

Ideale tulp in een meerlagenteelt met LED



S.W. Hogewoning, P. Duin, K. Obdam, R. van der Spek, en G. Trouwborst

Ideale tulp in een meerlagenteelt met LED

Mei 2017

¹S.W. Hogewoning, ²P. Duin, ²K. Obdam, ¹R. van der Spek, en ¹G. Trouwborst

¹Plant Lighting B.V.
Veilingweg 46
3981 PC Bunnik
info@plantlighting.nl
www.plantlighting.nl

²Proeftuin Zwaagdijk
Tolweg 13
1681 ND Zwaagdijk
PieterDuin@proeftuinzwaagdijk.nl
www.proeftuinzwaagdijk.nl

REFERAAT

S.W. Hogewoning, P. Duin, K. Obdam, R. van der Spek, en G. Trouwborst. 2017. Meerlagenteelt tulp: Ideale tulp in een meerlagenteelt met LED. Plant Lighting B.V., Bunnik. 57p.

Projectnummer programma Kas als Energiebron: 20043



Ministerie van Economische Zaken



© 2017 Plant Lighting B.V. & Proeftuin Zwaagdijk

Dit rapport is tot stand gekomen in samenwerking met het ministerie van Economische Zaken en LTO Glaskracht Nederland / Stichting Programmafonds Glastuinbouw in het kader van het programma Kas als Energiebron, ter stimulering van energiebesparende maatregelen in de tuinbouw. Het onderzoek is mede mogelijk gemaakt door een bijdrage van tulpenbroeiers uit de regio West-Friesland en Illumicent B.V.. De resultaten mogen vrij gebruikt worden, mits de bronnen worden vermeld.

Plant Lighting B.V. en Proeftuin Zwaagdijk zijn niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen als gevolg van gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Inhoud

SAMENVATTING.....	5
DANKWOORD	7
1 INLEIDING.....	8
2 MATERIAAL EN METHODEN FINE-TUNING BELICHTING IN KLIMAAT-UNITS..	10
3 RESULTATEN: FINE-TUNING BELICHTING IN KLIMAATUNITS.....	12
4 MATERIAAL EN METHODEN KASPROEF 'IDEALE TULP IN MEERLAGENTEELT'	43
5 RESULTATEN KASPROEF 'IDEALE TULP IN MEERLAGENTEELT'	47
6 SAMENVATTING EN CONCLUSIES.....	55
REFERENTIES	57

Samenvatting

Tulpenteelt in een meerlagensysteem bespaart energie ten opzichte van een enkellaagsteelt. In het onderzoek van 2015-2016 is LED rood/blauw/verrood naar voren gekomen als een geschikt lichtspectrum voor tulp in een meerlagensysteem: Bladeren spreiden goed en de plantvorm en ontwikkeling is normaal. In het eerste gedeelte van het huidige onderzoek (2016-2017) is onderzocht in hoeverre het de belichting kan worden gefine-tuned: Is er een even goed of beter resultaat te behalen met minder energieverbruik, en kan gestuurd worden op een donkerdere bladkleur?

In zes proefrondes zijn verschillende strategieën getoetst in klimaat-units van Plant Lighting:

- Het na een aantal dagen afschakelen of halveren van het verrode gedeelte van het spectrum bespaart aanzienlijk energie en resulteert in een donkerdere bladkleur, maar gaat ten koste van de bladspreiding. Te weinig bladspreiding kan kwaliteitsproblemen geven (kromme nekken). Toepasbaarheid is afhankelijk van o.a. de cultivar: Minder verrood zal eerder gunstig zijn voor gemakkelijk blad-spreidende cultivars met licht gekleurd blad dan voor moeilijk spreidende cultivars met donker gekleurd blad.
- Met een lage intensiteit UV-A/blauw licht van een kortere golflengte dan de gebruikelijke 450 nm, blijkt bladkleur niet effectief te sturen. Verrood afschakelen heeft veel meer effect.
- Een snellere teelt vereist een hogere lichtintensiteit om op een maximale bladspreiding te kunnen sturen.
- Cyclisch belichten is niet zinvol, ook niet hoogfrequent (0.04 sec. aan/0.08 sec. uit).
- Bijbelichten met LED rood/blauw tijdens de afbroeifase in het daglicht heeft weinig effect op bladkleuring bij 'gemiddeld winter-daglicht' (mogelijk wel bij zeer donker weer?).

In het tweede gedeelte van het huidige onderzoek is in kassen van Proeftuin Zwaagdijk bij 15 verschillende cultivars in drie opeenvolgende proefronden onderzocht welke intensiteit LED rood/blauw/verrood belichting benodigd is voor een goede kwaliteit tulp. De tulpen zijn gedurende twee weken onder LED-belichting gebroeid in de periode 22 december 2016- 01 februari 2017. Op de achtergrond was enig daglicht dat tussen de schermkier door scheen. Vervolgens zijn de tulpen afgebroeid bij daglicht.

In de eerste twee proefronden is belicht met 25, 50, en 75 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PFD. De verschillen waren klein: Alleen de bladkleur was iets lichter bij 25 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PFD, en hoe lager de lichtintensiteit, hoe dieper de bloemknop in het blad zat. Er was nauwelijks uitval door bladkiep. In de derde proefronde is gebroeid bij 10, 25, en 50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PFD. Nu waren er wel grote verschillen: De bladeren van de tulpen onder 10 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PFD waren gemiddeld het minste gespreid. De gewaskleur van de tulpen werd lichter naarmate de lichtintensiteit lager was. Vooral onder 10 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PFD waren de tulpen beduidend bleker. Opvallend genoeg was het plantgewicht van de laagste intensiteit hoger dan van 25 en 50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PFD. Alleen bij de lage lichtintensiteit van 10 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PFD waren er bij de bladkiep-gevoelige cultivars Yellow King en Abba hoge uitvalspercentages (respectievelijk 29% en 17%).

Concluderend kan gesteld worden dat 25 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PFD bij het juiste spectrum voldoet om een goede kwaliteit tulp te broeien in een meerlagenteelt. Met de huidige stand van techniek kost dit ongeveer 12 Watt aan elektra per m^2 teeltoppervlakte (bij 18 uur daglengte is dat 778 kilojoules). Door de stijgende efficiëntie van LED-armaturen zal deze energievraag verder omlaag gaan. Aanstuurbaarheid van het verrode gedeelte van het spectrum valt aan te bevelen. Bij een snellere teelt (hogere teelt-temperatuur of later in broeiseizoen) is mogelijk een hogere intensiteit belichting vereist voor een optimale kwaliteit tulp gebroeid in een meerlagensysteem. Een lagere intensiteit belichting (10 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PFD) leidt niet tot minder lengte of gewicht, maar kan wel ernstige kwaliteitsproblemen geven.

Dankwoord

Dit rapport geeft de resultaten weer van zes proefronden tulpenbroei die vanaf het najaar van 2016 zijn uitgevoerd bij Plant Lighting naar de effecten van LED-belichting op bladspreiding, plantontwikkeling en bladkleur. Tevens geeft dit rapport de resultaten weer van drie proefronden in de winter van 2016/2017 bij Proeftuin Zwaagdijk naar de effecten van de intensiteit LED-belichting op de kwaliteit van 15 verschillende tulpencultivars. Uit dit onderzoek is een praktisch toepasbare belichtingsstrategie voortgekomen waarmee de praktijk een goede kwaliteit tulp kan broeien in een energiezuinig meerlagensysteem.

We willen de begeleidende en meefinancierende tulpenkwekers hartelijk bedanken voor hun inhoudelijke bijdrage tijdens de presentaties en proefbezoeken: Bert Karel (Karel Bolbloemen B.V.), Niels Kreuk (Niels Kreuk B.V.), Ted Karsten (Horizon Flowers), Gerard de Wit (Germaco), Marco Haring en Arjan Rood (De Wit Bloembollen), Maarten Breg (Boon & Breg) en Jan Mantel (Mantel V.O.F.). Alex Buis (Tulpenadvies B.V.) wordt bedankt voor zijn begeleiding en adviezen. Jeroen Wildschut, Henk Gude en Martin van Dam (PPO Lisse) worden bedankt voor hun bijdrage aan een aantal BCO-bijeenkomsten. Rien van Og van Illumicent wordt bedankt voor het beschikbaar stellen van dimbare LED-armaturen. Wij zijn het programma Kas als Energiebron zeer erkentelijk voor de grote bijdrage aan de financiering van dit onderzoek. De coördinatoren Dennis Medema en Leo Oprel worden bedankt voor hun inzet rondom de totstandkoming van dit project.

Mei 2017,

Sander Hogewoning

1 Inleiding

In Nederland is tulp de nummer drie qua omzet in snijbloemen. Er worden ± 2 miljard tulpen per jaar gebroeid. De energiekosten voor verwarming zijn relatief hoog met een totaal gasverbruik van circa dertig miljoen m³. Telen in meerdere lagen geeft een forse besparing op de warmtevraag (Wildschut, 2004). Dit omdat een veel kleinere oppervlakte verwarmd hoeft te worden voor eenzelfde productie. In een meerlagenteelt kan gebruik gemaakt worden van een onbelichte laag, één of meerdere lagen met een lage intensiteit belichting, en een toplaag onder natuurlijk daglicht. Omdat met slechts een lage intensiteit wordt belicht, vallen de extra energiekosten mee vergeleken met de stookkosten bij een enkellaags-teelt. Bovendien is de warmte die vrij komt bij de belichting nuttig.

Het probleem is dat de benodigde belichting vaak niet de gewenste bladvorm geeft, en dat bladkiep nog regelmatig voorkomt. Door onderzoek van Plant Lighting en Proeftuin Zwaagdijk gedurende afgelopen winter is ontrafeld welke fotoreceptoren de bladspreiding aansturen (Hogewoning *et al.* 2016). In voorgenoemd rapport staat ook een uitgebreide theoretische onderbouwing en uitleg over de werking van stuurlicht. Tevens is aangetoond dat een goede bladspreiding bladkiep niet kan voorkomen bij een teelt onder 'ongunstige omstandigheden' (o.a. hoge RV).

Het 'belichtingsrecept' voor de juiste plantvorm bij tulp is er nu dus. Echter, voor wat betreft de bereidheid van telers om deze kennis toe te passen in energiebesparende meerlagenteelten, spelen nog een aantal vragen. De grote vraag is of de ideale tulp met dit 'lichtrecept' geteeld kan worden onder realistische, gunstigere omstandigheden, zonder veel uitval door bladkiep. Recent opgedane kennis uit onderzoek van PPO Lisse over de minimale benodigde verdamping om bladkiep te voorkomen sluit hier goed bij aan. Bovendien kan het energieverbruik voor de belichting mogelijk nog verder omlaag door de belichtingsstrategie verder te optimaliseren. Ook is kunnen sturen op een donkerdere bladkleur wenselijk. Het fine-tunen van de belichtings-strategie en vooral het demonstreren van een goede kwaliteit tulp belicht onder LED, moet de stap naar grootschaligere praktijktoepassing van een energiezuinigere meerlagenteelt mogelijk maken.

Doelstellingen

Het inhoudelijke doel van dit onderzoek is tweeledig:

1. Fine-tunen van de belichtingsstrategie voor in een meerlagensysteem. Dit onderzoek vindt plaats in klimaat-units van Plant Lighting en richt zich op de volgende aandachtsgebieden:
 - Verlaging van de energiebehoefte en/of investeringen voor belichting, zonder te hoeven inleveren op kwaliteit. Onderzocht wordt of het verrode gedeelte van het spectrum, dat een aanzienlijk percentage van het energieverbruik voor de belichting vraagt, effectiever kan worden ingezet. Ook wordt onderzocht of eenzelfde kwaliteit behaald kan worden met cyclisch belichten (lampen afwisselend aan/uit) ten opzichte van continu belichten

gedurende 18 uur per dag.

- De relatie tussen teelttemperatuur (teeltsnelheid) en de vereiste lichtintensiteit voor een maximale bladspread
 - Sturen met lichtkleuren op een donkerdere bladkleur.
2. Opschalen teelt met als doel te onderzoeken welke lichtintensiteit benodigd is om een goede kwaliteit tulp te kunnen broeien in een meerlagensysteem. Dit onderzoek vindt plaats in proefkassen van Proeftuin Zwaagdijk: 15 verschillende cultivars worden gebroeid onder verschillende intensiteiten belichting.

Het uiteindelijke doel is besparen op verwarming in de tulpenbroei. Meerlagenteelt leidt tot grote besparing, omdat de teler een veel kleinere kasoppervlakte hoeft te verwarmen om eenzelfde productie te realiseren (Wildschut, 2004). Om tot grootschaligere toepassing te komen willen telers eerst weten of een kwalitatief goede tulp geteeld kan worden in een meerlagensysteem met LED alvorens ze bereid zijn te investeren.

Leeswijzer

- In Hoofdstuk 2 staan de methoden van het onderzoek in het laboratorium van Plant Lighting te Bunnik onder geconditioneerde omstandigheden.
- In Hoofdstuk 3 staan de resultaten hiervan vermeld.
- In Hoofdstuk 4 staan de methoden van de kasproef met 15 cultivars te Zwaagdijk
- In Hoofdstuk 5 staan de resultaten hiervan vermeld.
- In Hoofdstuk 6 staan de samenvatting en conclusies.

2 Materiaal en methoden fine-tuning belichting in klimaat-units

Plantmateriaal en teeltcondities

Er zijn zes proefrondes uitgevoerd in acht klimaatunits van Plant Lighting te Bunnik. Deze proefrondes zijn uitgevoerd met de cultivars 'Ile de France' en 'Purple Flag' (bolmaat 10-11). Deze bollen waren afkomstig van het zuidelijke halfroond (Chili).

De bewortelde bollen in een standaard prikbak (40*60cm; foto1) werden aangeleverd door Proeftuin Zwaagdijk en voor de eerste helft van de broei neergezet in de klimaatunits (0.8 bij 0.8m; Foto 1). Per unit werd van twee verschillende cultivars één kist ieder neergezet: 'Ile de France' en 'Purple Flag'.

Voor proefronde 1 t/m 6 was de teeltduur onder de belichting zeven dagen, met uitzondering van ronde 3, daar was de teeltduur 9 dagen onder de belichting en van teeltronde 4 daar was de teeltduur 6 dagen onder de belichting. Per ronde werden er steeds vier lichtbehandelingen in duplo uitgevoerd. Bij de start en halverwege de week werd de nutriëntenoplossing volledig verversed (standaardrecept voor tulp; EC 1.5 en pH 6.3). De ruimtetemperatuur voor ronde 1 en 2 was 16°C, ronde 3 was 14,4°C, ronde 4 was 17°C en ronde 5 en 6 waren weer 16°C. De RV was 77%.



Foto 1, standaard prikbak (40*60cm) klimaatunit (0.8 bij 0.8m; foto 12-10-16)

Proefdoelen en behandelingen

Het 'succesrecept' dat is voortgekomen uit voorgaand onderzoek (Hogewoning, Meerlagenteelt tulp: Fundamentele oplossingen voor knelpunten belichting., 2016) wordt als uitgangspunt gebruikt in de eerste 6 proefrondes. Dat is LED B450/R660/Fr730 5/24/21 μmol PFD (B= blauw, R=rood, Fr=verrood, het getal achter de letter duidt op de piekgolflengte van de LED's in nanometers). De hoofddoelstelling in de zes proefronden is tweeledig: (1) kan het 'succesrecept' zo worden aangepast dat met minder energie en investeringen hetzelfde bereikt wordt, en (2) kan de kwaliteit, met name de bladkleur, worden verbeterd. Het doel per proefronde en bijbehorende behandelingen staan in Tabel 1 weergegeven.

De bijbehorende belichtingsbehandelingen werden uitgevoerd met LED-lampen onder daglichtloze omstandigheden. De lichtintensiteit werd 6 cm boven de teelttafel bepaald. Doordat verrood licht buiten het PAR-gebied valt (PAR= μmol fotonen tussen 400-700 nm; ook wel uitgedrukt als PPFD=photosynthetic photon flux density) is de lichtintensiteit in dit rapport regelmatig als PFD (PFD=photon flux density; in dit geval μmol fotonen tussen 400-800 nm) weergegeven. De fotoperiode was altijd 18 uur. In proefronde 6 zijn twee behandelingen na de 7 dagen LED belichting afgebroeid onder kunstdaglicht (simulatie bovenste teeltlaag kas in winter) bij een fotoperiode van 7 uur, met en zonder 18 uur bijbelichting met LED R/B (zie proefdoelen in Tabel 1 onder).

