefronden gaf een hogere lichtintensiteit in de voorbroei (100 t.o.v. 50 μmol) uiteindelijk niet meer takgewicht. Het is de vraag tot hoe laag de lichtintensiteit in de voorbroei mag zijn voordat kwaliteitsverlies gemeten gaat worden. Dit wordt verder onderzocht in proefronde 4.

Verder zijn er geen opvallende verschillen gemeten in proefronde 3 (zie ook Bijlage 2).



Figuur 10. Trekkduur en aantal dagen waarin 90% is geoogst (bovenste grafieken), en taklengte, takgewicht en het aantal grammen per lengte-eenheid (getal boven de taklengte) (onderste grafieken) van proefronde 3. Waarbij Tabledance aan de linkerkant staat weergegeven en Santander aan de rechterkant. De error-bars geven de SD weer, n = 4.

3.2.3 Proefronde 4

In proefronde 4 zijn de effecten van de lichtintensiteit tijdens de voorbroei getoetst. Tot nu toe leidde 50 μmol PAR tijdens de voorbroei tot eenzelfde eindresultaat als 100 μmol PAR. Voor de praktische haalbaarheid van een voorbroeifase met aparte belichtingsstrategie, hetzij in een kas, hetzij in een meerlagenteelt, is de benodigde lichtintensiteit erg belangrijk. Immers, hoe lager de benodigde lichtintensiteit, hoe lager de investeringen (armaturen, koeling, aansluitvermogen elektra) en hoe lager het energieverbruik. Daarom zijn in proefronde 4 drie lichtintensiteiten gedurende 18 dagen voorbroei getoetst (25, 50 en 100 μmol PAR). Alle drie de lichtintensiteiten zijn aangevuld met 6 μmol verrood (zie details in Tabel 3). Deze behandelingen zijn in duplo uitgevoerd.

Uit de metingen blijkt dat lichtintensiteit tijdens de 18 dagen voorbroei geen meetbaar effect heeft op de eindkwaliteit. Er zijn geen significante verschillen gemeten in trekduur, en ook niet in taklengte en takgewicht (Figuur 12 en Bijlage 2). Ook is er geen duidelijke lijn in het aantal dagen waarin 90% is geoogst, hoewel de proefopzet met vier kisten per combinatie ras*behandeling wel klein is om dit met zekerheid te kunnen vaststellen. Verder verschilden ook het percentage drooggewicht, het aantal knoppen en de knoplengte niet (Bijlage 2).

De getoetste rassen Tabledance en Santander kunnen dus goed worden geteeld bij een lage lichtintensiteit (25 μmol PAR + 6 μmol verrood) gedurende de eerste ± 3 weken. Mits het spectrum voldoende verrood bevat. En naar alle waarschijnlijkheid ook mits de daglengte lang genoeg is. Dit vanwege de kwantitatieve lange-dag-plant eigenschappen van lelies van het Oriëntaal-type. Een langere periode voorbroei bij een lage lichtintensiteit zal naar verwachting eerder tot kwaliteitsproblemen leiden. De lengte van de periode waarin voorbroei bij een lage lichtintensiteit verantwoord is hangt niet zozeer af van het aantal weken, maar van het ontwikkelingsstadium van het gewas. Zie ook een foto van het stadium waarin de kisten van de LED-cel naar de kas gingen in Figuur 11 op de volgende pagina.