Tabel 1. Behandelingen per proefronde. Iedere proefronde werd in duplo uitgevoerd.

Proefronde	Doel	Behandelingen per ronde
1	Verrood behoefte voor bladspreiding en effect bladkleur	4 behandelingen; LED B450/R660/Fr730 5/24/21 μmol PFD; FR hele teelt aan, Fr na 2 dagen uit, Fr na 4 dagen uit en Fr na 2 dagen intensiteit gehalveerd.
2	Bladkleur sturen met kortere golflengte	LED B450/R660/Fr730 5/24/21 μmol PFD (50) LED B405/R660/Fr730 5/24/21 μmol PFD (50) LED UV380/R660/Fr730 5/24/21 μmol PFD (50) LED B405/B450/R660/Fr730 5/5/24/21 μmol PFD (55)
3	Lichtintensiteit afhankelijk van teeltsnelheid?	LED B450/R660/Fr730; 15 μmol PFD, 30 μmol PFD, 45 μmol PFD en 60 μmol PFD. bij een temperatuur van 14,5 °C.
4	Lichtintensiteit afhankelijk van teeltsnelheid?	LED B450/R660/Fr730; 15 μmol PFD, 30 μmol PFD, 45 μmol PFD en 60 μmol PFD. bij een temperatuur van 17 °C.
5	Cyclisch belichten	LED B450/R660/Fr730 3/14.4/12.6 μmol PFD (30); continu aan, 1 min aan/1 min uit, 1 min aan/3min uit en 5 min aan/ 15 min uit.
6	Cyclisch belichten hoogfrequent en bladkleuring afbroei	LED B450/R660/Fr730 2/9.6/8.4 μmol PFD (20); continu aan, 0.04sec aan/0.08 sec uit. LED B450/R660/Fr730 5/24/21 μmol PFD (50) en afbroei kunstdaglicht met en zonder LED B450/R660 3/27 PFD (30)

**Omdat verrood buiten het PAR-gebied valt (ook wel uitgedrukt als PPFD=photosynthetic photon flux density; μmol fotonen tussen 400-700 nm) is de lichtintensiteit in dit verslag regelmatig als PFD (PFD=photon flux density; in dit geval μmol fotonen tussen 400-800 nm) weergegeven.*

3 Resultaten: Fine-tuning belichting in klimaatunits

3.1 Proefronde 1. Verrood behoefte voor bladspreading en effect op bladkleur

Proefronde 1 werd op 5 oktober 2016 ingezet (dag 0 belichting). Het doel was te onderzoeken wat de verrood behoefte was voor een maximale bladspreading. Dit, omdat de relatieve energiebehoefte van het verrode licht in het lichtspectrum dat vorig jaar het meest succesvol bleek, aanzienlijk is (51%, zie Tabel 2). Hiertoe zijn er vier behandelingen in duplo uitgevoerd die verschilden in het aantal dagen en intensiteit verrood belichting. De lichtintensiteit op dag 0 was 50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PFD. Het effect werd gemeten door middel van de bladspreading te meten van zowel het eerste als het tweede blad.

Ook is het effect van de verrood-reductie op de bladkleur gemeten met behulp van een SPAD-meter. De eerste 7 dagen stonden de tulpen bij 16°C en een RV van 77%. Nadat de tulpen 7 dagen belicht waren zijn ze in een kas van Proeftuin Zwaagdijk verder gebroeid zonder belichting.

Tabel 2. Verhoudingen μmol licht en energieverbruik van de drie typen LED's in het licht-spectrum dat in 2015/16 het meest succesvol bleek voorsturen op bladspreading.

	μmol	$\mu\text{mol}/\text{J}$	Watt	% energie
Blauw (B)	5	1.6	3.1	12.8%
Rood (R)	24	2.7	8.9	36.5%
Verrood (Fr)	21	1.7	12.4	50.7%

De volgende 4 behandelingen zijn *in duplo* uitgevoerd in 8 klimaat-units bij 18 uur fotoperiode:

1. LED B450/R660/Fr730 5/24/21 μmol PFD: hele teelt aan
2. LED B450/R660/Fr730 5/24/21 μmol PFD: Fr na 2 dagen uit
3. LED B450/R660/Fr730 5/24/21 μmol PFD: Fr na 4 dagen uit
4. LED B450/R660/Fr730 5/24/21 μmol PFD: Fr na 2 dagen intensiteit gehalveerd

Verrood uit na 2 dagen gaf de minste bladspreading, wat vooral opvalt bij het tweede (binnenste) blad (Tabel 3; Foto 2, 3, 4 & 5). Er kan geconcludeerd worden dat de verrood belichting beter niet na twee dagen uitgeschakeld kan worden bij Purple Flag (zie Foto 5). Dat zorgt er namelijk voor dat de bloemen meer vast zitten in het blad. Echter was dit bij de oogstbeoordeling nauwelijks meer te zien. Verrood uitschakelen na vier dagen (Behandeling 3) geeft voornamelijk minder bladspreading in het binnenste blad. Het halveren van de intensiteit verrood na twee dagen resulteerde in een bladspreading vrijwel gelijk aan de controle.

Tabel 3. Mate van bladspreiding in mm proefronde 1 gemeten na 7 dagen belichting 12-10-16. Verschillende letters (a,b,c) geven statistisch significante verschillen tussen de gemiddelden aan (N=2 kisten, waarvan 40 bladeren per kist gemeten voor het buitenste blad en 30 bladeren per kist voor het binnenste blad; Fisher's LSD $\alpha < 0.05$; ns=niet significant).

Spreiding	Ile de France	Buitenste blad				Ile de France	Binnenste blad			
	Beh. 1	Beh. 2	Beh. 3	Beh. 4		Beh. 1	Beh. 2	Beh. 3	Beh. 4	
a	28,5	26,7	31,4	30,3		8,8	2,1	4,6	8,5	
b	28,9	28,2	30,5	26,3		8,9	3,4	6,5	8,5	
Gemiddeld	29 ^{ns}	27 ^{ns}	31 ^{ns}	28 ^{ns}		9 ^a	3 ^c	6 ^b	9 ^a	

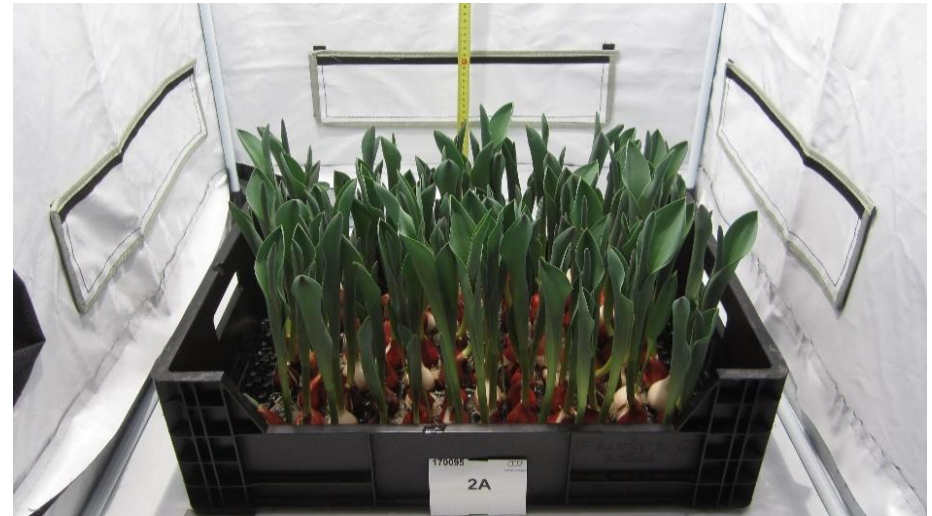
Spreiding	Purple Flag	Buitenste blad				Purple Flag	Binnenste blad			
	Beh. 1	Beh. 2	Beh. 3	Beh. 4		Beh. 1	Beh. 2	Beh. 3	Beh. 4	
a	22,7	18,2	17,9	18,4		8,2	3,8	2,3	5,7	
b	22,5	18,3	22,2	20,0		8,1	2,5	3,8	8,1	
Gemiddeld	23 ^{ns}	18 ^{ns}	20 ^{ns}	19 ^{ns}		8 ^a	3 ^b	3 ^b	7 ^a	

Verrood uit na 2 dagen resulteerde in de donkerste bladkleur. Het is bekend dat verrood licht in een lichtere bladkleur resulteert, vanwege een lagere chlorofyl a/b ratio en minder niet-fotosynthetisch actieve pigmenten. De resultaten van behandeling 1 en 4 liggen dicht bij elkaar en behandeling 3 zit er tussenin na 7 dagen belichten. Bij veilstadium is de bladkleur (SPAD-waarde) van behandeling 2 bij 'Ile de France' nog altijd donkerder, echter de verschillen zijn kleiner geworden ten opzichte van na 7 dagen belichten (Figuur 1). Bij 'Purple Flag' zijn de verschillen in bladkleur (SPAD-waarde) bijna verdwenen bij veilstadium en ook na 4 dagen op de vaas is het verschil klein. Echter, na langere periode op de vaas is het blad van behandeling 1 duidelijk geler bij 'Purple Flag' (zie Foto 3). Bij 'Ile de France' is te zien dat de behandelingen met langer verrood resulteren in minder stevige tulpen (zie Foto 6).

Behandeling 1 = 7 dagen belicht met verrood



Behandeling 2 = 2 dagen belicht met verrood



Behandeling 3 = 4 dagen belicht met verrood



Behandeling 4 = na 2 dagen verrood intensiteit gehalveerd

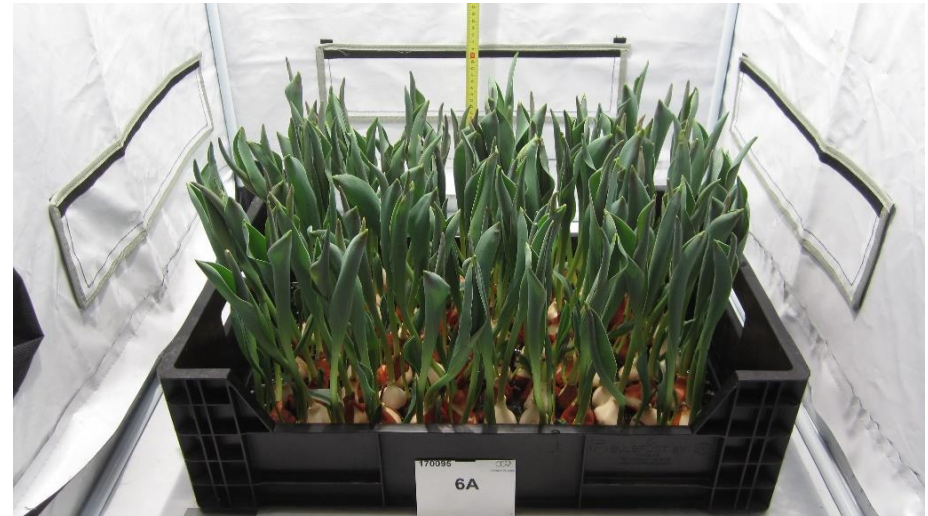


Foto 2. Ile de France op de 7^e dag na start belichting (12 oktober 2016).

Behandeling 1 = 7 dagen belicht met verrood



Behandeling 2 = 2 dagen belicht met verrood



Behandeling 3 = 4 dagen belicht met verrood



Behandeling 4 = na 2 dagen verrood intensiteit gehalveerd



Foto 3. Purple Flag op de 7^e dag na start belichting (12 oktober 2016).

Behandeling 1t/m4 Ile de France

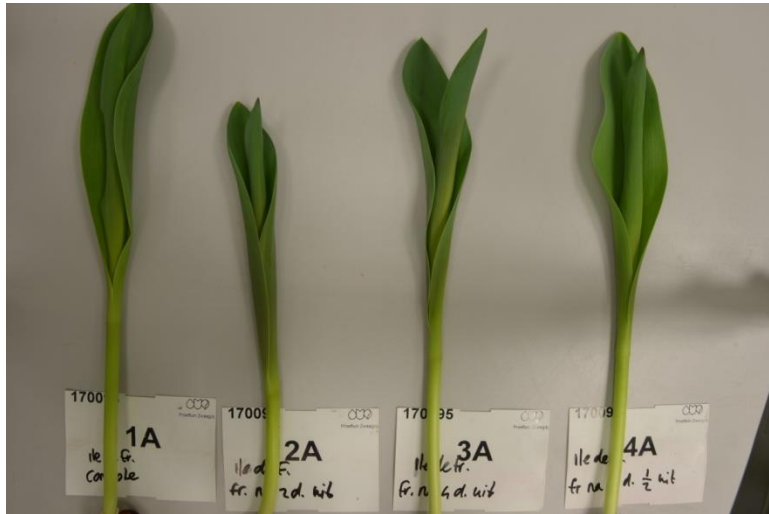
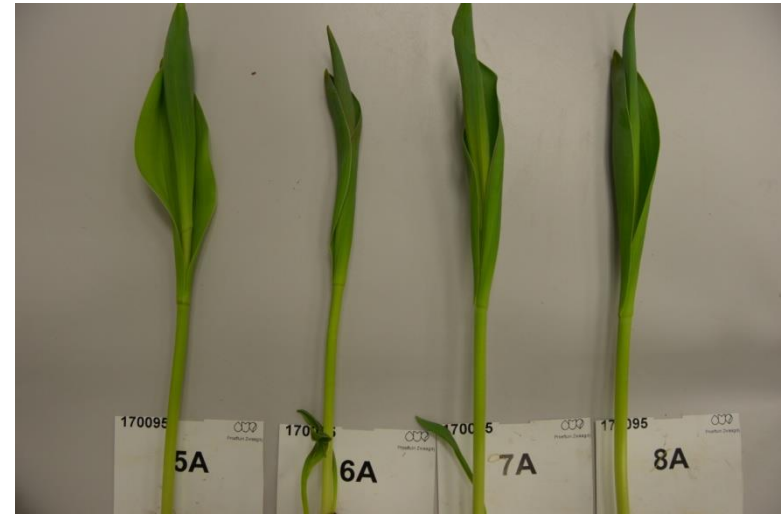


Foto 4. Groot verschil van spreiding bij onderkant buitenstebblad 13-10-2016

Behandeling 1 = 7 dagen belicht met verrood

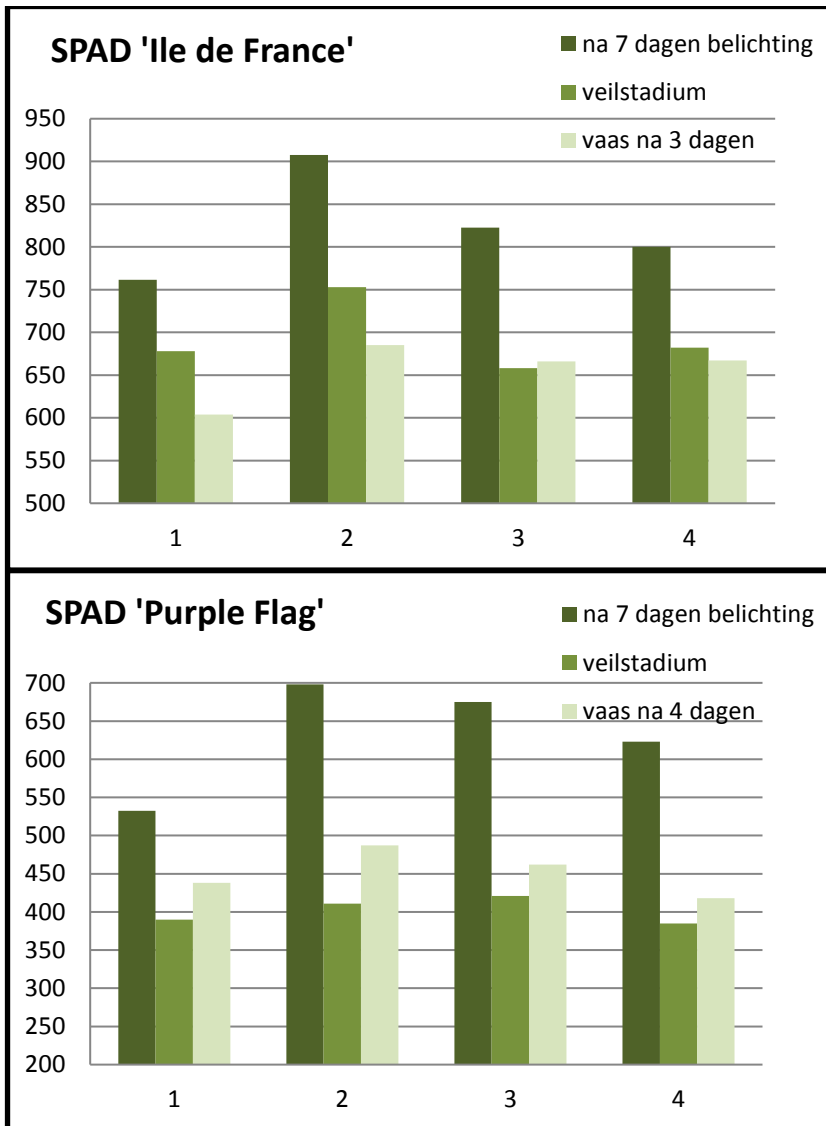
Behandeling 1t/m4 Purple Flag



Behandeling 2 = 2 dagen belicht met verrood



Foto 5. Behandeling 1 en 2 Purple Flag: kortere periode verrood geeft minder bladspreiding waardoor meer bloemen vast zitten in blad (19-10-2016).