Tabledance

Unit 4 – 25 $\mu\text{mol PAR}$



Unit 5 – 50 $\mu\text{mol PAR}$



Unit 6 – 100 $\mu\text{mol PAR}$



Santander

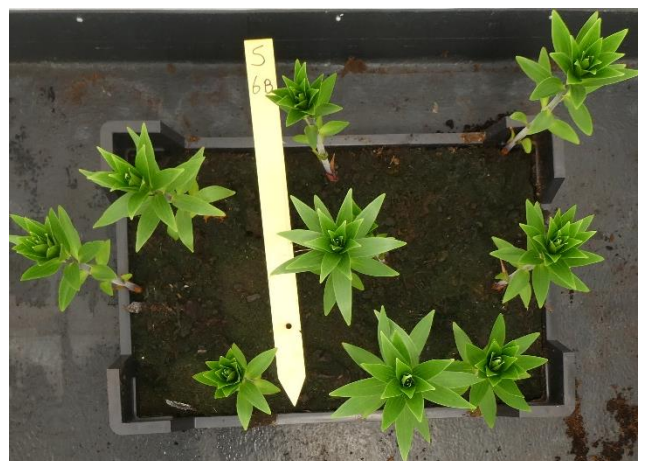
Unit 4 – 25 $\mu\text{mol PAR}$



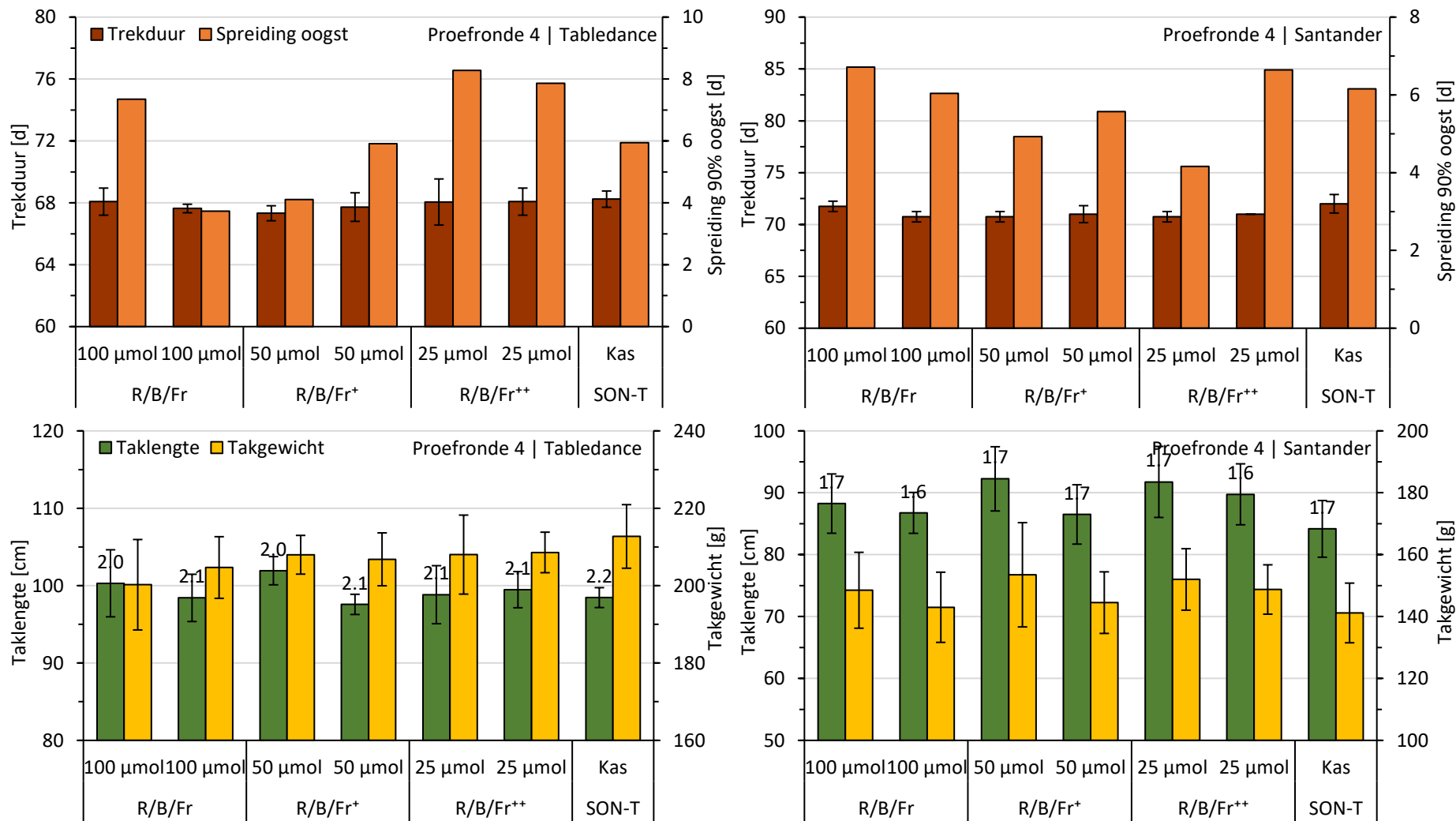
Unit 5 – 50 $\mu\text{mol PAR}$



Unit 6 – 100 $\mu\text{mol PAR}$



Figuur 11. Proefronde 4 na 18 dagen voorbroei bij 25, 50 en 100 $\mu\text{mol PAR}$. Na het nemen van de foto's zijn de planten verplaatst naar de kas voor de afbroei.



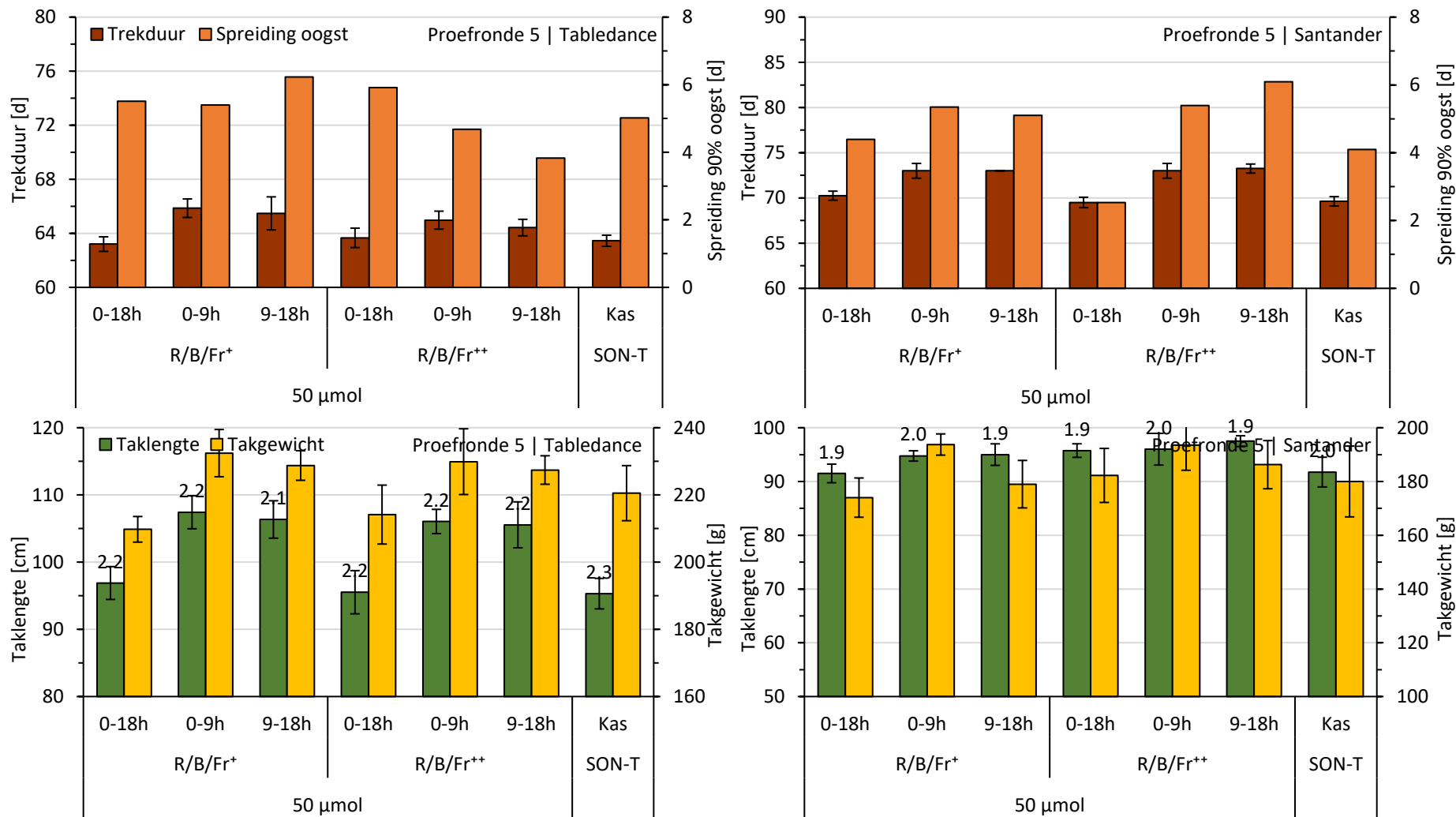
Figuur 12. Trekkduur en aantal dagen waarin 90% is geoogst (bovenste grafieken), en taklengte, takgewicht en het aantal grammen per lengte-eenheid (getal boven de taklengte) (onderste grafieken) van proefronde 4. Waarbij Tabledance aan de linkerzijde staat weergegeven en Santander aan de rechterzijde. De error-bars geven de SD weer, n = 4.

3.2.4 Proefronde 5

In proefronde 5 is het effect van het tijdstip op de dag waarop verrood wordt aangezet getoetst. Op basis van literatuuronderzoek aan *Arabidopsis* zou verwacht kunnen worden dat bij een kwantitatief lange-dag-plant, waaronder Oriëntal en OT lelies ook lijken te vallen, verrood licht gedurende de tweede helft van de dag aan even effectief is als de gehele dag aan. Daarmee kan elektra worden bespaard. Daarom is verrood de gehele dag aan (18 uur) vergeleken met alleen de eerste 9 uren van de dag en alleen de tweede 9 uren van de dag aan. Dit bij twee verschillende intensiteiten verrood (6 en 12 μmol ; zie details in Tabel 3).