Figuur 1. SPAD metingen 'Ile de France' en 'Purple Flag'. Metingen na 7 dagen belichting op 12-10-16, veilstadium bij Ile de Franche 24-10-16, Purple Flag 20-10-2016, vaasleven Ile de franche 27-10-16, Purple Flag 24-10-16. Een hogere SPAD-waarde duidt op een donkerdere bladkleur.



Foto 6 (31-10-16). Vaasleven 'Ile de France' en 'Purple Flag': behandeling 1 t/m 4 van links naar rechts. Aan het einde van het vaasleven zijn de bladeren van behandeling 1 bij 'Purple Flag' duidelijk geler.

De verschillen in lengte tussen de behandelingen zijn bij veilstadium erg klein in vergelijking met de verschillen na 7 dagen belichten (Tabel 4; lengte inclusief bol!).

Behandeling 2 heeft bij 'Ile de France' het laagste gewicht en er is evenals in het onderzoek vorig jaar een trend waarneembaar van een iets kortere broeitijd bij de behandelingen met meer verrood (Tabel 4).

Tabel 4. Lengte na 7 dagen belichting inclusief bol (9cm; 12-10-16). Gewicht en lengte bij veilstadium (Ile de France 24-10-16, Purple Flag 20-10-2016).

Veld	Behandeling	Lengte na 7 dagen	Lengte veilstadium	Gewicht/plant	Gewicht per cm	Kasdagen
1 Ile de France	hele teelt aan	33,5	46,7	29,5	0,63	18
2 Ile de France	na 2 dagen uit	29,8	45,6	28,9	0,64	19
3 Ile de France	na 4 dagen uit	33	46,4	29,3	0,61	19
4 Ile de France	na 2 dagen intensiteit gehalveerd	35,8	47,4	29,8	0,63	18
1 Purple Flag	hele teelt aan	39,5	43,9	24,1	0,55	14
2 Purple Flag	na 2 dagen uit	34,3	44	23,2	0,53	15
3 Purple Flag	na 4 dagen uit	35,5	43,6	23	0,53	14
4 Purple Flag	na 2 dagen intensiteit gehalveerd	37,5	43,8	24,1	0,54	14

Conclusie

Een kortere periode verrood resulteert in tulpen met een donkerdere blad kleur. Vooral de tulpen in de behandeling waarin verrood al na 2 dagen uit ging waren beduidend donkerder van blad. Echter, ook de bladspreiding was beduidend minder bij deze behandeling. Bij 'Ile de France' was de mindere mate van bladspreiding geen probleem voor de kwaliteit. Integendeel, op de vaas leken de tulpen uit de behandeling met slechts 2 dagen verrood eerder steviger, hoewel dit slechts een indicatieve test was. Bij 'Purple Flag' had de mindere bladspreiding als gevolg dat een deel van de bloemen vast bleef zitten in het blad.

De ideale dosering van verrood is dus rasafhankelijk, en mogelijk ook afhankelijk van het seizoen en de partij bollen. Minder verrood bespaart stroom en geeft een donkerdere bladkleur, maar te weinig verrood kan onvoldoende bladspreiding geven. Daarom is het aan te raden de belichting in LED-armaturen dimbaar te maken, waarbij het verrood in ieder geval onafhankelijk van de andere kleuren gedimd kan worden. Zo kunnen tulpenbroeiers voor iedere cultivar de belichtingsstrategie fine-tunen.

3.2 Proefronde 2. Effect kortere golflengtes op bladkleur

Proefronde 2 ging van start op 12 oktober 2016. Het doel van proefronde 2 was om te onderzoeken of verschillende spectra in het kortere golflengtegebied (UV-A/blauw) effect hebben op de bladkleur. Ook de spreiding van het buitenste blad is gemeten. De bladkleur is gemeten met behulp van een SPAD-meter. De eerste 7 dagen stonden de tulpen bij een temperatuur van 16°C en een RV van 77%. Nadat de tulpen 7 dagen belicht waren zijn ze in een kas van Proeftuin Zwaagdijk verder gebroeid zonder belichting.

De volgende 4 behandelingen zijn in duplo uitgevoerd in 8 klimaat-units bij 18 uur fotoperiode:

1. LED B450/R660/Fr730 5/24/21 μmol PFD (50)
2. LED B405/R660/Fr730 5/24/21 μmol PFD (50)
3. LED UV380/R660/Fr730 5/24/21 μmol PFD (50)
4. LED B405/B450/R660/Fr730 5/5/24/21 μmol PFD (55)

De verschillen tussen de behandelingen in bladspreiding waren klein (Tabel 5, Foto 7 / 8). Ook het effect op de bladkleur, het hoofddoel in deze proefronde, was klein (Figuur 2). Het effect van het reduceren van verrood op bladkleur in proefronde 1 was veel groter dan het vervangen van blauw 450 nm door eenzelfde (lage) intensiteit blauw 405 nm of UV-A 380 nm, of het toevoegen van 5 μmol blauw 405 nm aan de 5 μmol blauw 450 nm (behandeling 4) in deze proefronde: vergelijk Figuur 1 en 2. Hierbij moet worden opgemerkt dat van behandeling 3 de lichtintensiteit van de UV-LED's gedurende de loop van de proef afnam door verkleuring van de lensjes. Deze behandeling is dus niet representatief. Echter, vanwege het ontbreken van grote effecten op bladkleur bij de andere behandelingen met een piekgolflengte zeer dicht in de buurt van 380 nm (405 nm), is besloten verder geen aandacht meer te besteden aan de 380 nm behandeling.

Tabel 5. Mate van bladspreiding buitenste blad in mm proefronde 2 gemeten na 7 dagen belichting 19-10-16. Verschillende letters (a,b,c) geven statistisch significante verschillen tussen gemiddelden aan (N=2, 40 bladeren per kist gemeten; Fisher's LSD $\alpha < 0.05$; ns=niet significant).

Spreiding	Ile de France			
	Beh. 1	Beh. 2	Beh. 3	Beh. 4
a	31,9	29,3	25,9	28,1
b	30,2	30,8	30,0	30,5
Gemiddeld	31 ^{ns}	30 ^{ns}	28 ^{ns}	29 ^{ns}

Spreiding	Purple Flag			
	Beh. 1	Beh. 2	Beh. 3	Beh. 4
a	22,6	19,2	18,9	19,0
b	21,6	20,4	18,9	20,0
Gemiddeld	22 ^a	20 ^b	19 ^b	19 ^b

Behandeling 1 = LED B450/R660/Fr730 5/24/21 $\mu\text{mol PFD}$ (50)



Behandeling 2 = LED B405/R660/Fr730 5/24/21 $\mu\text{mol PFD}$ (50)



Behandeling 3 = UV380/R660/Fr730 5/24/21 $\mu\text{mol PFD}$ (50)



Behandeling 4 = B405/B450/R660/Fr730 5/5/24/21 $\mu\text{mol PFD}$ (55)



Foto 7. Ronde 2: Ile de France op de 7^e dag na start belichting (19 oktober 2016).

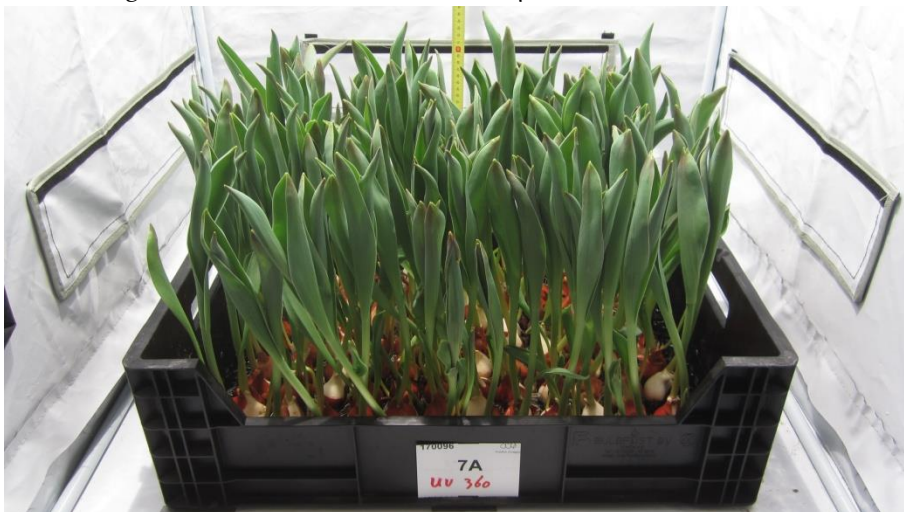
Behandeling 1 = LED B450/R660/Fr730 5/24/21 μmol PFD (50)



Behandeling 2 = LED B405/R660/Fr730 5/24/21 μmol PFD (50)



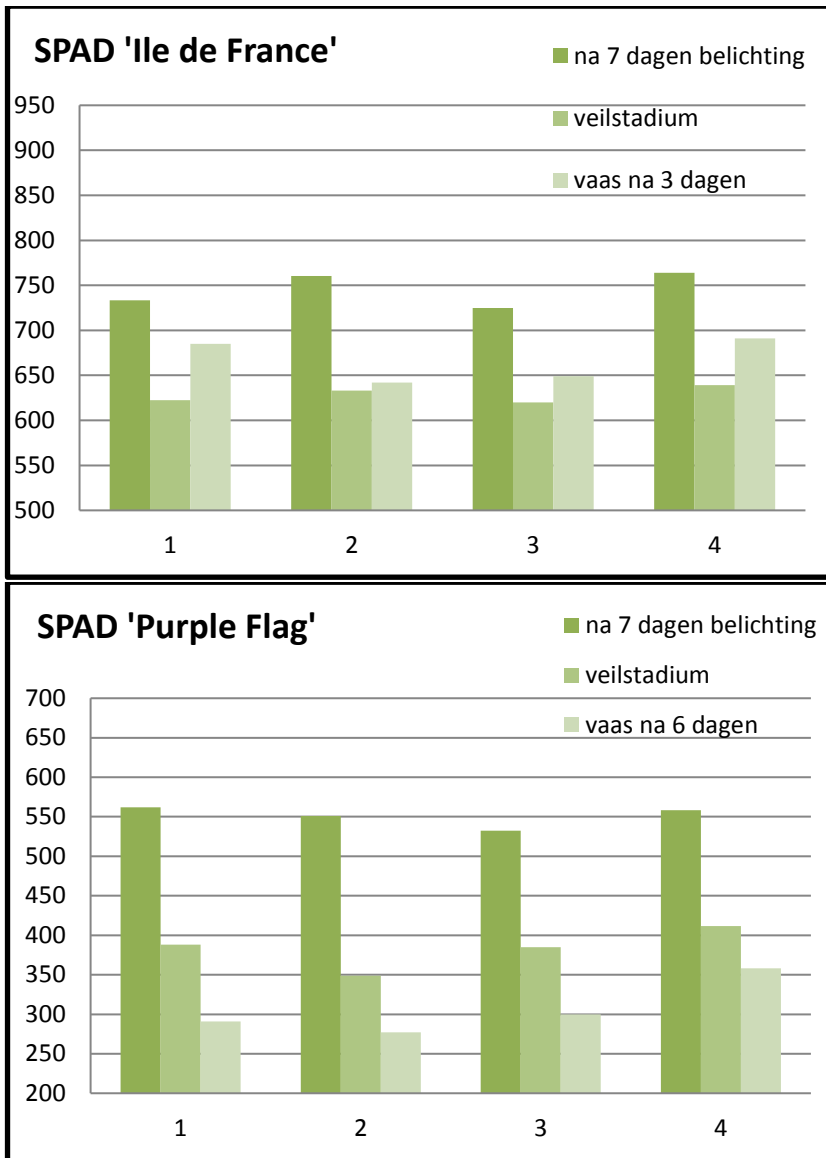
Behandeling 3 = UV380/R660/Fr730 5/24/21 μmol PFD (50)



Behandeling 4 = B405/B450/R660/Fr730 5/5/24/21 μmol PFD (55)



Foto 8. Ronde 2: Purple Flag op de 7^e dag na start belichting (19 oktober 2016).



Figuur 2. SPAD metingen na 7 dagen belichting op 19-10-16, veilstadium bij Ile de France 31-10-16, Purple Flag 27-10-2016, vaasleven Ile de France 2-11-16, Purple Flag 2-11-16.

Ook lengte, gewicht en aantal kasdagen verschilden niet opvallend tussen de behandelingen (Tabel 6).

Tabel 6. Gewicht en lengte bij veilstadium (Ile de France 31-10-16, Purple Flag 27-10-2016). Lengte na 7 dagen belichting is inclusief bol (9cm).

Behandeling	Cultivar	Lengte na 7 dagen	Lengte veilstadium	Gewicht/plant	Gewicht per cm	Kasdagen
1 LED B450/R660/Fr730 5/24/21 μmol PFD (50)	Ile de France	35,3	48,9	31,2	0,64	19
2 LED B405/R660/Fr730 5/24/21 μmol PFD (50)	Ile de France	35,3	48,3	31,5	0,65	19
3 LED UV380/R660/Fr730 5/24/21 μmol PFD (50)	Ile de France	34,8	48,4	31,3	0,65	19
4 LED B405/B450/R660/Fr730 5/5/24/21 μmol PFD (55)	Ile de France	34,5	48,1	30,6	0,64	19
1 LED B450/R660/Fr730 5/24/21 μmol PFD (50)	Purple Flag	37,5	43,4	24,8	0,57	15
2 LED B405/R660/Fr730 5/24/21 μmol PFD (50)	Purple Flag	37,5	43,4	24,3	0,56	15
3 LED UV380/R660/Fr730 5/24/21 μmol PFD (50)	Purple Flag	38,5	43,9	24,5	0,56	15
4 LED B405/B450/R660/Fr730 5/5/24/21 μmol PFD (55)	Purple Flag	37,5	43,2	24,5	0,57	15

Conclusie

Het vervangen van de lage intensiteit blauw (450 nm) door een kortere golflengte blauw/UV-A geeft geen beduidend donkerder blad. Het effect van reduceren van het verrood licht gaf een veel groter effect op de bladkleuring (zie conclusie proefronde 1).

LED's van 380 nm of 405 nm zijn minder efficiënt (μmol licht per Joule energie-input) en bovendien vaak ook duurder dan 450 nm LED's. Daarom is er voor gekozen om de LED B450 als standaard aan te houden in de volgende proefopstellingen. Mogelijk geeft een veel hogere intensiteit licht met korte golflengte wel het gewenste donkerder gekleurde blad, echter, de kosten hiervan zullen een belemmering vormen voor praktijktoepassing.