Echter, uit de metingen blijkt duidelijk dat verrood gedurende een halve dag aan teeltvertraging oplevert ten opzichte van de behandelingen met verrood de volledige 18 uren per dag aan (Figuur 13 en Bijlage 2). Verrood de gehele 18-urige dag aan in de voorbroei resulteerde in een trekduur gelijk aan de controle. Verder neemt de taklengte bij Tabledance ook toe bij slechts een halve dag verrood aan. Er is op basis van deze resultaten dus geen zinvolle toepassing voor het aanzetten van het verrode licht op slechts een gedeelte van de dag.

Verder is er ook weer geen duidelijk verschil in trekduur tussen 6 of 12 μmol verrood de gehele dag aan: 12 μmol verrood was weliswaar een dag sneller bij Santander, maar bij Tabledance juist een dag langzamer, vergeleken met 6 μmol verrood.



Figuur 13. Trekkduur en aantal dagen waarin 90% is geoogst (bovenste grafieken), en taklengte, takgewicht en het aantal grammen per lengte-eenheid (getal boven de taklengte) (onderste grafieken) van proefronde 5. Waarbij Tabledance aan de linkerkant staat weergegeven en Santander aan de rechterkant. De error-bars geven de SD weer, n = 4.

4 Conclusies en aanbevelingen

Na vijf proefronden waarin lelie 15 tot 25 dagen na de voortrek daglichtloos is voorgebroeid onder LED en vervolgens is afgekweekt in de kas, kan de volgende hoofdconclusie getrokken worden: Ja, een energiezuinige voorbroei onder LED zonder kwaliteitsverlies is mogelijk.

De lichtintensiteit die benodigd is in de voorbroeifase blijkt zeer beperkt: slechts 25 μmol PAR aangevuld met 6 μmol verrood licht bleek voldoende en gaf eenzelfde eindresultaat als 50 of 100 μmol PAR aangevuld met 6 μmol verrood. Dit maakt een aparte voorbroeifase naar alle waarschijnlijkheid praktisch goed haalbaar: de investeringen in belichtingsarmaturen blijven zo beperkt, en ook het stroomverbruik. Toepassing kan op meerdere manieren: van een geautomatiseerd meerlagensysteem tot een apart schakelbare belichting voor de eerste teeltweken in de kas. Door een meerlagensysteem te bouwen wordt ruimte in de kas bespaard, waardoor meer geproduceerd kan worden op eenzelfde oppervlakte. In de voorbroei is het elektraverbruik per m^2 dan zeer beperkt (± 10 Watt per m^2 voor belichting en mogelijk nog enige koeling) en zal de warmtevraag nagenoeg nihil zijn. In een enkellaags systeem kan in een kas met roterende tafels worden volstaan met weinig belichting in de zone waar het jongste plantstadium staat en zo op elektra worden bespaard. Maar ook in een kas zonder een mobiel teeltsysteem kan gedurende de eerste teeltweken met het juist lichtspectrum zuinig worden belicht, waarna later in de teelt belichting bijgeschakeld moet worden.

Waarbij de opmerking dat de proef is uitgevoerd met twee rassen. De verwachting is dat de proefresultaten ook van toepassing zijn op andere rassen van het Oriëntaal-type, maar dit is natuurlijk niet zeker. LA hybriden hebben in eerder onderzoek van PPO na voorbroeien onder LED (rood/blauw zonder verrood) last gehad van knopval (Kok en Wildschut, 2010; Slootweg en van Aanholt, 2013). Echter, in die beide eerdere studies was de voorbroei relatief lang (respectievelijk 30 en 28 dagen) ten opzichte van de totale trekduur van een LA-hybride. Verder was de temperatuurovergang van de klimaatcel naar de kas in eerstgenoemde studie groot. Het is belangrijk om te bedenken dat een lage lichtintensiteit vanaf een zeker ontwikkelingsstadium niet meer zal voldoen om een goede kwaliteit lelie te kunnen broeien. In de vijf proefronden van dit onderzoek zijn de lelies naar de kas gegaan na 15 tot 25 dagen voorbroei: het moment dat de voorbroei beëindigd werd hing af van de ontwikkelingsnelheid van de lelies. Uit eerder onderzoek bleek ook al dat de assimilatievraag pas ± 4 weken na de voortrek fors begint toe te nemen (Hogewoning et al, 2016). De lengte van de periode waarin voorbroei bij een lage lichtintensiteit verantwoord is hangt niet zozeer af van het aantal weken, maar van het ontwikkelingsstadium van het gewas. De ontwikkelingsnelheid is weer afhankelijk van de temperatuur, het ras, en de herkomst en bewaarperiode van de bollen.

Verrood licht in de voorbroei bleek cruciaal voor behoud van een trekduur vergelijkbaar met de controle die direct van de voortrek in de kas was geteeld. Zonder verrood trad forse vertraging op (tot 10 dagen!), meer taklengte, en ook meer takgewicht. Hoewel de vertraging

in de meeste gevallen onwenselijk zal zijn, kan de mogelijkheid om hierop te kunnen sturen in bepaalde gevallen wellicht een voordeel bieden. Bij rassen die te kort blijven, of in warme periodes waarin takken te kort en te licht zijn, is voorbroei onder een spectrum zonder verrood wellicht aantrekkelijk. Om geen snelheid te verliezen blijkt 6 μmol verrood benodigd tijdens de voorbroei. Minder verrood (3 μmol) resulteerde duidelijk in vertraging en meer lengte. Meer verrood (12 μmol) gaf geen duidelijke versnelling, hoewel de teelt mogelijk een dag sneller is dan bij 6 μmol . De proefopzet was te kleinschalig om dit soort details goed te kunnen onderscheiden. Het feit dat de bloeisnelheid toeneemt bij een toenemende dosis verrood licht volgens een verzadingscurve duidt op een fytochroom A gereguleerde reactie (een zogenaamde HIR-respons, zie ook Taiz & Zeiger, 2010 en Trouwborst et al, 2013). Ook de gelijkmatigheid van afrijping is een belangrijke factor. Er viel geen duidelijke trend te ontdekken in het effect van de dosis verrood op de periode waarin 90% van de takken geoogst is, maar ook voor een nauwkeurige bepaling van deze parameter geldt dat de proefopzet klein is.

Verrood licht slechts halve dagen aan zetten bleek in proefronde 5 teeltvertraging op te leveren. Op basis van een studie aan *Arabidopsis* (Lagercrantz, 2009) zou verwacht kunnen worden dat bij een kwantitatief lange-dag-plant, waaronder Oriëntal en OT lelies ook lijken te vallen, verrood licht gedurende de tweede helft van de dag aan even effectief is als de gehele dag aan. Dit bleek niet het geval bij de getoetste lelierassen. Mogelijk werkt het principe achter het mechanisme wel bij lelie, maar ligt de tijdsperiode waarbinnen de plant verrood-gevoelig is voor wat betreft de bloeirespons anders dan de eerste of tweede helft van de dag zoals getoetst in dit onderzoek. Hoe dan ook lijkt er weinig relevante toepassing te zijn voor het inperken van het aantal uren verrood per dag. De elektravraag voor de 6 μmol benodigd verrood is toch al zeer beperkt.

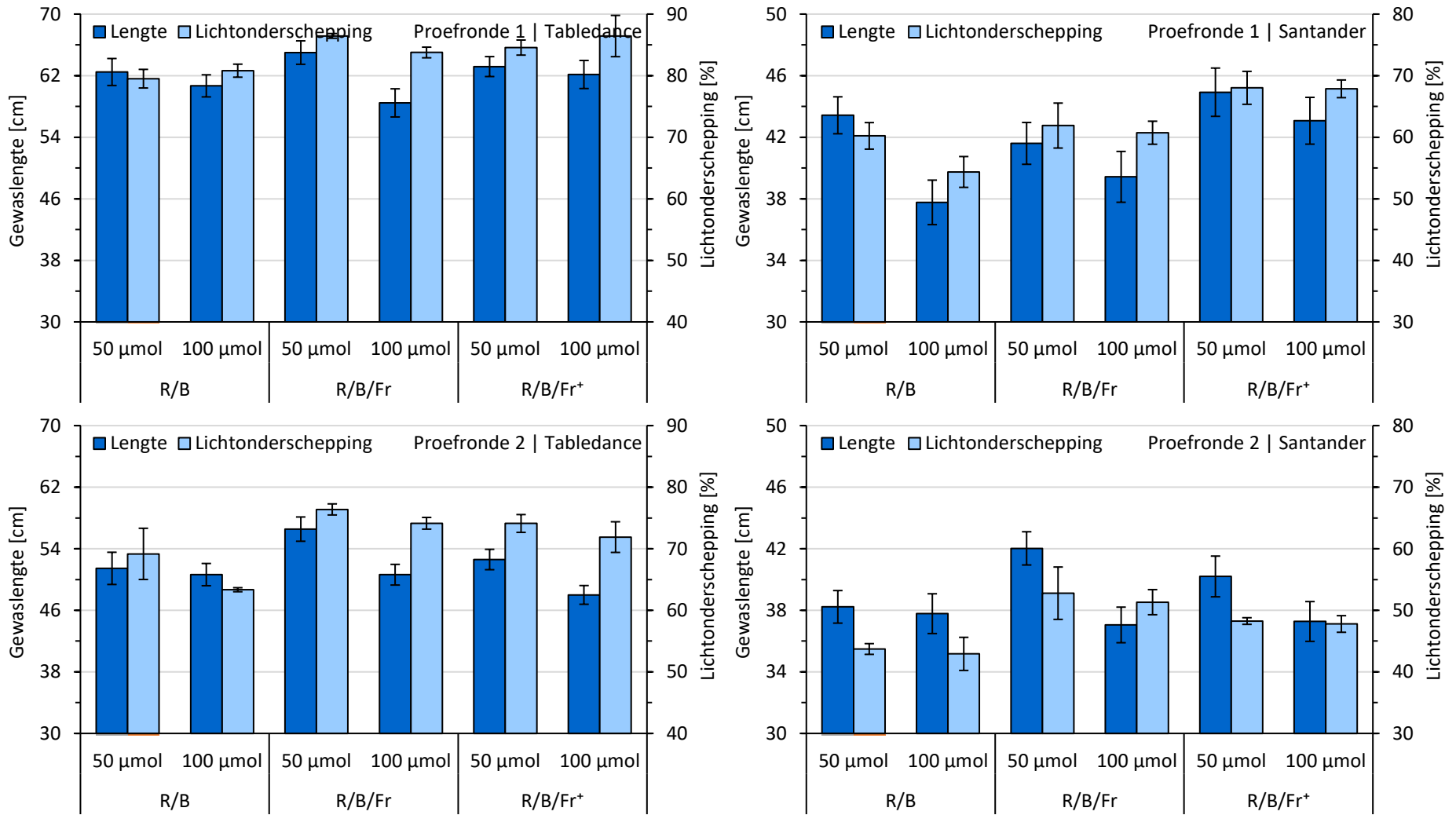
In deze studie zijn de belangrijkste principes wat betreft de effecten van lichtintensiteit en lichtspectrum tijdens de voorbroei achterhaald. Er resteren nog een aantal vragen die interessant zijn om op een later moment te onderzoeken:

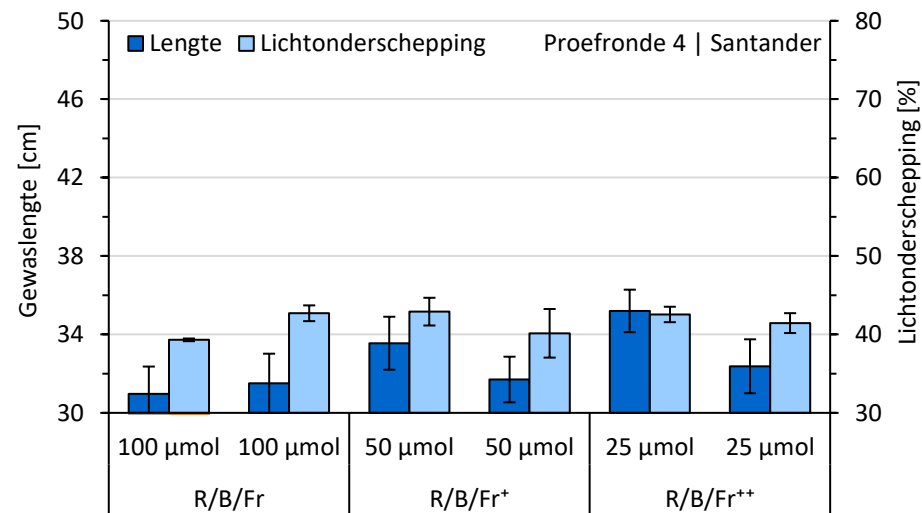
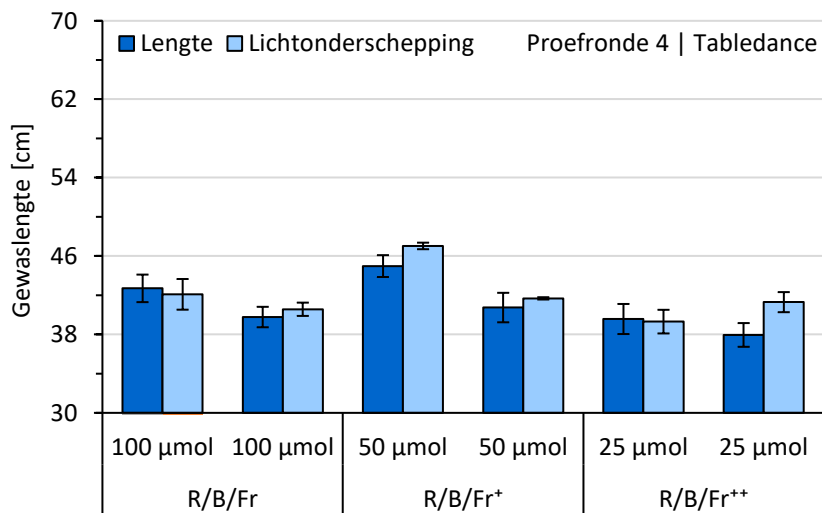
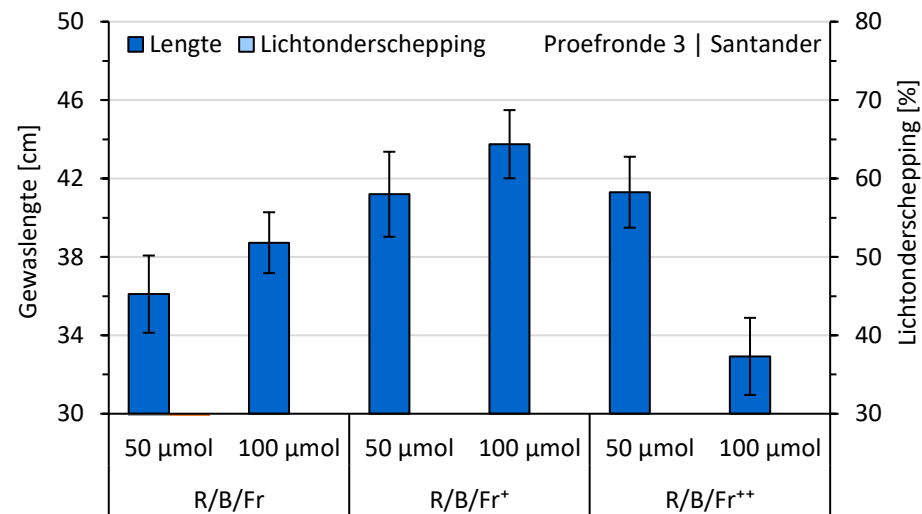
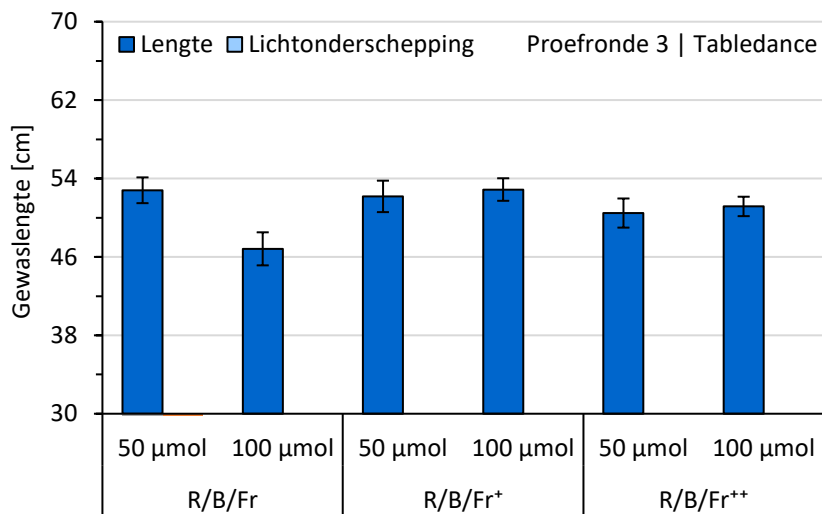
- Wat is de optimale daglengte tijdens de voorbroei? In deze studie is 18 uur belicht. Levert een langere daglengte voordelen op, of presteert kortere daglengte even goed?
- Is er een effect van de dosis verrood of lichtintensiteit tijdens de voorbroei op gelijkheid in rijping? In het hier gerapporteerde onderzoek hebben we hierin geen trend gemeten. Echter, de proefopzet was te kleinschalig om hier betrouwbare uitspraken over te doen.
- Hoe reageren andere rassen op lichtintensiteit en spectrum tijdens de voorbroei?
- In hoeverre geldt de verrood-behoefte zoals gemeten in de voorbroei ook in de kas? In de kas is tenminste een aantal uren per dag daglicht waarvan een gedeelte verrood. En heeft verrood later in de teelt ook nog effect op de ontwikkelingssnelheid van het gewas, of alleen gedurende de eerste weken van de teelt? Deze vraag trachten we in een vervolg-proef in de winter van 2020-2021 te beantwoorden.