3.3 Proefronde 3 en 4. Effect lichtintensiteit op bladspreiding: afhankelijkheid van teeltsnelheid

Proefronde 3 en 4 gingen van start op respectievelijk 19 en 28 oktober 2016. Het doel van proefronde 3 en 4 was om te onderzoeken of de lichtintensiteit benodigd voor optimale bladspreiding, afhangt van teeltsnelheid: Kan bij een tragere teelt een lagere intensiteit licht toegepast worden dan bij een snellere teelt?

In proefronde 3 werd trager geteeld: De eerste 9 dagen stonden de tulpen bij een temperatuur van 14.9°C. In proefronde 4 werd gedurende 6 dagen bij een temperatuur van 17.9°C geteeld. De RV was in beide proefronden 77%. Na afloop van de respectievelijk 9 en 6 dagen LED-belichting zijn de tulpen in een kas bij Proeftuin Zwaagdijk verder gebroeid zonder belichting bij een temperatuur van 14-15 °C en een RV van ~77%.

In beide proefronden zijn de volgende 4 behandelingen *in duplo* uitgevoerd in 8 klimaat-units bij 18 uur fotoperiode:

1. LED B450/R660/Fr730 15 $\mu\text{mol PFD}$
2. LED B450/R660/Fr730 30 $\mu\text{mol PFD}$
3. LED B450/R660/Fr730 45 $\mu\text{mol PFD}$
4. LED B450/R660/Fr730 60 $\mu\text{mol PFD}$

In Tabel 7 is te zien dat bij de tragere teelt in proefronde 3 een PFD van 15 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ voldoet voor een maximale bladspreiding van 'Ile de France'. Bij 'Purple Flag' is 30 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ voldoende. De hogere lichtbehoefte van 'Purple Flag' is in lijn met de resultaten van vorig jaar (Hogewoning et al ,2016), waaruit bij een snellere teelt (17 °C) een maximale bladspreiding gemeten werd vanaf 30 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ bij 'Ile de France' en vanaf 50 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ PFD bij 'Purple Flag'.

In proefronde 4 blijkt inderdaad dat de lichtbehoefte voor een maximale bladspreiding hoger is bij een snellere teelt (Tabel 8). Na 6 dagen belichting is bij beide cultivars de bladspreiding het beste bij de behandeling 60 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ PFD. Bij de snellere teelt is dus een hogere lichtintensiteit nodig is voor maximale spreiding in vergelijking tot de tragere teelt in proefronde 3. Zie ook Foto's 9, 10, 11 & 12.

Tabel 7. Proefronde 3: Mate van bladspreiding buitenste blad in mm na 9 dagen belichting 28-10-16. Verschillende letters (a,b,c) geven statistisch significante verschillen tussen gemiddelden aan (N=2, 40 bladeren per kist gemeten; Fisher's LSD $\alpha < 0.05$; ns=niet significant).

Spreiding	Ile de France				Purple Flag			
	Beh. 1	Beh. 2	Beh. 3	Beh. 4	Beh. 1	Beh. 2	Beh. 3	Beh. 4
a	30,5	30,7	32,7	28,9	15,7	19,2	18,5	21,5
b	28,3	32,0	32,2	32,4	17,4	20,4	21,2	26,8
Gemiddeld	29 ^{ns}	31 ^{ns}	32 ^{ns}	31 ^{ns}	17 ^b	20 ^a	20 ^a	24 ^a

Tabel 8. Proefronde 4: Mate van bladspreiding buitensteblad in mm na 6 dagen belichting 3-11-16. Verschillende letters (a,b,c) geven statistisch significante verschillen tussen gemiddelden aan (N=2, 40 bladeren per kist gemeten; Fisher's LSD $\alpha < 0.05$).

Spreiding	Ile de France				Purple Flag			
	Beh. 1	Beh. 2	Beh. 3	Beh. 4	Beh. 1	Beh. 2	Beh. 3	Beh. 4
a	21,2	23,4	25,8	30,4	13,7	20,0	20,0	23,2
b	21,3	23,7	27,1	29,8	13,1	19,1	23,2	24,8
Gemiddeld	21 ^d	24 ^c	26 ^b	30 ^a	13 ^c	20 ^b	22 ^{ab}	24 ^a

De bladkleur (SPAD-metingen, Figuur 3) laat geen consistente reactie op teeltsnelheid zien. Vergelijk is ook lastig vanwege mogelijke verschillen in ontwikkelingsstadium op het tijdstip van meten na de LED-belichtingsperiode in de klimaatcellen. Ook in het veilstadium is vergelijk tussen de twee proefronden lastig, vanwege de volgtijdelijke afbroei-periodes in de kas in Zwaagdijk waarin de daglicht-omstandigheden verschillend geweest zijn.

Bij toenemende lichtintensiteit is er wel sprake van een zwakke tendens dat de bladkleur donkerder wordt. De 15 μmol behandeling heeft consequent de laagste SPAD-waarde aan het einde van de LED-belichte periode. Vooral bij 'Purple Flag' geteeld bij de hogere temperatuur is er een duidelijke toename in de SPAD-waarde met toenemend licht. Echter, na een afbroeiperiode in de kas in Zwaagdijk zijn die verschillen in het veilstadium weer verdwenen. Vooral in (meerlagen)teelten waarin de periode onder natuurlijk daglicht zeer kort is, of ontbreekt, is het effect van lichtintensiteit op bladkleur dus relevant.

LED B450/R660/Fr730 15 $\mu\text{mol PFD}$



LED B450/R660/Fr730 30 $\mu\text{mol PFD}$



LED B450/R660/Fr730 45 $\mu\text{mol PFD}$



LED B450/R660/Fr730 60 $\mu\text{mol PFD}$



Foto 9. Ronde 3 (tragere teelt 14.9 °C): 'Ile de France' op de 9^e dag na start belichting (28 oktober 2016).

LED B450/R660/Fr730 15 $\mu\text{mol PFD}$



LED B450/R660/Fr730 30 $\mu\text{mol PFD}$



LED B450/R660/Fr730 45 $\mu\text{mol PFD}$



LED B450/R660/Fr730 60 $\mu\text{mol PFD}$



Foto 10. Ronde 4 (snellere teelt 17.9 °C): 'Ile de France' op de 6^e dag na start belichting (3 nov 2016).

LED B450/R660/Fr730 15 $\mu\text{mol PFD}$



LED B450/R660/Fr730 30 $\mu\text{mol PFD}$



B450/R660/Fr730 45 $\mu\text{mol PFD}$



LED B450/R660/Fr730 60 $\mu\text{mol PFD}$



Foto 11. Ronde 3 (tragere teelt 14.9 °C): 'Purple Flag' op de 9^e dag na start belichting (28 oktober 2016).

LED B450/R660/Fr730 15 $\mu\text{mol PFD}$



LED B450/R660/Fr730 30 $\mu\text{mol PFD}$



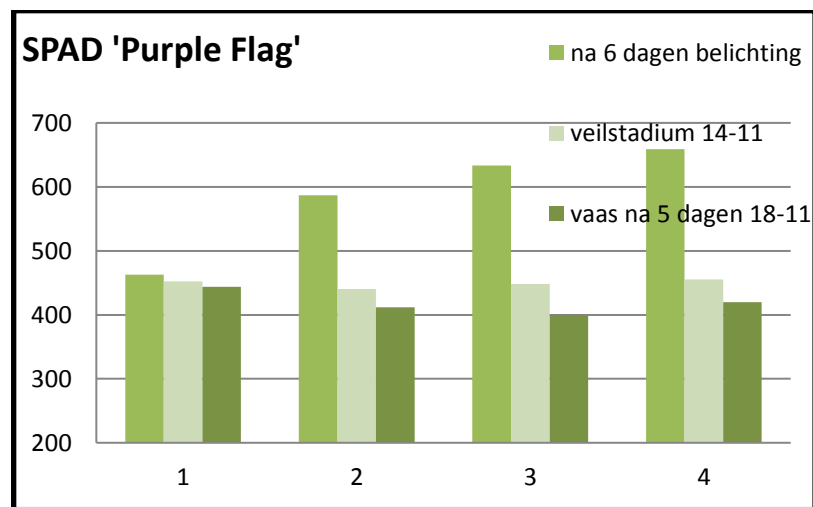
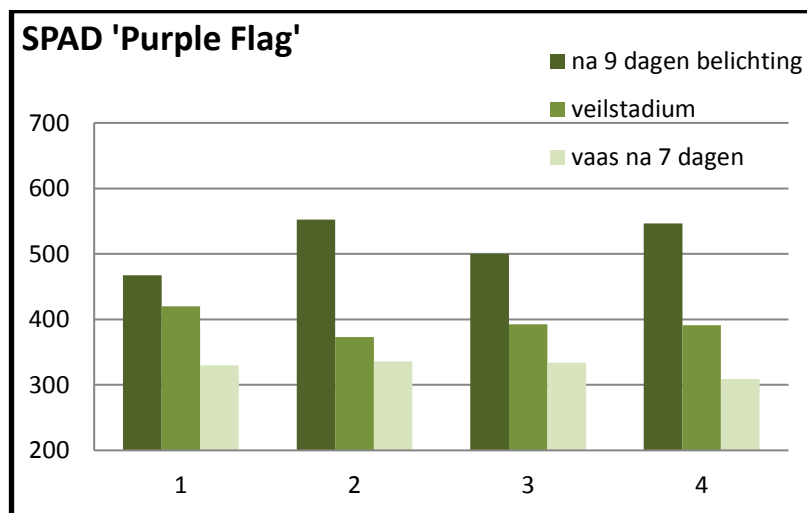
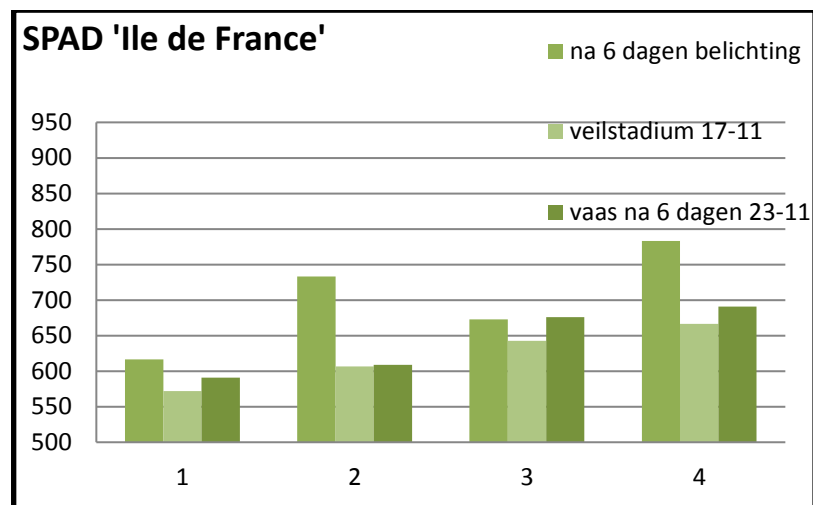
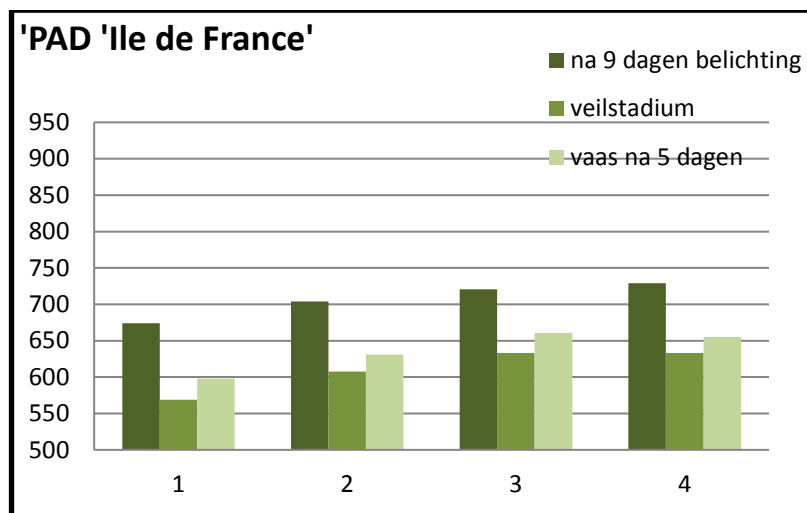
LED B450/R660/Fr730 45 $\mu\text{mol PFD}$



LED B450/R660/Fr730 60 $\mu\text{mol PFD}$



Foto 12. Ronde 4 (snellere teelt 17.9 °C): 'Purple Flag' op de 6^e dag na start belichting (3 nov 2016).



Figuur 3. SPAD metingen Ile de France en Purple Flag uit de tragere teelt bij 14.9 °C in proefronde 3 (links) en de snellere teelt bij 17.9 °C in proefronde 4 (rechts). Proefronde 3: Meting na 9 dagen belichting op 28-10-16, veilstadium bij Ile de France 9-11-16, Purple Flag 4-11-2016, vaasleven Ile de France 11-11-16, Purple Flag 14-11-16. Proefronde 4: Meting na 6 dagen belichting op 3-11-16, veilstadium bij Ile de France 17-11-16, Purple Flag 14-11-2016, vaasleven Ile de France 23-11-16, Purple Flag 18-11-16.

Hoewel de verschillen klein zijn, geeft de tragere teelt (Tabel 9) iets meer stengellengte in het veilstadium dan de snellere teelt (Tabel 10). Vooral bij 'Purple Flag' vallen de lengteverschillen op: 1.4 tot 1.9 cm meer lengte bij de tragere teelt. Ook geeft de tragere teelt net iets meer gewicht.

Bij beide proefronden valt op dat een hogere lichtintensiteit tijdens de periode in de klimaatcellen de lengte in het veilstadium iets reduceert. Meer licht gaf niet meer gewicht.

Tabel 9. Proefronde 3: Tragere teelt bij 14.9 °C Gewicht en lengte bij veilstadium (Ile de France 9-11-16, Purple Flag 4-11-2016). Lengte na 7 dagen belichting is inclusief bol (9cm)

Beh	Behandeling	Cultivar	Lengte na 9 dagen	Lengte veilstadium	Gewicht plant	gewicht per cm	Kasdagen
1	15 umol PFD	Ile de France	38	48,3	31,4	0,65	20
2	30 umol PFD	Ile de France	38	48,5	31,6	0,65	20
3	45 umol PFD	Ile de France	35,5	48,3	31,2	0,65	20
4	60 umol PFD	Ile de France	36	47,4	29,9	0,63	20
1	15 umol PFD	Purple Flag	40,5	44,6	24,3	0,55	16
2	30 umol PFD	Purple Flag	40	44,0	24,3	0,55	16
3	45 umol PFD	Purple Flag	39	43,3	24,3	0,56	16
4	60 umol PFD	Purple Flag	38,5	42,8	23,8	0,56	16

Tabel 10. Proefronde 4: Snellere teelt bij 17.9 °C. Gewicht en lengte bij veilstadium (Ile de France 17-11-16, Purple Flag 14-11-16). Lengte na 6 dagen belichting is inclusief bol (9cm).

Beh,	Behandeling	Cultivar	Lengte na 6 dagen	Lengte veilstadium	Gewicht plant	Gewicht per cm	Kasdagen
1	15 umol PFD	Ile de France	32	47,3	29,8	0,63	18
2	30 umol PFD	Ile de France	32	47,9	30,4	0,63	19
3	45 umol PFD	Ile de France	30,5	47,7	30,2	0,63	19
4	60 umol PFD	Ile de France	30	47,7	30,6	0,64	19
5	15 umol PFD	Purple Flag	35,5	43,0	23,6	0,55	14
6	30 umol PFD	Purple Flag	35	42,1	23,6	0,56	14
7	45 umol PFD	Purple Flag	34	41,6	23,4	0,56	14
8	60 umol PFD	Purple Flag	34	41,4	23,1	0,56	14

Conclusie proefronden 3 en 4

Bij een hogere teeltsnelheid is een hogere lichtintensiteit benodigd voor een maximale bladspreiding. Mogelijk is de lichtsom, gedurende de periode waarin een de tulp een bepaalde ontwikkeling moet doormaken, bepalend voor de mate van bladspreiding, vergelijkbaar met de rol die een temperatuursom (graaddagen) kan spelen in fysiologische processen.