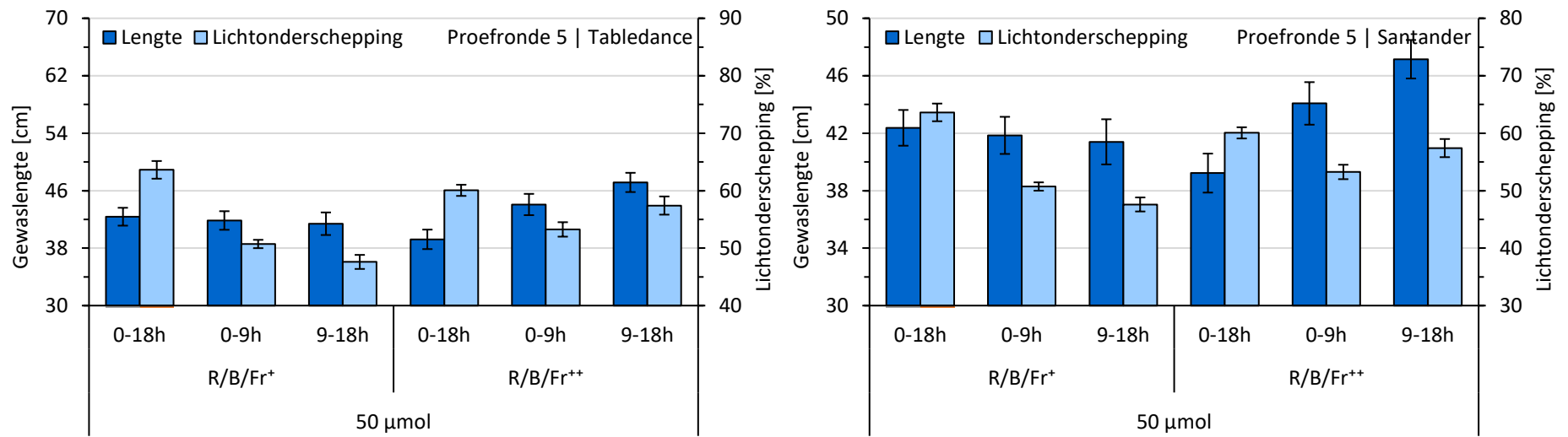
Referenties

- Hogewoning SW, Trouwborst G, Slootweg G, Van Aanholt JTM, Pot CS, Kok BJ.** 2014. Belichting, CO₂ en stuurlicht in de lelieteelt: een strategie voor energiebesparing. Plant Lighting B.V., Bunnik. 42p.
- Hogewoning SW, Trouwborst G. & van der Spek R.** 2016. Belichten naar gewasbehoefte: Een voorstudie met lelie als proefgewas. Plant Lighting B.V., Bunnik. 35p.
- Kok BJ, Wildschut J.** 2010. LED belichting tijdens het voortrekken van lelie 2012 PPO, WUR, Lisse.
- Lagercrantz U.** 2009. At the end of the day: a common molecular mechanism for photoperiod responses in plants? *Journal of Experimental Botany* 60: 9 pp. 2501–2515.
- Slootweg G, van Aanholt JTM.** 2013. Energiezuinige gefaseerde belichting in lelie, PPO, WUR Lisse.
- Taiz, L., & Zeiger, E.** (2010). *Plant Physiology*. 5th edn. Sunderland, MA: Sinauer Associates.
- Trouwborst G, Hogewoning SW & Pot CS.** 2013. Stuurlicht bij de tijd. Plant Lighting B.V., Bunnik. 61p.
- Vermeulen, P.** 2016. Kwantitatieve informatie voor de glastuinbouw 2016-2017 : kengetallen voor groenten, snijbloemen, pot en perkplanten teelten. Bleiswijk: Wageningen UR Glastuinbouw (Rapport GTB 5121) – 330.

Bijlage 1: Lengte en lichtonderschepping tijdens de voorbroei







Figuur 14. Het effect van de verschillende lichtbehandelingen op gewaslengte en lichtonderschepping van Tabledance (linker grafieken) en Santander (rechter grafieken) in de verschillende proefrondes (1 t/m 5) tijdens de voorbroei. De errorbars geven de SEM weer, $n = 40$ voor gewaslengte en $n = 3$ voor lichtonderschepping.

Bijlage 2: Effect belichting tijdens voorbroei op eindkwaliteit na de afbroei-fase

Verschillende letters geven significante verschillen aan ($P < 0.05$, Tukey's HSD, ns= niet significant).

Proefronde 1						Tabledance							
Behandeling	PAR	PFD	R	B	Fr	Trekduur [d]	Taklengte [cm]	Takgewicht [g]	Lineaire massa [g/cm]	Drooggewicht [%]	Knoppen [#]	Knoplengte [cm]	Krans bloei [%]
LED R/B	50	50	47	3	0	77 ^a	111 ^a	205 ^{ns}	1.85 ^{ab}	0.13 ^{ns}	6.1 ^a	11.0 ^{ns}	92 ^{ns}
LED R/B	100	100	94	6	0	76 ^a	110 ^a	196 ^{ns}	1.78 ^b	0.13 ^{ns}	5.7 ^{ab}	11.0 ^{ns}	95 ^{ns}
LED R/B/Fr	50	53	47	3	3	72 ^b	104 ^b	193 ^{ns}	1.88 ^{ab}	0.12 ^{ns}	5.5 ^{ab}	11.3 ^{ns}	92 ^{ns}
LED R/B/Fr	100	106	94	6	6	71 ^{bc}	95 ^c	177 ^{ns}	1.85 ^{ab}	0.11 ^{ns}	5.3 ^{ab}	11.3 ^{ns}	83 ^{ns}
LED R/B/Fr ⁺	50	56	47	3	6	70 ^c	96 ^c	184 ^{ns}	1.88 ^{ab}	0.11 ^{ns}	5.7 ^{ab}	11.5 ^{ns}	87 ^{ns}
LED R/B/Fr ⁺	100	112	94	6	12	69 ^c	94 ^c	177 ^{ns}	1.90 ^{ab}	0.11 ^{ns}	5.2 ^b	11.3 ^{ns}	95 ^{ns}
SON-T (kas)						70 ^c	95 ^c	199 ^{ns}	2.10 ^a	0.11 ^{ns}	5.8 ^{ab}	11.4 ^{ns}	94 ^{ns}

Proefronde 1						Santander							
Behandeling	PAR	PFD	R	B	Fr	Trekduur [d]	Taklengte [cm]	Takgewicht [g]	Lineaire massa [g/cm]	Drooggewicht [%]	Knoppen [#]	Knoplengte [cm]	Krans bloei [%]
LED R/B	50	50	47	3	0	86 ^a	89 ^{ns}	134 ^{ns}	1.50 ^{ns}	0.15 ^{ns}	3.2 ^{ns}	10.6 ^{ns}	0 ^{ns}
LED R/B	100	100	94	6	0	87 ^a	86 ^{ns}	127 ^{ns}	1.50 ^{ns}	0.16 ^{ns}	3.1 ^{ns}	10.6 ^{ns}	0 ^{ns}
LED R/B/Fr	50	53	47	3	3	81 ^b	84 ^{ns}	120 ^{ns}	1.40 ^{ns}	0.15 ^{ns}	3.2 ^{ns}	10.9 ^{ns}	0 ^{ns}
LED R/B/Fr	100	106	94	6	6	79 ^b	82 ^{ns}	120 ^{ns}	1.45 ^{ns}	0.15 ^{ns}	3.3 ^{ns}	10.7 ^{ns}	0 ^{ns}
LED R/B/Fr ⁺	50	56	47	3	6	79 ^b	86 ^{ns}	124 ^{ns}	1.43 ^{ns}	0.15 ^{ns}	3.4 ^{ns}	10.9 ^{ns}	0 ^{ns}
LED R/B/Fr ⁺	100	112	94	6	12	78 ^b	84 ^{ns}	121 ^{ns}	1.43 ^{ns}	0.15 ^{ns}	3.2 ^{ns}	11.0 ^{ns}	3 ^{ns}
SON-T (kas)						78 ^b	84 ^{ns}	122 ^{ns}	1.46 ^{ns}	0.15 ^{ns}	3.2 ^{ns}	10.6 ^{ns}	0 ^{ns}

Verschillende letters geven significante verschillen aan (P<0.05, Tukey's HSD, ns= niet significant).

Proefronde 2						Tabledance							
Behandeling	PAR	PFD	R	B	Fr	Trekduur [d]	Taklengte [cm]	Takgewicht [g]	Lineaire massa [g/cm]	Drooggewicht [%]	Knoppen [#]	Knoplengte [cm]	Krans bloei [%]
LED R/B	50	50	47	3	0	71 ^a	102 ^a	194 ^a	1.88 ^{ns}	0.13 ^{ab}	5.4 ^{ns}	11.0 ^{ns}	24 ^b
LED R/B	100	100	94	6	0	70 ^a	100 ^a	182 ^{ab}	1.83 ^{ns}	0.13 ^{ab}	5.6 ^{ns}	10.3 ^{ns}	41 ^{ab}
LED R/B/Fr	50	53	47	3	3	66 ^b	96 ^b	177 ^{ab}	1.85 ^{ns}	0.13 ^a	5.4 ^{ns}	10.3 ^{ns}	66 ^a
LED R/B/Fr	100	106	94	6	6	66 ^b	88 ^c	170 ^b	1.95 ^{ns}	0.12 ^{ab}	5.5 ^{ns}	10.5 ^{ns}	69 ^a
LED R/B/Fr ⁺	50	56	47	3	6	67 ^b	90 ^c	171 ^b	1.90 ^{ns}	0.13 ^{ab}	5.0 ^{ns}	10.5 ^{ns}	58 ^{ab}
LED R/B/Fr ⁺	100	112	94	6	12	65 ^b	87 ^c	165 ^b	1.90 ^{ns}	0.12 ^b	5.2 ^{ns}	10.3 ^{ns}	45 ^{ab}
SON-T (kas)*													