3.4 Proefronde 5. Effect cyclisch belichting op bladspreiding

Proefronde 5 ging van start op 3 november 2016. Het doel van deze proefronde was om te onderzoeken of met cyclisch belichten eenzelfde bladspreiding gerealiseerd kan worden als met eenzelfde lichtintensiteit continu. Zo kan namelijk veel elektriciteit bespaard worden. De gedachte achter cyclisch belichten is dat het effect van licht op bladspreiding een stuurlicht-effect is: Met het stuurlicht wordt de activatie van verschillende fotoreceptoren aangestuurd. De vraag is of voor eenzelfde activatie van die fotoreceptoren continu licht nodig is, of dat de belichting ook kort onderbroken mag worden.

Het standaard lichtspectrum B450/R660/Fr730 is hierbij gebruikt. Hierbij was de lichtintensiteit 30 $\mu\text{mol PFD}$, dus lager dan de standaard lichtintensiteit van 50 $\mu\text{mol PFD}$. Er is voor een lagere lichtintensiteit gekozen om de verschillen tussen de behandelingen duidelijker te krijgen. Immers, bij 'Ile de France' bij een broeitemperatuur van 16 °C bleek vorig jaar al dat 30 $\mu\text{mol PFD}$ voldoende is voor een maximale bladspreiding. Dan is ook niet te verwachten dat de bladspreiding sterk afneemt door halvering van de lichtsom door met 50 $\mu\text{mol PFD}$ cyclisch te belichten. Het effect van het cyclisch belichten werd gemeten door middel van het meten van de bladspreiding van het buitenste blad. De eerste 7 dagen stonden de tulpen bij 16°C en een RV van 77%.

De volgende 4 behandelingen zijn in duplo uitgevoerd in 8 klimaat-units bij 18 uur fotoperiode:

1. LED B450/R660/Fr730 30 $\mu\text{mol PFD}$: continu aan
2. LED B450/R660/Fr730 30 $\mu\text{mol PFD}$: 1 min aan, 1 min uit
3. LED B450/R660/Fr730 30 $\mu\text{mol PFD}$: 1 min aan, 3 min uit
4. LED B450/R660/Fr730 30 $\mu\text{mol PFD}$: 5 min aan, 15 min uit

Na 7 dagen belichting was een duidelijk verschil te zien tussen de controle behandeling en de behandelingen met cyclische belichting (Tabel 11 en Foto 13 & 14). De conclusie is dan ook dat cyclisch belichten op deze manier niet werkt bij de tulp. Opvallend is wel dat behandeling 3 iets betere bladspreiding geeft dan behandeling 4 (zelfde lichtsom, lagere frequentie). Dat maakt het interessant om te onderzoeken wat het effect is bij een aanzienlijk kortere cyclus, bijvoorbeeld 1 seconde aan/ uit, of een nog hogere frequentie.

Tabel 11. Bladspreiding buitensteblad in mm in proefronde 5 na 7 dagen belichting 10-11-16. Verschillende letters (a,b,c) geven statistisch significante verschillen tussen gemiddelden aan (N=2, 40 bladeren per kist gemeten; Fisher's LSD $\alpha < 0.05$).

Spreiding	Ile de France				Purple Flag			
	Beh. 1	Beh. 2	Beh. 3	Beh. 4	Beh. 1	Beh. 2	Beh. 3	Beh. 4
a	26,3	24,0	16,3	14,9	19,3	15,5	4,6	0,0
b	25,2	21,2	19,1	15,2	20,7	13,5	3,2	0,0
Gemiddeld	26 ^a	23 ^a	18 ^b	15 ^b	20 ^a	14 ^b	4 ^c	0 ^d

1. LED B450/R660/Fr730 30 $\mu\text{mol PFD}$: continu aan



2. LED B450/R660/Fr730 30 $\mu\text{mol PFD}$: 1 min aan, 1 min uit



3. LED B450/R660/Fr730 30 $\mu\text{mol PFD}$: 1 min aan, 3 min uit



4. LED B450/R660/Fr730 30 $\mu\text{mol PFD}$: 5 min aan, 15 min uit



Foto 13. Ronde 5: 'Ile de France' op de 7^e dag na start belichting (10 november 2016).

1. LED B450/R660/Fr730 30 $\mu\text{mol PFD}$: continu aan



2. LED B450/R660/Fr730 30 $\mu\text{mol PFD}$: 1 min aan, 1 min uit



3. LED B450/R660/Fr730 30 $\mu\text{mol PFD}$: 1 min aan, 3 min uit



4. LED B450/R660/Fr730 30 $\mu\text{mol PFD}$: 5 min aan, 15 min uit



Foto 14. Ronde 5: 'Purple Flag' op de 7^e dag na start belichting (10 november 2016).

Er is voor de verschillende behandelingen cyclisch belichten geen opvallend patroon van verschillen te zien voor wat betreft lengte en gewicht in het veilstadium en de teelt-snelheid (Tabel 12).

Tabel 12. Gewicht en lengte bij veilstadium (gemeten 23-11-16). Lengte na 7 dagen belichting is inclusief bol (9cm).

Beh.	Behandeling	Cultivar	Lengte na 7 dagen	Lengte veilstadium	Gewicht plant	Gewicht per cm	Kasdagen
1	Continu aan	Ile de France	34	45,6	29,5	0,65	19
2	1 min aan/1 min uit	Ile de France	33	46,5	30,4	0,65	19
3	1 min aan/3 min uit	Ile de France	33,5	46,1	29,5	0,64	19
4	5 min aan/15 min uit	Ile de France	33,5	45,6	29,4	0,65	19
1	Continu aan	Purple Flag	37,5	43,9	23,9	0,55	15
2	1 min aan/1 min uit	Purple Flag	36	44,1	23,7	0,54	16
3	1 min aan/3 min uit	Purple Flag	36,5	44,3	23,9	0,54	16
4	5 min aan/15 min uit	Purple Flag	36,5	43,6	23,9	0,55	16

Conclusie proefronde 5

Cyclisch belichten met een cyclus 1 min aan/ 1min uit, 1 min aan/ 3 min uit en 5 min aan/ 15 min uit geeft beduidend minder bladspreiding dan continu belichten (18 uur per dag). In grote lijnen lijkt eenzelfde patroon zichtbaar als bij verlaging van de lichtintensiteit: hoe lager de lichtsom, hoe minder de bladspreiding. Vooral nog is cyclisch belichten dus af te raden in de tulpenbroei. De behandeling 1 min aan/ 3 min uit gaf iets meer bladspreiding dan behandeling 5 min aan/ 15 min uit, terwijl de lichtsom voor die beide behandelingen hetzelfde is. Dat maakt het interessant om het effect van cyclisch belichten bij een hogere frequentie aan/uit te onderzoeken (proefronde 6).

3.5 Proefronde 6. Effect hoogfrequent cyclisch belichting en effect aanvulling daglicht in afbroei met LED op bladkleur

Proefronde 6 ging van start op 22 november 2016. Het doel van proefronde 6 was tweeledig: (1) er werd onderzocht of met cyclisch belichten bij een veel hogere frequentie dan in proefronde 5, toch eenzelfde bladspreiding gerealiseerd kan worden als bij continu belichten. Zo kan aanzienlijk bespaard worden op elektriciteit. (2) Het effect van bijbelichten in de laatste broeifase tot veilstadium op bladkleur werd onderzocht.

Voor het cyclisch belichten werd het standaard lichtspectrum B450/R660/Fr730 gebruikt. Hierbij was de lichtintensiteit 20 $\mu\text{mol PFD}$, dus lager dan de standaard lichtintensiteit van 50 $\mu\text{mol PFD}$. Dit om de verschillen tussen de behandelingen duidelijker te krijgen. Het effect van het cyclisch belichten werd gemeten door middel van het meten van de bladspreiding van het buitenste blad. De tulpen stonden gedurende 7 dagen bij 16°C en een RV van 77%. De fotoperiode was 18 uur per dag.

Voor het bladkleur-onderzoek in de laatste broeifase is eerst gedurende 7 dagen onder dezelfde omstandigheden gebroeid bij de standaard 50 $\mu\text{mol PFD}$ B450/R660/Fr730 (continu aan 18 uur per dag). Ook van deze tulpen is op dag 7 de bladspreiding gemeten van het buitenste blad. Vervolgens zijn deze tulpen tot veilstadium verder gebroeid in de klimaat-units onder kunstmatig daglicht (64 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ van 9:00 tot 16:00) bij een lichtsom van 1.6 $\text{mol}/\text{m}^2/\text{dag}$, vergelijkbaar met een daglichtsom in december/januari in de kas. Het kunstdaglicht was zeer vergelijkbaar met natuurlijk daglicht (Artificial Sunlight Research Modules, Specialty Lighting Holland, Breda). Tevens is bij een behandeling gedurende deze broeiperiode 30 $\mu\text{mol LED B/R}$ (3/27) bijbelicht van 0:00 tot 18:00 uur. In het onderzoek van vorig jaar (Hogewoning *et al.* 2016), en in proefronde 1, bleek dat de bladkleur bij LED B/R zonder verrood donkerder werd. De vraag is of dat ook geldt als met LED B/R wordt bijbelicht in de laatste fase van de broei.

De volgende 4 behandelingen zijn in duplo uitgevoerd in 8 klimaat-units bij 18 uur fotoperiode:

1. LED B450/R660/Fr730 20 $\mu\text{mol PFD}$ (controle met betrekking tot behandeling 2)
2. LED B450/R660/Fr730 20 $\mu\text{mol PFD}$ cyclisch hoogfrequent: 0.04 sec aan/0.08 sec uit.
3. LED B450/R660/Fr730 50 $\mu\text{mol PFD}$ + afbroeien kunstdaglicht. (controle met betrekking tot behandeling 4)
4. LED B450/R660/Fr730 50 $\mu\text{mol PFD}$ + afbroeien kunstdaglicht + 18 uur 30 $\mu\text{mol LED B450/R660}$ (3/27).

Hoogfrequent cyclisch belichten

De bladspreiding bij behandeling 2 (hoogfrequent cyclisch belichten) is na de belichtingsperiode van 7 dagen beduidend minder dan bij behandeling 1 (controle behandeling), vooral bij 'Purple Flag' (Tabel 13 en Foto 15 en 16). Dit toont nogmaals aan dat cyclisch belichten niet werkt, ook niet bij de hogere frequentie van 0.04 seconde aan / 0.08 seconde uit.

De bladspreiding bij 50 μmol PFD (behandeling 3 en 4) is bij 'Ile de France' iets meer en bij 'Purple Flag' beduidend meer dan bij 20 μmol PFD continu (behandeling 1). Dit is in lijn met de eerdere resultaten, waarin aangetoond werd dat bij 'Purple Flag' een hogere lichtintensiteit benodigd is voor maximale bladspreiding dan bij 'Ile de France'.

Tabel 13. Mate van bladspreiding buitenstebblad in mm in proefronde 6 na 7 dagen belichting (29-11-16). Verschillende letters (a,b,c) geven statistisch significante verschillen tussen gemiddelden aan (N=2, 40 bladeren per kist gemeten; Fisher's LSD $\alpha < 0.05$).

Spreiding	Ile de France				Purple Flag			
	Beh. 1	Beh. 2	Beh. 3	Beh. 4	Beh. 1	Beh. 2	Beh. 3	Beh. 4
a	26,6	21,2	-	31,0	17,8	5,0	-	26,5
b	27,8	21,9	32,0	-	19,3	6,2	25,6	-
gemiddeld	27 ^a	22 ^b	32 ^a	31 ^a	19 ^b	6 ^c	26 ^a	27 ^a

LED B450/R660/Fr730 50 μ mol PFD: continu aan



LED B450/R660/Fr730 20 μ mol PFD: continu aan



LED B450/R660/Fr730 20 μ mol PFD hoogfrequent cyclisch: 0.04 sec. aan/0.08 sec. uit



Foto 15. Ronde 6: Ile de France op de 7^e dag na start belichting (29 november 2016).

LED B450/R660/Fr730 50 μmol PFD: continu aan



LED B450/R660/Fr730 20 μmol PFD: continu aan



LED B450/R660/Fr730 20 μmol PFD hoogfrequent cyclisch: 0.04 sec. aan/0.08 sec. uit



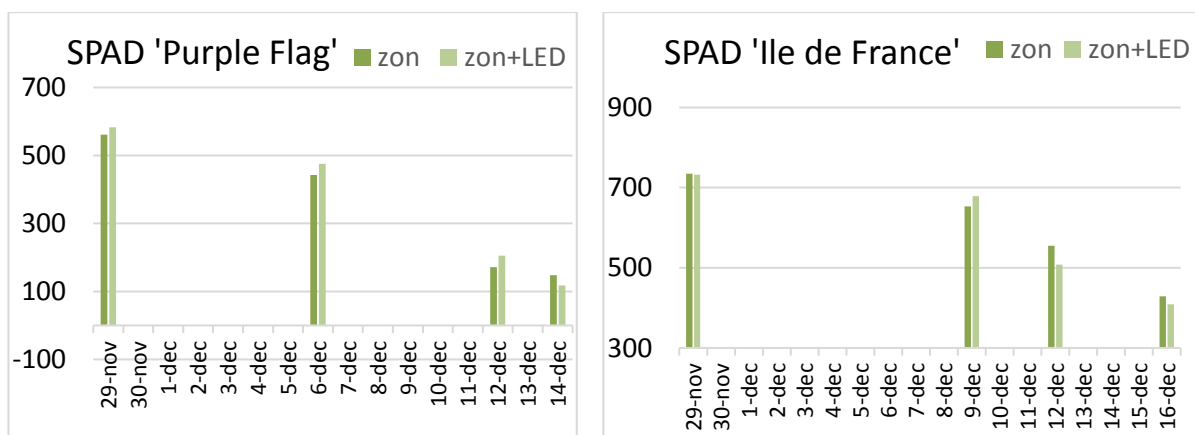
Foto 16. Ronde 6: Purple Flag op de 7^e dag na start belichting (29 november 2016).

Daglicht aanvullen met LED in laatste broeifase: effect op bladkleur?

In Figuur 4 zijn de resultaten van de SPAD metingen te zien. De eerste 7 dagen hebben beide behandelingen hetzelfde 'lichtrecept' gehad (LED B450/R660/Fr730 40 $\mu\text{mol PFD}$). Na die eerste 7 dagen belichting (29-11-2016) is de SPAD waarde bij 'Ile de France' en 'Purple Flag' logischerwijs vrijwel gelijk.

Vervolgens werd de ene behandelingen met kunstdaglicht belicht en de andere behandeling met kunstdaglicht en extra LED B/R. In het veilstadium is weer gemeten: Bij beide cultivars is de SPAD waarde iets hoger bij de behandeling met extra LED B/R, echter, het verschil is erg klein. Ook op de vaas daarna, onder vergelijkbare omstandigheden op eenzelfde type vaas op kantoor, is weinig verschil gemeten. 'Purple Flag' kreeg op de vaas al na korte tijd erg licht gekleurde en vervolgens gele bladeren (SPAD-waarde zeer laag, zie ook Foto 17). De extra LED B/R belichting in de laatste broeifase kon dit niet voorkomen.

Op Foto 17 is een opvallend verschil te zien tussen de beide behandelingen bij 'Ile de France': Bij de behandeling met extra LED B/R belichting zijn de nekken eerder krom gaan hangen. De lengte in het veilstadium verschilde nauwelijks.



Figuur 4. SPAD metingen na LED-belichting (29-11-2016), in veilstadium na afbroei onder kunstdaglicht met of zonder LED B/R bijbelichting (06-12-2016 'Purple Flag'; 09-12-2016 'Ile de France') en tweemaal daarna op de vaas.

Conclusie proefronde 6

Ook cyclisch belichten met een hoge frequentie geeft beduidend minder bladspreiding dan continu belichten (18 uur per dag). Cyclisch belichten is dus af te raden in de tulpenbroei.

Aanvullen van het winterdaglicht met LED B/R in de laatste fase van de afbroei heeft weinig effect op bladkleur en lijkt niet heel zinvol. Mogelijk is het wel zinvol als nog minder daglicht beschikbaar is dan de 1.6 mol/m²/dag kunstdaglicht zoals in de proef.

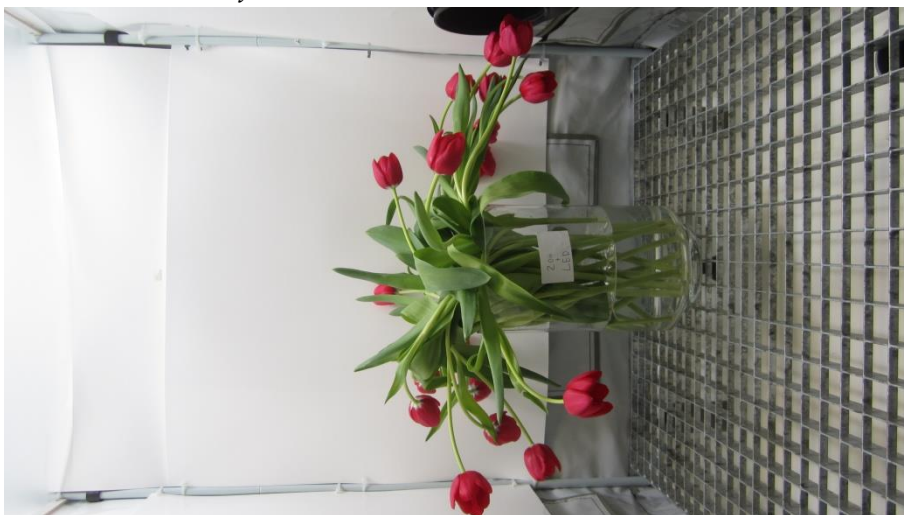
1. RBFr 50 PFD, afbroei onder kunstzonlicht



2. RBFr 50 PFD, afbroei onder kunstzonlicht



3. RBFR 50 PFD, afbroei onder kunstzonlicht + extra LED B/R



4. RBFR 50 PFD, afbroei onder kunstzonlicht + extra LED B/R



Foto 17. Proefronde 6: Kwaliteit na 5 (Ile de France) en 8 (Purple Flag) dagen op de vaas (foto 14 december 2016).

3.6 Conclusies proefronde 1 t/m 6

Proefronde 1. Verrood behoefte voor bladspreiding en effect op bladkleur

Een kortere periode verrood resulteert in tulpen met een donkerdere bladkleur, maar gaat ten koste van bladspreiding. Bij 'Ile de France' was de mindere mate van bladspreiding geen probleem voor de kwaliteit. Bij 'Purple Flag' had de mindere bladspreiding als gevolg dat bloemen vast bleven zitten in het blad. De ideale dosering verrood is dus rasafhankelijk, en mogelijk ook van het seizoen en de partij bollen. Minder verrood bespaart stroom en geeft een donkerdere bladkleur, maar te weinig verrood kan onvoldoende bladspreiding geven. Daarom is het aan te raden de belichting in LED-armaturen dimbaar te maken, waarbij het verrood in ieder geval onafhankelijk van de andere kleuren gedimd kan worden.

Proefronde 2. Effect kortere golflengtes op bladkleur

Het vervangen van de lage intensiteit blauw (450 nm) door een kortere golflengte blauw/UV-A geeft geen beduidend donkerder blad. Het effect van reduceren van het verrood licht gaf een veel groter effect op de bladkleuring (proefronde 1). De blauwe LED's van 450 nm zijn efficiënter dan de andere geteste typen. Daarom is er voor gekozen om 450 nm als standaard blauwe LED aan te houden in de volgende proefopstellingen.

Proefronde 3/4: Effect lichtintensiteit op bladspreiding: afhankelijk van teeltsnelheid?

Bij een hogere teeltsnelheid is een hogere lichtintensiteit benodigd voor een maximale bladspreiding, in vergelijking met een tragere teelt.

Proefronde 5/6. Cyclisch belichten

Er is aangetoond dat cyclisch belichten bij een tulp niet werkt, ook niet bij een hoge frequentie van 0.04 seconde aan / 0.08 seconde uit. Cyclisch belichten ten opzichte van continu belichten geeft eenzelfde effect als een lagere lichtintensiteit continu.

Proefronde 6. Aanvullen winterdaglicht met LED B/R in laatste fase broei

Aanvullen van het winterdaglicht met LED B/R in de laatste fase van de afbroei heeft weinig effect op bladkleur en lijkt niet heel zinvol. Mogelijk is het wel zinvol als nog minder daglicht beschikbaar is dan de 1.6 mol/m²/dag kunstdaglicht zoals in de proef.

Hoofdconclusie

Het lichtrecept R660/B450/FR730 met een belichtingsperiode van 18 uur per dag is het meest effectieve 'lichtrecept' voor tulp. Dimbare armaturen, waarbij het verrood onafhankelijk dimbaar is, valt aan te bevelen. Zo kan de balans tussen bladspreiding, bladkleur en energiekosten per cultivar en situatie worden geoptimaliseerd. De aan te bevelen lichtintensiteit is cultivar-afhankelijk (zie hoofdstuk 3), maar ook afhankelijk van teeltsnelheid en mogelijk nog meer factoren.

4 Materiaal en methoden kasproef ‘ideale tulp in meerlagenteelt’

Er zijn drie proefrondes uitgevoerd bij Proeftuin Zwaagdijk. Hoofddoel van dit proefonderdeel was onderzoeken hoe in een meerlagenteelt een goede kwaliteit tulp kan worden gebroeid met een zo laag mogelijke intensiteit belichting. Immers, hoe lager de benodigde intensiteit, hoe lager de investeringskosten voor armaturen en het energieverbruik.

Hiertoe werden bewortelde tulpen met een uitloper van enige centimeters vanuit de koeling onder LED-belichting geplaatst in een proefkas van proeftuin Zwaagdijk. Het lichtspectrum waaronder de tulpen gebroeid werden is op basis van de resultaten uit de voorafgaande proefrondes bij Plant Lighting te Bunnik (hoofdstuk 2 en 3). Zie het lichtspectrum in Figuur 5. In de proeven bij Plant Lighting leidde een combinatie van rood, blauw en verrood (R+B+FR) tot de beste bladspreiding. De benodigde lichtintensiteit voor een goede bladspreiding bleek afhankelijk van de cultivar (slechts twee cultivars: ‘Ile de France’ en Purple Flag’) en van de teeltsnelheid. In de praktijk worden veel verschillende cultivars gebroeid en hangt de teeltsnelheid van verschillende factoren af (o.a. temperatuur, bewaartijd, vroeg of laat in het seizoen). Daarom zijn in de kasproef per proefronde zijn 15 cultivars gebroeid (zie Tabel 14) bij drie verschillende licht-intensiteiten: 25, 50 en 75 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PFD in proefronde 1 en 2, en 10, 25 en 50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PFD in proefronde 3. De bollen kwamen uit Nederland.

Tabel 14. Gebroeide cultivars per proefronde.

Cultivar	Gebroeid proefronde	Ziftmaat ronde 1	Ziftmaat ronde 2	Ziftmaat ronde 3	Herkomst
1. Abba	1, 2, 3	11	11	11	Germaco
2. Armani	3	-	-	12/+	Niels Kreuk
3. Ben Van Zanten	1, 2, 3	11	10	10	Boon & Breg
4. Carola	1, 2, 3	12/+	12	12/+	Niels Kreuk
5. First Class	1, 2, 3	12	11	11	Germaco
6. Jan Seignette	3	-	-	10	Niels Kreuk
7. Jumbo Pink	1, 2	10	10	-	Niels Kreuk
8. Leen vd Mark	1, 2, 3	12	11	11	De Wit
9. Lustige Witwe	1, 2, 3	12	12	11	Niels Kreuk
10. Negrita	1, 2, 3	12/+	12/+	12/+	De Wit
11. Orange Cassini	1, 2, 3	11	11	11	Horizon Flowers
12. Orange Monarch	1, 2	11	10	-	Niels Kreuk
13. Purple Flag	1, 2, 3	12	12	12	Germaco
14. Silver Dollar	1, 2, 3	11	11	11	Niels Kreuk
15. Verandi	1, 2, 3	12	11	11	Niels Kreuk
16. Yellow King	1, 2, 3	12	12/+	12/+	Niels Kreuk
17. Yoko Dream	1, 2, 3	13	13	11	Germaco

Tabel 15. Behandelingen en intensiteit ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PFD) per proefronde gedurende de eerste 14 dagen van de broei. De daglengte was 18 uur voor de belichtingsbehandelingen.

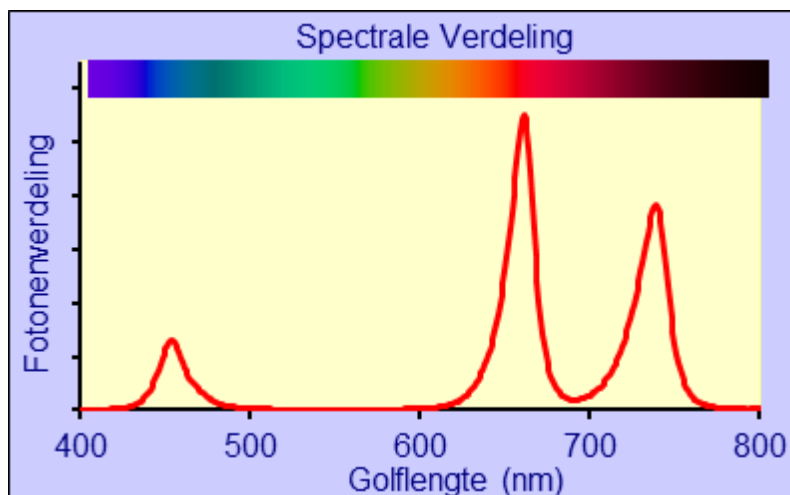
Lichtspectrum	Ronde I 22-12 t/m 04-01	Ronde II 04-01 t/m 18-01	Ronde III 18-01 t/m 01-02
LED R+B+FR, PSS= 0.73-0.74	25 μmol PFD	25 μmol PFD	10 μmol PFD
LED R+B+FR, PSS= 0.73-0.74	50 μmol PFD	50 μmol PFD	25 μmol PFD
LED R+B+FR, PSS= 0.73-0.74	75 μmol PFD	75 μmol PFD	50 μmol PFD

In bovenstaande Tabel 15 staan de behandelingen schematisch weergegeven. Tijdens de belichte periode stond het schermdoek op een kleine kier (tot 5% open), zodat ongeveer 1% van het daglicht binnenkwam. Dit om de inval van enig strooilicht dat op een tweede teeltlaag in een meerlaags teeltsysteem valt te simuleren in de kas. Zie Foto 18 voor een indruk van de proefopstelling.

Nadat de tulpen gedurende 14 dagen gebroeid werden onder de LED-belichting werden de kisten verplaatst naar een kas zonder LED-belichting bij een volledig open schermdoek. Dit ter simulatie van de bovenste teeltlaag in een meer-laags teeltsysteem. De tulpen werden dus bij natuurlijk daglicht afgebroeid. Gemiddeld duurde de periode bij natuurlijk daglicht tot 11 dagen (precieze aantal kasdagen gemiddeld per proefronde per ras volgt in de tabellen met resultaten).



Foto 18. Proefopstelling in proefkas proeftuin Zwaagdijk. Drie tafels met drie verschillende intensiteiten LED-belichting.



Figuur 5. Gebruikt lichtspectrum in de kasproef.

Teeltcondities gedurende de broei

Tijdens de broei is gestuurd op een klimaat dat gangbaar is in de praktijk en waarbij een goede kwaliteit tulp geteeld zou moeten kunnen worden indien geen tekortkomingen optreden door de belichting. In Tabel 16a onder staan de klimaatgegevens. In Tabel 16b onder staan de klimaatgegevens van de kas waarin de tulpen onder natuurlijk daglicht werden afgebroeid.

Tabel 16a. Gemiddelde temperaturen en RV per proefronde in de verduisterdeLED-belichte kas.

Proefronde	luchttemperatuur	RV
1	16.9	76.7
2	17.0	75.1
3	16.3	74.7

Tabel 16b. Gemiddelde temperaturen en RV per proefronde in afbroeikas onder natuurlijk daglicht.

Proefronde	luchttemperatuur	RV
1	16.9	69.6
2	16.4	67.8
3	16.1	67.8

Indeling kas, metingen en aantal waarnemingen

Per lichtintensiteit was één tafel beschikbaar met ruimte voor 6*17=102 kisten tulpen. De kisten aan de randen is niet aan gemeten ('randplanten'). Zo bleven vier kisten met meetplanten per cultivar over (90 tot 130 stelen per kist, afhankelijk van de ziftmaat). De vier kisten per cultivar met meetplanten waren gewaard verdeeld over de meetposities op de tafel. Dit om enig mogelijk effect van locatie op de tafel uit te sluiten. Bij de afbroei in de kas bij natuurlijk daglicht zijn de kisten wel geordend per cultivar op tafels gepositioneerd om beoordelen van behandelingseffecten en oogst te vereenvoudigen.

Aan het einde van de periode onder de belichting is aan 10 stengels per meetbak de spreiding van bladrand tot bladrand bepaald met een schuifmaat. Tevens is in het veilstadium (proefronde 1) of na de periode onder de belichting (proefronde 2 en 3) per behandeling aan 30 stengels de bladkleur (SPAD) gemeten. Verder zijn de lengte, het versgewicht, de nek, bloemgrootte en het percentage bladkiep gemeten aan alle geoogste stengels.

Statistiek

Met behulp van de variantie-analyse (Anova) is bepaald of de behandelingen significant van elkaar verschillen. Er is gewerkt met een betrouwbaarheid van 95% ($P = 0.05$). De LSD (Least significant difference) geeft het kleinste betrouwbare verschil aan. Indien het verschil tussen twee getallen groter is dan de LSD dan is het verschil statistisch significant. Voor de duidelijkheid is dit in de tabellen met meetresultaten weergegeven met letters. Wordt een behandeling gekwalificeerd met **a** en de andere met **b** dan is er sprake van een significant verschil, echter verschillen tussen **a** en **ab** zijn niet significant. Alle metingen zijn uitgevoerd aan 4 kisten per cultivar per lichtbehandeling, waarbij de gemiddelde waarde van alle stelen per kist waaraan gemeten is geldt als een herhaling ($N=4$).

5 Resultaten kasproef ‘ideale tulp in meerlagenteelt’

5.1 Kasproef proefronde I

In de eerste proefronde waren de verschillen tussen de tulpen, die gedurende 14 dagen zijn gebroeid onder LED R/B/Fr bij 25, 50, of 75 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PFD en vervolgens zijn afgebroeid onder daglicht, beperkt (Tabel 17, 18, 19).

Interessant is dat een lagere intensiteit belichting niet heeft geleid tot een verlies aan versgewicht in het veilstadium (Tabel 17). Het effect van de behandelingen op lengte was minimaal. Er waren wel subtiele verschillen in deze eerste proefronde: Het aantal kasdagen bij 75 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PFD was korter (Tabel 17), wat zou kunnen komen door een effect van de hogere intensiteit belichting op de planttemperatuur. Verder viel op dat bij 25 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PFD de bloemknoppen dieper in het blad zaten, en de bladkleur net iets lichter van kleur was (Tabel 19). Wat uitval betreft: Alleen bij het ras Lustige Witwe had de behandeling met 25 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PFD iets meer bladkiep (slechts 2%) dan 50 en 75 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PFD. Op basis van dit kleine verschil bij slechts één ras kan van een trend nog geen sprake zijn.

Een voorbarige conclusie zou zijn dat 25 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PFD bij het juiste spectrum voldoende is om een goede kwaliteit tulp te broeien in een meerlagenteelt. Echter, voor betrouwbare conclusies is een herhaling vereist (proefronde 2). Bovendien hangt de minimaal benodigde lichtintensiteit voor een goede bladspreiding ook af van de teeltsnelheid (zie hoofdstuk 2.3). Deze proefronde was aan het begin van het broeiseizoen. In de loop van het broeiseizoen neemt de teeltsnelheid in het algemeen toe bij tulp (minder kasdagen).