Proefronde 2						Santander							
Behandeling	PAR	PFD	R	B	Fr	Trekduur [d]	Taklengte [cm]	Takgewicht [g]	Lineaire massa [g/cm]	Drooggewicht [%]	Knoppen [#]	Knoplengte [cm]	Krans bloei [%]
LED R/B	50	50	47	3	0	78 ^a	86 ^a	129 ^a	1.49 ^{ns}	0.15 ^{ns}	3.3 ^{ns}	10.8 ^{ns}	3 ^{ns}
LED R/B	100	100	94	6	0	78 ^a	85 ^a	129 ^a	1.52 ^{ns}	0.15 ^{ns}	3.2 ^{ns}	10.7 ^{ns}	0 ^{ns}
LED R/B/Fr	50	53	47	3	3	75 ^b	82 ^{ab}	120 ^{ab}	1.46 ^{ns}	0.13 ^{ns}	3.2 ^{ns}	10.8 ^{ns}	0 ^{ns}
LED R/B/Fr	100	106	94	6	6	72 ^{bc}	78 ^b	113 ^b	1.45 ^{ns}	0.13 ^{ns}	3.0 ^{ns}	10.8 ^{ns}	0 ^{ns}
LED R/B/Fr ⁺	50	56	47	3	6	72 ^c	80 ^b	116 ^b	1.45 ^{ns}	0.14 ^{ns}	3.1 ^{ns}	10.8 ^{ns}	0 ^{ns}
LED R/B/Fr ⁺	100	112	94	6	12	72 ^{bc}	78 ^b	116 ^b	1.47 ^{ns}	0.13 ^{ns}	3.2 ^{ns}	10.7 ^{ns}	0 ^{ns}
SON-T (kas)*													

*) Resultaten niet weergegeven voor de SON-T controle in de kas. Dit vanwege het feit dat in proefronde 2 de controle in de kas zes dagen eerder werd belicht dan de voorbroei-behandelingen onder LED.

Verschillende letters geven significante verschillen aan (P<0.05, Tukey's HSD, ns= niet significant).

Proefronde 3						Tabledance							
Belichting	PAR	PFD	R	B	Fr	Trekduur [d]	Taklengte [cm]	Takgewicht [g]	Lineaire massa [g/cm]	Drooggewicht [%]	Knoppen [#]	Knoplengte [cm]	Krans bloei [%]
LED R/B/Fr	50	53	47	3	3	68 a	98 a	205 a	2.10 ns	0.13 a	5.7 ns	11.2 ns	23 ns
LED R/B/Fr	100	106	94	6	6	67 ab	93 b	188 ab	2.01 ns	0.12 ab	5.6 ns	11.1 ns	34 ns
LED R/B/Fr ⁺	50	56	47	3	6	66 abc	94 b	189 ab	2.01 ns	0.12 ab	5.4 ns	11.0 ns	28 ns
LED R/B/Fr ⁺	100	112	94	6	12	65 bc	90 bcd	188 ab	2.08 ns	0.11 ab	5.9 ns	11.4 ns	18 ns
LED R/B/Fr ⁺⁺	50	62	47	3	12	66 bc	92 bc	186 ab	2.03 ns	0.12 ab	5.5 ns	11.3 ns	28 ns
LED R/B/Fr ⁺⁺	100	124	94	6	24	65 c	88 cd	182 b	2.07 ns	0.11 b	5.5 ns	11.5 ns	20 ns
SON-T (kas)						66 abc	87 d	187 ab	2.13 ns	0.12 ab	5.7 ns	11.3 ns	41 ns

Proefronde 3						Santander							
Belichting	PAR	PFD	R	B	Fr	Trekduur [d]	Taklengte [cm]	Takgewicht [g]	Lineaire massa [g/cm]	Drooggewicht [%]	Knoppen [#]	Knoplengte [cm]	Krans bloei [%]
LED R/B/Fr	50	53	47	3	3	77 a	81 a	126 ns	1.56 ns	0.13 ns	3.3 ns	11.4 ns	0 ns
LED R/B/Fr	100	106	94	6	6	75 ab	78 ab	126 ns	1.61 ns	0.14 ns	3.3 ns	11.7 ns	0 ns
LED R/B/Fr ⁺	50	56	47	3	6	75 ab	81 a	125 ns	1.54 ns	0.14 ns	3.4 ns	11.3 ns	0 ns
LED R/B/Fr ⁺	100	112	94	6	12	72 b	77 ab	124 ns	1.60 ns	0.14 ns	3.2 ns	11.8 ns	0 ns
LED R/B/Fr ⁺⁺	50	62	47	3	12	74 b	83 a	131 ns	1.57 ns	0.14 ns	3.2 ns	11.7 ns	0 ns
LED R/B/Fr ⁺⁺	100	124	94	6	24	74 b	78 ab	118 ns	1.51 ns	0.14 ns	3.3 ns	11.3 ns	0 ns
SON-T (kas)						74 b	74 b	123 ns	1.65 ns	0.14 ns	3.3 ns	11.4 ns	0 ns

Verschillende letters geven significante verschillen aan ($P < 0.05$, Tukey's HSD, ns= niet significant).

Proefronde 4						Tabledance							
Belichting	PAR	PFD	R	B	Fr	Trekduur [d]	Taklengte [cm]	Takgewicht [g]	Lineaire massa [g/cm]	Drooggewicht [%]	Knoppen [#]	Knoplengte [cm]	Krans bloei [%]
LED R/B/Fr	100	106	94	6	6	68 ^{ns}	100 ^{ns}	200 ^{ns}	1.99 ^b	0.13 ^{ns}	5.4 ^{ns}	11.0 ^{ns}	18 ^{ns}
LED R/B/Fr	100	106	94	6	6	68 ^{ns}	98 ^{ns}	205 ^{ns}	2.08 ^{ab}	0.12 ^{ns}	5.6 ^{ns}	10.9 ^{ns}	23 ^{ns}
LED R/B/Fr ⁺	50	56	44	6	6	67 ^{ns}	102 ^{ns}	208 ^{ns}	2.04 ^{ab}	0.12 ^{ns}	5.6 ^{ns}	11.3 ^{ns}	20 ^{ns}
LED R/B/Fr ⁺	50	56	44	6	6	68 ^{ns}	98 ^{ns}	207 ^{ns}	2.11 ^{ab}	0.12 ^{ns}	5.5 ^{ns}	11.1 ^{ns}	25 ^{ns}
LED R/B/Fr ⁺⁺	25	31	19	6	6	68 ^{ns}	99 ^{ns}	208 ^{ns}	2.10 ^{ab}	0.12 ^{ns}	5.6 ^{ns}	11.1 ^{ns}	27 ^{ns}
LED R/B/Fr ⁺⁺	25	31	19	6	6	68 ^{ns}	99 ^{ns}	209 ^{ns}	2.09 ^{ab}	0.13 ^{ns}	5.7 ^{ns}	11.0 ^{ns}	28 ^{ns}
SON-T (kas)						68 ^{ns}	98 ^{ns}	213 ^{ns}	2.16 ^a	0.12 ^{ns}	5.7 ^{ns}	10.9 ^{ns}	16 ^{ns}