Tabel 17. Bladspreiding, percentage bladkiep en teeltduur voor 15 verschillende cultivars in proefronde 1. Verschillende letters (a,b,c) geven statistisch significante verschillen tussen gemiddelden aan (geen letter= geen significant verschil; N=4).

Cultivar	PFD	Bladspreiding (mm)			Bladkiep			Aantal kasdagen		
		25	50	75	25	50	75	25	50	75
Leen van der Mark		27	27	26	0,3% ^a	0,0% ^a	1,9% ^b	23,7 ^c	23,4 ^b	22,9 ^a
Negrita		17 ^a	20 ^b	18 ^{ab}	0%	0%	0,3%	24 ^b	23,9 ^b	23,6 ^a
Orange Cassini		32	33	30	1,4 ^b %	0,2 ^a %	0,2 ^a %	23,3 ^b	23 ^b	22,5 ^a
Silver Dollar *		26 ^a	30 ^a	28 ^a	-	-	-	-	-	-
Lustige Witwe		39	41	40	2,3% ^b	0,2% ^a	0,9% ^a	18,2 ^b	18,2 ^b	18 ^a
Orange Monarch		32	34	34	0%	0%	0%	20,4 ^b	20,4 ^b	20,2 ^a
Jumbo Pink		33 ^a	38 ^b	34 ^a	0%	0%	0%	20,0 ^{ab}	20,2 ^b	19,8 ^a
Carola		38	36	35	0%	0%	0%	20,9	20,9	21
Yellow King		38	37	37	0%	0%	0,2%	18,5	18,6	18,5
Verandi		40	43	40	0%	0%	0%	18,8 ^b	18,8 ^b	18,5 ^a
Ben Van Zanten		19 ^a	22 ^b	23 ^b	5,2%	3,9%	6,3%	21,0 ^{ab}	21,1 ^b	20,6 ^a
Purple Flag		9 ^a	12 ^b	13 ^b	3,9%	1,5%	2,3%	21,3	21,1	21
Yoko Dream		4	5	5	0%	0%	0%	22,4 ^c	22,1 ^b	21,9 ^a
First Class		33 ^b	30 ^a	29 ^a	0,2%	0,0%	0,5%	24,6	24,5	24,5
Abba		20 ^a	19 ^a	22 ^a	1,2%	0,7%	1,3%	22,4 ^b	22,3 ^b	22,0 ^a
Alle rassen		27	28	28	1,0	0,5	1,0	21,4 ^a	21,3 ^a	21,0 ^b

*) Door een te ongelijke stand van het gewas bij het ras 'Silver Dollar' zijn een aantal metingen hieraan niet uitgevoerd. De ongelijkheid werd veroorzaakt door droogstand.

In Tabel 19 (volgende pagina) geeft 'Nek' de lengte van het gedeelte van de bloemknop dat niet boven de bovenste bladpunt uitkomt weer. Een grotere negatieve waarde betekent dus dat de knop dieper in het blad zit. De bladkleur is gemeten door middel van SPAD-metingen, waarbij een hogere waarde komt overeen met een donkerdere bladkleur.

Alle metingen zijn uitgevoerd aan 4 kisten per cultivar per lichtbehandeling, waarbij de gemiddelde waarde van alle stelen per kist waaraan gemeten is geldt als een herhaling (N=4).

Tabel 18. Versgewicht, lengte en gewicht/cm voor 15 verschillende cultivars in proefronde 1. Verschillende letters (a,b,c) geven statistisch significante verschillen tussen gemiddelden aan.

Cultivar	PFD	Versgewicht (g)			Lengte (cm)			Gewicht/cm (g/cm)		
		25	50	75	25	50	75	25	50	75
Leen van der Mark		23,3	23,2	23,1	35,2	35,7	35,4	0,67	0,65	0,65
Negrita		27,2	25,9	26,2	38,3	38,7	38,7	0,71	0,67	0,68
Orange Cassini		27,1 ^b	26,8 ^{ab}	26,2 ^a	40,8 ^b	40,4 ^{ab}	40 ^a	0,66	0,66	0,66
Lustige Witwe		24,0 ^b	23,1 ^{ab}	22,5 ^a	42,4	43,2	42,4	0,57	0,54	0,53
Orange Monarch		23,1	22,3	22,8	41,2 ^a	40,8 ^a	42,1 ^b	0,56	0,55	0,54
Jumbo Pink		23,5	23,9	24,0	38,8	38,9	39,5	0,61	0,61	0,61
Carola		30,9	30,9	31,1	39,4	39,8	40	0,78	0,78	0,78
Yellow King		19,5 ^b	18,8 ^a	18,9 ^a	33,6 ^b	32,7 ^a	33 ^a	0,58	0,57	0,58
Verandi		25,9	27,5	28,7	33,5	33,1	33,9	0,78	0,83	0,85
Ben Van Zanten		31,1	30,1	30,6	43,5	43,6	43,9	0,72 ^b	0,69 ^a	0,70 ^a
Purple Flag		22,2	21,7	21,8	36,6	36,2	36,5	0,61	0,60	0,60
Yoko Dream		24,0 ^b	23,6 ^{ab}	23,0 ^a	37	36,5	36,2	0,65	0,65	0,64
First Class		27,6	27,8	27,7	40 ^a	41 ^b	41,2 ^b	0,69	0,68	0,67
Abba		20,0	20,2	20,5	34,6 ^a	34,5 ^a	35,5 ^b	0,58	0,59	0,58
Alle rassen		25,0	24,7	24,8	38,2 ^a	38,2 ^{ab}	38,4 ^b	0,65	0,65	0,65

Tabel 19. Bloemgrootte, nek en bladkleur in veilstadium voor verschillende cultivars in proefronde 1. Verschillende letters (a,b,c) geven statistisch significante verschillen tussen gemiddelden aan.

Cultivar	PFD	Bloemgrootte (cm)			Nek (cm diepte knop in blad)			Bladkleur in veilstadium		
		25	50	75	25	50	75	25	50	75
Leen van der Mark		4,8 ^b	4,6 ^a	4,6 ^a	-1,1	-0,9	-0,9	442	465	466
Negrita		4,3	4,2	4,3	-2,5	-2,1	-2	627	669	640
Orange Cassini		4,9	4,9	4,9	-2,1	-1,9	-1,6	480	532	510
Silver Dollar		-	-	-	-	-	-	417	457	481
Lustige Witwe		4,7	4,6	4,5	0 ^a	1,1 ^b	1,3 ^b	460	570	514
Orange Monarch		4,6	4,5	4,6	-3,3 ^a	-2,3 ^b	-1,5 ^c	-	541	411
Jumbo Pink		4,6 ^b	4,5 ^a	4,6 ^b	-2,1 ^a	-1,9 ^a	-1,3 ^b	424	502	457
Carola		4,7	4,8	4,7	-1,5	-1,1	-1,1	580	580	582
Yellow King		4,5	4,3	4,2	-3,2 ^a	-2,5 ^b	-2,4 ^b	465	478	531
Verandi		4,3	4,5	4,4	-4,0	-3,7	-3,5	445	463	442
Ben Van Zanten		4,7	4,6	4,6	-6,2 ^a	-5,7 ^b	-5,7 ^b	582	613	579
Purple Flag		4,8	4,8	4,7	-1,0 ^a	-1,1 ^a	-0,8 ^b	525	543	540
Yoko Dream		5,2	5,1	5,1	-2,8	-2,7	-2,6	543	570	-
First Class		5,1 ^b	5,0 ^a	4,9 ^a	-2 ^a	-1,6 ^b	-1,4 ^b	576	573	594
Abba		4,0	4,0	3,9	-2,1	-2,0	-1,6	555	600	592
Alle rassen		4,7 ^b	4,6 ^a	4,6 ^a	-2,4 ^a	-2,0 ^b	-1,8 ^c	508	544	524

5.2 Kasproef proefronde II

De resultaten van de tweede proefronde zijn vergelijkbaar met die in de eerste proefronde: Weinig verschillen tussen de behandelingen onder LED R/B/Fr bij 25, 50, of 75 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ PFD. Het versgewicht was nu gemiddeld iets hoger naarmate de lichtintensiteit lager was, en 25 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ PFD gaf iets meer lengte en stevigheid (Tabel 21). Ook was wederom het aantal kasdagen bij 75 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ PFD minder (Tabel 20), zaten de bloemknoppen dieper in het blad naarmate de lichtintensiteit lager was, en was de bladkleur net iets lichter van kleur bij 25 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ PFD (Tabel 22). Er was in deze ronde nauwelijks sprake van uitval door bladkiep.

Na twee proefronden blijkt 25 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ PFD bij het juiste spectrum voldoende om een goede kwaliteit tulp te broeien in een meerlagenteelt. Interessant is te onderzoeken waar de ondergrens ligt (zie hoofdstuk 4.3). In de loop van het broeiseizoen neemt de teeltsnelheid in het algemeen toe bij tulp (minder kasdagen) en is mogelijk een hogere intensiteit belichting vereist voor een optimale kwaliteit tulp gebroeid in een meerlagensysteem.

Tabel 20. Bladspreiding, percentage bladkiep en teeltduur voor 15 verschillende cultivars in proefronde 2. Verschillende letters (a,b,c) geven statistisch significante verschillen tussen gemiddelden aan (N=4).

Cultivar	PFD	Bladspreiding (mm)			Bladkiep			Aantal kasdagen		
		25	50	75	25	50	75	25	50	75
Leen van der Mark		38 ^c	32 ^b	28 ^a	0,6%	0%	0%	22,0	22,0	21,0
Negrita		32 ^b	30 ^{ab}	28 ^a	0%	0%	0%	23,0	23,3	23,0
Orange Cassini		35	33	29	0%	0%	0%	23,0	23,0	22,8
Silver Dollar *		40	41	35	-	-	-	-	-	-
Lustige Witwe		48	49	47	0%	0%	0%	17,8	18,0	17,5
Orange Monarch		35 ^b	37 ^b	33 ^a	0%	0%	0%	22,8 ^b	22 ^{ab}	21,3 ^a
Jumbo Pink		36 ^a	38 ^b	37 ^a	0%	0%	0%	20,0	20,0	19,5
Carola		42 ^b	40 ^{ab}	37 ^a	0%	0%	0,2%	20,5	20,5	20,0
Yellow King		47	47	46	0,6%	0%	1%	18,0	18,0	17,0
Verandi		38	41	37	0%	0%	0%	21,5 ^b	21,3 ^b	20,3 ^a
Ben Van Zanten		26 ^a	28 ^{ab}	29 ^b	0%	0%	0,4%	20,0 ^b	19,8 ^b	19,0 ^a
Purple Flag		15	18	15	0%	0%	0,4%	21,8	21,5	21,0
Yoko Dream		5 ^a	7 ^b	6 ^b	0%	0%	0%	25,0	25,0	24,8
First Class		34	35	31	0%	0%	0%	25,8	25,8	25,0
Abba		18	22	22	0,8% ^b	0% ^a	0,0% ^a	25	25	24
Alle rassen		32	33	30	0,1%	0,0%	0,1%	21,9 ^b	21,8 ^b	21,1 ^a

*) Door een te ongelijke stand van het gewas bij het ras 'Silver Dollar' zijn een aantal metingen hieraan niet uitgevoerd. De ongelijkheid werd veroorzaakt door droogstand.

Tabel 21. Versgewicht, lengte en gewicht/cm voor 15 verschillende cultivars in proefronde 2.
Verschillende letters geven statistisch significante verschillen tussen gemiddelden aan (N=4).

Cultivar	PFD	Versgewicht (g)			Lengte (cm)			Gewicht/cm (g/cm)		
		25	50	75	25	50	75	25	50	75
Leen van der Mark		22,2 ^b	21,4 ^a	21,1 ^a	38,2 ^b	37,8 ^{ab}	37,1 ^a	0,58 ^b	0,57 ^a	0,57 ^{ab}
Negrita		29,8	29,2	28,5	42,1	42,1	41,6	0,71 ^b	0,70 ^{ab}	0,69 ^a
Orange Cassini		24,6 ^b	23,7 ^a	23,9 ^{ab}	41,3	40,9	41,2	0,6 ^b	0,58 ^a	0,58 ^a
Lustige Witwe		24,3 ^b	23,4 ^a	23,3 ^a	39,4	39,4	39,0	0,62	0,59	0,60
Orange Monarch		21,7 ^b	21,2 ^a	21,1 ^a	40,7	40,5	40,0	0,53	0,53	0,53
Jumbo Pink		25,3	25,4	25,2	39,4	39,3	38,9	0,64	0,65	0,65
Carola		27,9	27,7	27,5	42,7 ^a	43,1 ^a	44,7 ^b	0,65 ^b	0,64 ^b	0,62 ^a
Yellow King		23,4 ^b	22,3 ^a	22,3 ^a	33,8 ^b	32,3 ^a	32,0 ^a	0,69	0,69	0,70
Verandi		33,0 ^b	32,0 ^a	31,6 ^a	33,4	33,1	32,9	0,99	0,97	0,96
Ben Van Zanten		24,1	24,3	23,8	44,8 ^b	44,0	43,9	0,54	0,55	0,54
Purple Flag		23,4 ^c	22,9 ^b	22,3 ^a	38,3 ^b	37,9 ^{ab}	37,3 ^a	0,61 ^b	0,60 ^a	0,60 ^a
Yoko Dream		26,3 ^b	25,6 ^b	24,7 ^a	38,3 ^b	38,1 ^b	37,0 ^a	0,69	0,68	0,67
First Class		27,1	26,8	27,0	41,6	41,2	41,3	0,65	0,65	0,65
Abba		22,1 ^b	21,6 ^{ab}	21,4 ^a	35,8	35,7	35,8	0,62 ^b	0,61 ^{ab}	0,60 ^a
Alle rassen		25,4 ^c	24,8 ^b	24,5 ^a	39,3 ^b	38,9 ^a	38,8 ^a	0,65 ^b	0,64 ^a	0,64 ^a

Tabel 22. Bloemgrootte, nek en bladkleur voor 15 verschillende cultivars in proefronde 2.
Verschillende letters geven statistisch significante verschillen tussen gemiddelden aan (N=4).

Cultivar	PFD	Bloemgrootte (cm)			Nek (cm diepte knop in blad)			Bladkleur* 1 dag na belichtingsperiode		
		25	50	75	25	50	75	25	50	75
Leen van der Mark		4,6 ^b	4,4 ^a	4,5 ^b	-1,4	-1,2	-1,0	507	535	568
Negrita		4,5	4,5	4,4	-2,2 ^a	-1,7 ^{ab}	-1,6 ^b	624	678	684
Orange Cassini		4,8	4,7	4,7	-1,5 ^a	-0,9 ^b	-0,5 ^b	498	561	532
Lustige Witwe		4,3	4,2	4,3	-1,1 ^a	0,0 ^b	0,0 ^b	508	576	552
Orange Monarch		4,4	4,4	4,4	-2,5 ^a	-1,8 ^b	-1,9 ^b	438	469	477
Jumbo Pink		4,3	4,2	4,3	-3,0 ^a	-2,8 ^a	-2,4 ^b	436	517	481
Carola		4,1	4,1	4,1	-1,2 ^a	-0,6 ^b	0,3 ^c	586	604	579
Yellow King		4,3 ^b	4,3 ^{ab}	4,2 ^a	-3,7 ^a	-3,3 ^b	-3,1 ^b	594	618	621
Verandi		5,1 ^b	4,8 ^a	4,7 ^a	-4,4 ^a	-4,1 ^{ab}	-3,7 ^b	718	759	727
Ben Van Zanten		4,1 ^b	4,0 ^a	4,0 ^{ab}	-5,1 ^a	-4,7 ^a	-3,9 ^b	580	618	598
Purple Flag		4,7	4,6	4,6	-1,2	-1,2	-1,2	601	634	630
Yoko Dream		5,4	5,4	5,2	-3,8	-3,6	-3,0	616	648	625
First Class		4,6	4,7	4,7	-2,1	-1,8	-1,7	597	648	597
Abba		4,5	4,7	4,5	-2,8 ^a	-2,5 ^{ab}	-2,1 ^b	627	654	661
Alle rassen		4,5	4,5	4,5	-2,6 ^a	-2,1 ^b	-1,8 ^c	562	603	595

*)SPAD-metingen: een hogere waarde komt overeen met een donkerdere bladkleur.

5.3 Kasproef proefronde III

In de derde proefronde is er voor gekozen om de lichtintensiteiten aan te passen. In de twee voorgaande rondes waren de verschillen tussen de tulpen gebroeid onder LED R/B/Fr bij 25, 50, of 75 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PFD klein. Om te kunnen constateren hoeveel er minimaal belicht moet worden is de behandeling met 75 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ vervangen door een behandeling met een lichtintensiteit van 10 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Dus 10, 25 en 50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PFD. Dit leidde wel tot aanzienlijke verschillen.

De tulpen die gedurende 14 dagen onder 10 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PFD stonden hadden gemiddeld genomen het minst gespreide bladeren (Tabel 23). Met uitzondering van de cultivars Lustige Witwe, Carola, Yellow King en First Class; deze cultivars waren het meest ontwikkeld na de belichtingsperiode, wat de verschillen minder zichtbaar maakte. Bij een aantal cultivars liep de bladspreiding fors achter onder 10 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PFD (Orange Cassini, Silver Dollar, Jan Seignette, Ben van Zanten, Purple Flag, Yoko Dream en Abba). Er was geen verschil in aantal kasdagen (in de twee eerdere proefronden waren de tulpen onder 75 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PFD het snelst).

Hoewel de verschillen niet groot waren, was het plantgewicht van de behandeling met 10 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PFD het hoogst (Tabel 24). Het plantgewicht van de tulpen uit de 25 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PFD behandeling was hoger dan uit de 50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PFD behandeling. Verder was de kwaliteit gemiddeld minder goed bij 10 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PFD: De gewaskleur van de tulpen werd lichter naarmate de lichtintensiteit lager was (Tabel 25). Vooral onder 10 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PFD waren de tulpen beduidend bleker. De bladeren van Yellow King en Purple Flag uit de 10 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PFD behandeling waren geelgroen. De lage lichtintensiteit van 10 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PFD zorgde bij de bladkiep gevoelige cultivars Yellow King en Abba voor hoge uitvalspercentages (respectievelijk 29% en 17%; Tabel 23 en Foto 19). De bloemknoppen van de behandeling met 10 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PFD zaten dieper in het blad dan bij 25 en 50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PFD.

Op basis van de drie proefronden kan dus gesteld worden dat 25 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PFD bij het juiste spectrum voldoet om een goede kwaliteit tulp te broeien in een meerlagenteelt. Bij een snellere teelt (hogere teelt-temperatuur of later in broeiseizoen) is mogelijk een hogere intensiteit belichting vereist voor een optimale kwaliteit tulp gebroeid in een meerlagensysteem. Een lagere intensiteit kan kwaliteitsproblemen geven: 10 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PFD resulteerde bij een heel aantal cultivars in een slechtere bladspreiding en bij bijna alle cultivars in een lichtere bladkleur (soms zelfs gelige bladeren). Ook was er een fors percentage uitval bij twee cultivars uit de 10 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PFD behandeling.



Foto 19. Links: De 4 kisten links voor zijn van Yellow King uit de 10 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PFD behandeling en hebben zichtbaar blekere bladeren dan de tulpen in de kisten daarachter (25 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PFD). Rechts: Abba uit de 10 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PFD behandeling met duidelijke verschijnselen van zweten/ bladkiep.

Tabel 23. Bladspreiding, percentage bladkiep en teeltduur voor 15 verschillende cultivars in proefronde 3. Verschillende letters (a,b,c) geven statistisch significante verschillen tussen gemiddelden aan (N=4).

Cultivar	Bladspreiding (mm)			Bladkiep			Aantal kasdagen			
	PFD	<u>10</u>	<u>25</u>	<u>50</u>	<u>10</u>	<u>25</u>	<u>50</u>	<u>10</u>	<u>25</u>	<u>50</u>
Leen van der Mark		27 ^a	34 ^b	33 ^b	1%	1%	0%	24,0	24,2	24,0
Negrita		33 ^a	37 ^{ab}	38 ^b	0%	0,0%	0,5%	24,0 ^{ab}	24,2 ^b	23,7 ^a
Orange Cassini		19 ^a	27 ^b	26 ^b	0,5%	0%	0%	24,0	23,9	24,1
Silver Dollar		25 ^a	38 ^b	43 ^c	0%	0%	0%	18,9 ^a	19,0 ^a	19,2 ^b
Lustige Witwe		46	44	45	0%	0%	0%	19,2 ^a	19,4 ^{ab}	19,6 ^b
Jan Seignette		13 ^a	27 ^b	29 ^b	0%	0%	0%	24,6 ^b	24,5 ^{ab}	24,1 ^a
Armani		38 ^{ab}	40 ^b	35 ^a	0%	0%	0%	27,6 ^a	27,7 ^a	28,1 ^b
Carola		44	44	42	0%	0%	0%	22,4 ^a	23,1 ^b	23,1 ^b
Yellow King		45	46	46	29% ^b	3,3% ^a	0,0% ^a	16,2 ^a	16,2 ^a	16,4 ^b
Verandi		35 ^a	41 ^b	40 ^b	0%	0%	0%	22,5	22,7	22,5
Ben Van Zanten		16 ^a	28 ^b	30 ^b	0%	0%	0%	17,8	17,9	18,0
Purple Flag		10 ^a	23 ^b	29 ^c	0,2%	0,2%	0,0%	20,1	20,2	20,4
Yoko Dream		3 ^a	8 ^b	8 ^b	0%	0%	0%	23,9	23,8	23,7
First Class		42 ^b	40 ^{ab}	36 ^a	0%	0%	0%	20,5	20,8	20,9
Abba		19 ^a	31 ^b	34 ^b	17% ^b	2% ^a	0% ^a	20,6 ^a	20,9 ^{ab}	21,1 ^b
Alle rassen		27,7 ^a	33,9 ^b	34,2 ^b	3,2 ^b	0,4 ^a	0,0 ^a	21,8 ^a	21,9 ^b	21,9 ^b

Tabel 24. Versgewicht, lengte en gewicht/cm voor 15 verschillende cultivars in proefronde 3.
Verschillende letters geven statistisch significante verschillen tussen gemiddelden aan (N=4).

Cultivar	PFD	Versgewicht (g)			Lengte (cm)			Gewicht/cm (g/cm)		
		10	25	50	10	25	50	10	25	50
Leen van der Mark		23,9 ^c	23,0 ^b	22,5 ^a	41,9 ^b	41,4 ^{ab}	41,1 ^a	0,57 ^b	0,56 ^{ab}	0,55 ^a
Negrita		31,9	31,8	31,2	43,9	44,2	43,6	0,73	0,72	0,71
Orange Cassini		31,3 ^b	29,9 ^a	28,9 ^a	42,6 ^b	41,8 ^{ab}	41,0 ^a	0,74 ^b	0,71 ^a	0,70 ^a
Silver Dollar		26,6 ^b	25,9 ^a	25,6 ^a	44,1 ^b	43,1 ^{ab}	42,2 ^a	0,60	0,60	0,61
Lustige Witwe		25,0	25,2	24,9	42,0 ^b	42,7 ^a	42,3 ^{ab}	0,60 ^b	0,59 ^a	0,59 ^{ab}
Jan Seignette		25,9 ^b	25,3 ^{ab}	24,4 ^a	43,3 ^a	44,3 ^b	43,9 ^{ab}	0,60 ^c	0,57 ^b	0,56 ^a
Armani		32,2	32,7	32,3	38,7	38,6	38,4	0,83	0,85	0,84
Carola		31,5	31,5	30,9	45,9 ^b	44,9 ^{ab}	44,2 ^a	0,69	0,70	0,70
Yellow King		26,0	25,6	25,5	36,9 ^b	36,6 ^b	35,5 ^a	0,70	0,70	0,72
Verandi		32,2	31,9	31,2	35,3 ^a	35,8 ^b	35,1 ^a	0,91	0,89	0,89
Ben Van Zanten		25,6	25,9	26,0	44,5	44,3	44,0	0,58 ^a	0,59 ^{ab}	0,59 ^b
Purple Flag		26,7	26,5	25,0	43,6 ^b	42,5 ^a	42,1 ^a	0,61	0,63	0,59
Yoko Dream		27,4 ^b	27,1 ^b	26,4 ^a	43,4 ^c	42,0 ^b	40,6 ^a	0,63 ^a	0,65 ^b	0,65 ^b
First Class		30,0 ^a	30,4 ^a	30,9 ^b	43,8 ^a	44,5 ^a	45,8 ^b	0,69	0,69	0,68
Abba		24,5	24,4	24,7	38,1 ^a	38,4 ^a	39,0 ^b	0,65	0,64	0,63
Alle rassen		28,0 ^c	27,8 ^b	27,4 ^a	41,9	41,7	41,3	0,67	0,67	0,67

Tabel 25. Bloemgrootte, nek en bladkleur voor 15 verschillende cultivars in proefronde 3.
Verschillende letters geven statistisch significante verschillen tussen gemiddelden aan (N=4).

Cultivar	PFD	Bloemgrootte (cm)			Nek (cm diepte knop in blad)			Bladkleur 1 dag na belichtingsperiode		
		10	25	50	10	25	50	10	25	50
Leen van der Mark		4,2 ^b	4,1 ^a	4,1 ^a	-0,7 ^a	-0,3 ^b	-0,2 ^b	457	537	552
Negrita		4,2	4,1	4,2	-2,1	-2,3	-2,0	559	621	667
Orange Cassini		5,0 ^b	4,9 ^{ab}	4,8 ^a	-3,0 ^a	-2,1 ^b	-1,7 ^b	447	549	634
Silver Dollar		4,4	4,4	4,3	-6,7 ^a	-5,6 ^b	-5,2 ^b	429	499	616
Lustige Witwe		4,4 ^a	4,5 ^b	4,4 ^{ab}	-2,3 ^a	-0,9 ^b	-0,2 ^c	421	534	588
Jan Seignette		4,9 ^{ab}	5,0 ^b	4,9 ^a	-3,0 ^a	-0,6 ^b	0,0 ^c	487	660	720
Armani		4,1	4,1	4,1	-1,6	-1,6	-1,5	595	781	694
Carola		4,3 ^{ab}	4,4 ^b	4,3 ^a	-0,6 ^a	0,1 ^{ab}	0,2 ^b	547	547	610
Yellow King		4,2	4,3	4,2	-5,5 ^a	-4,6 ^b	-4,5 ^b	414	601	673
Verandi		4,7 ^{ab}	4,7 ^b	4,6 ^a	-4,8 ^a	-4,2 ^b	-4,1 ^b	520	625	660
Ben Van Zanten		4,2	4,3	4,3	-6,7	-6,5	-6,2	489	541	583
Purple Flag		4,6	4,6	4,6	-1,1 ^a	-0,9 ^{ab}	-0,7 ^b	394	525	570
Yoko Dream		4,9	5,0	4,9	-5,0	-4,9	-4,6	529	507	540
First Class		4,7	4,7	4,7	-2,3 ^a	-2,1 ^a	-1,7 ^b	528	579	609
Abba		4,40	4,4	4,4	-3,9 ^a	-3,1 ^b	-2,5 ^c	574	639	649
Alle rassen		4,5	4,5	4,4	-3,3 ^a	-2,6 ^b	-2,3 ^c	493	577	630

6 Samenvatting en conclusies

Tulpenteelt in een meerlagensysteem bespaart energie ten opzichte van een enkellaagsteelt. In het onderzoek van 2015-2016 is LED rood/blauw/verrood naar voren gekomen als een geschikt lichtspectrum voor tulp in een meerlagensysteem: Bladeren spreiden goed en de plantvorm en ontwikkeling is normaal. In het eerste gedeelte van het huidige onderzoek (2016-2017) is onderzocht in hoeverre het de belichting kan worden gefine-tuned: Is er een even goed of beter resultaat te behalen met minder energieverbruik, en kan gestuurd worden op een donkerdere bladkleur?

In zes proefrondes zijn verschillende strategieën getoetst in klimaat-units van Plant Lighting:

- Het na een aantal dagen afschakelen of halveren van het verrode gedeelte van het spectrum bespaart aanzienlijk energie en resulteert in een donkerdere bladkleur, maar gaat ten koste van de bladspreiding. Te weinig bladspreiding kan kwaliteitsproblemen geven (kromme nekken). Toepasbaarheid is afhankelijk van o.a. de cultivar: Minder verrood zal eerder gunstig zijn voor gemakkelijk blad-spreidende cultivars met licht gekleurd blad dan voor moeilijk spreidende cultivars met donker gekleurd blad.
- Met een lage intensiteit UV-A/blauw licht van een kortere golflengte dan de gebruikelijke 450 nm, blijkt bladkleur niet effectief te sturen. Verrood afschakelen heeft veel meer effect.
- Een snellere teelt vereist een hogere lichtintensiteit om op een maximale bladspreiding te kunnen sturen.
- Cyclisch belichten is niet zinvol, ook niet hoogfrequent (0.04 sec. aan/0.08 sec. uit).
- Bijbelichten met LED rood/blauw tijdens de afbroeifase in het daglicht heeft weinig effect op bladkleuring bij 'gemiddeld winter-daglicht' (mogelijk wel bij zeer donker weer?).

In het tweede gedeelte van het huidige onderzoek is in kassen van Proeftuin Zwaagdijk bij 15 verschillende cultivars in drie opeenvolgende proefronden onderzocht welke intensiteit LED rood/blauw/verrood belichting benodigd is voor een goede kwaliteit tulp. De tulpen zijn gedurende twee weken onder LED-belichting gebroeid in de periode 22 december 2016- 01 februari 2017. Op de achtergrond was enig daglicht dat tussen de schermkier door scheen. Vervolgens zijn de tulpen afgebroeid bij daglicht.

In de eerste twee proefronden is belicht met 25, 50, en 75 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PFD. De verschillen waren klein: Alleen de bladkleur was iets lichter bij 25 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PFD, en hoe lager de lichtintensiteit, hoe dieper de bloemknop in het blad zat. Er was nauwelijks uitval door bladkiep. In de derde proefronde is gebroeid bij 10, 25, en 50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PFD. Nu waren er wel grote verschillen: De bladeren van de tulpen onder 10 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PFD waren gemiddeld het minste gespreid. De gewaskleur van de tulpen werd lichter naarmate de lichtintensiteit lager was. Vooral onder 10 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PFD waren de tulpen beduidend bleker. Opvallend genoeg was het plantgewicht van de laagste intensiteit hoger dan van 25 en 50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PFD. Alleen bij de lage lichtintensiteit van 10 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PFD waren er bij de bladkiep-gevoelige cultivars Yellow King en Abba hoge uitvalspercentages (respectievelijk 29% en 17%).

Concluderend kan gesteld worden dat 25 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PFD bij het juiste spectrum voldoet om een goede kwaliteit tulp te broeien in een meerlagenteelt. Met de huidige stand van techniek kost dit ongeveer 12 Watt aan elektra per m^2 teeltoppervlakte (bij 18 uur daglengte is dat 778 kilojoules). Door de stijgende efficiëntie van LED-armaturen zal deze energievraag verder omlaag gaan. Aanstuurbaarheid van het verrode gedeelte van het spectrum valt aan te bevelen. Bij een snellere teelt (hogere teelt-temperatuur of later in broeiseizoen) is mogelijk een hogere intensiteit belichting vereist voor een optimale kwaliteit tulp gebroeid in een meerlagensysteem. Een lagere intensiteit belichting (10 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PFD) leidt niet tot minder lengte of gewicht, maar kan wel ernstige kwaliteitsproblemen geven.

Referenties

- Hogewoning SW, Trouwborst G, Duin P, van der Spek R. 2016. Meerlagenteelt tulp: Fundamentele oplossing voor knelpunten belichting. Focus op bladspreiding en bladkiep. Plant Lighting B.V., Bunnik. 67p.
- Wildschut J. 2004. Haalbaarheidsstudie meerlagenteelt tulp. Praktijkonderzoek Plant en Omgeving: bloembollen, boomkwekerij en fruit, 19p.