Proefronde 4						Santander							
Belichting	PAR	PFD	R	B	Fr	Trekduur [d]	Taklengte [cm]	Takgewicht [g]	Lineaire massa [g/cm]	Drooggewicht [%]	Knoppen [#]	Knoplengte [cm]	Krans bloei [%]
LED R/B/Fr	100	106	94	6	6	72 ^{ns}	88 ^{ns}	149 ^{ns}	1.68 ^{ns}	1.68 ^{ns}	3.5 ^{ns}	11.8 ^{ns}	0 ^{ns}
LED R/B/Fr	100	106	94	6	6	71 ^{ns}	87 ^{ns}	143 ^{ns}	1.65 ^{ns}	1.65 ^{ns}	3.4 ^{ns}	11.8 ^{ns}	0 ^{ns}
LED R/B/Fr ⁺	50	56	44	6	6	71 ^{ns}	92 ^{ns}	154 ^{ns}	1.63 ^{ns}	1.63 ^{ns}	3.6 ^{ns}	11.7 ^{ns}	0 ^{ns}
LED R/B/Fr ⁺	50	56	44	6	6	71 ^{ns}	87 ^{ns}	145 ^{ns}	1.68 ^{ns}	1.68 ^{ns}	3.3 ^{ns}	11.7 ^{ns}	0 ^{ns}
LED R/B/Fr ⁺⁺	25	31	19	6	6	71 ^{ns}	92 ^{ns}	152 ^{ns}	1.68 ^{ns}	1.68 ^{ns}	3.4 ^{ns}	12.1 ^{ns}	0 ^{ns}
LED R/B/Fr ⁺⁺	25	31	19	6	6	71 ^{ns}	90 ^{ns}	149 ^{ns}	1.68 ^{ns}	1.68 ^{ns}	3.5 ^{ns}	11.9 ^{ns}	0 ^{ns}
SON-T (kas)						72 ^{ns}	84 ^{ns}	141 ^{ns}	1.68 ^{ns}	1.68 ^{ns}	3.3 ^{ns}	11.5 ^{ns}	2 ^{ns}

Verschillende letters geven significante verschillen aan (P<0.05, Tukey's HSD, ns= niet significant).

Proefronde 5						Tabledance							
Belichting	Timing	PFD	R	B	Fr	Trekduur [d]	Taklengte [cm]	Takgewicht [g]	Lineaire massa [g/cm]	Drooggewicht [%]	Knoppen [#]	Knoplengte [cm]	Krans bloei [%]
LED R/B/Fr ⁺	0-18h	56	44	6	6	63 ^c	97 ^b	210 ^c	2.16 ^{ab}	0.13 ^{ns}	4.9 ^{ns}	11.1 ^{ns}	43 ^{ns}
LED R/B/Fr ⁺	0-9h	56	44	6	6	66 ^a	107 ^a	232 ^a	2.16 ^{ab}	0.13 ^{ns}	5.1 ^{ns}	11.5 ^{ns}	38 ^{ns}
LED R/B/Fr ⁺	9-18h	56	44	6	6	65 ^a	106 ^a	229 ^{ab}	2.14 ^b	0.13 ^{ns}	5.4 ^{ns}	11.1 ^{ns}	48 ^{ns}
LED R/B/Fr ⁺⁺	0-18h	62	44	6	12	64 ^{bc}	96 ^b	214 ^{bc}	2.24 ^{ab}	0.12 ^{ns}	5.4 ^{ns}	11.5 ^{ns}	59 ^{ns}
LED R/B/Fr ⁺⁺	0-9h	62	44	6	12	65 ^{ab}	106 ^a	230 ^{ab}	2.17 ^{ab}	0.13 ^{ns}	5.1 ^{ns}	11.2 ^{ns}	55 ^{ns}
LED R/B/Fr ⁺⁺	9-18h	62	44	6	12	64 ^{abc}	106 ^a	227 ^{ab}	2.15 ^{ab}	0.13 ^{ns}	5.0 ^{ns}	11.4 ^{ns}	51 ^{ns}
SON-T (kas)						63 ^c	95 ^b	221 ^{abc}	2.31 ^a	0.12 ^{ns}	5.4 ^{ns}	11.6 ^{ns}	48 ^{ns}

Proefronde 5						Santander							
Belichting	Timing	PFD	R	B	Fr	Trekduur [d]	Taklengte [cm]	Takgewicht [g]	Lineaire massa [g/cm]	Drooggewicht [%]	Knoppen [#]	Knoplengte [cm]	Krans bloei [%]
LED R/B/Fr ⁺	0-18h	56	44	6	6	70 ^b	92 ^b	174 ^{ns}	1.90 ^{ns}	1.90 ^{ns}	3.1 ^{ns}	12.6 ^{ab}	0 ^{ns}
LED R/B/Fr ⁺	0-9h	56	44	6	6	73 ^a	95 ^{ab}	194 ^{ns}	2.05 ^{ns}	2.05 ^{ns}	3.2 ^{ns}	13.0 ^a	0 ^{ns}
LED R/B/Fr ⁺	9-18h	56	44	6	6	73 ^a	95 ^{ab}	179 ^{ns}	1.88 ^{ns}	1.88 ^{ns}	3.2 ^{ns}	12.2 ^{ab}	0 ^{ns}
LED R/B/Fr ⁺⁺	0-18h	62	44	6	12	70 ^b	96 ^{ab}	182 ^{ns}	1.90 ^{ns}	1.90 ^{ns}	3.4 ^{ns}	13.0 ^a	0 ^{ns}
LED R/B/Fr ⁺⁺	0-9h	62	44	6	12	73 ^a	96 ^a	194 ^{ns}	2.00 ^{ns}	2.00 ^{ns}	3.3 ^{ns}	12.9 ^{ab}	0 ^{ns}
LED R/B/Fr ⁺⁺	9-18h	62	44	6	12	73 ^a	98 ^a	186 ^{ns}	1.93 ^{ns}	1.93 ^{ns}	3.2 ^{ns}	12.6 ^{ab}	0 ^{ns}
SON-T (kas)						70 ^b	92 ^b	180 ^{ns}	1.95 ^{ns}	1.95 ^{ns}	3.3 ^{ns}	13.0 ^a	1 ^{ns}