

LED-verlichting in de tulpenbroei

Jeroen Wildschut, Martin van Dam, Henk Gude

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving
Bloembollen, Boomkwekerij & Fruit
Februari 2010
PPO nr. 32 360 644 00 / PT nr. 13253

© 2010 Wageningen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

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

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V. is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.



PPO - projectnummer: 32 360644 00

PT - projectnummer: 13253

Mede gefinancierd door Hortilux/Schröder

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Sector Bloembollen, Boomkwekerij & Fruit

Adres : Prof. Van Slogterenweg 2
: Postbus 85, 2160 AB Lisse

Tel. : 0252 - 462 121

Fax : 0252 - 462 100

E-mail : infobollen.ppo@wur.nl

Internet : www.ppo.wur.nl

Inhoudsopgave

	pagina
SAMENVATTING.....	5
1 INLEIDING	7
2 MATERIAAL EN METHODEN	9
3 RESULTATEN	11
4 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	19
BIJLAGE 1: TEMPERATUUR EN RV METINGEN.....	21
BIJLAGE 2: LED VERLICHTING BIJ HYACINT EN NARCIS.....	23

Samenvatting

Voor de groei van gewassen als tulp, hyacint en narcis is assimilatiebelichting feitelijk niet nodig (de voor groei benodigde energie zit namelijk al in de bol). Wat wel nodig is, is zgn. stuurlicht om bolbloemen van de gewenste kwaliteit (lengte, gewicht, bladkleur, bloemkleur, poot/nek verhouding etc.) te produceren. LED's produceren alleen licht van een gewenste golflengte waarbij geen warmtestraling (infrarood) vrijkomt. Dit maakt het mogelijk LED's dicht boven het gewas te hangen, waardoor in meerlagenteelt de lagen dicht op elkaar geplaatst kunnen worden.

Dit onderzoek is opgezet om de optimale rood/blauw verhouding en de minimale (LED)lichtbehoefte te bepalen voor tulpen van goede kwaliteit. Ook is nagegaan of kwaliteitssturing effectiever kan door per groeifase de kleurverhoudingen te veranderen.

De resultaten laten zien dat bij 100% blauw licht de tulpen het zwaarst en de plant-, poot- en bladlengtes het langst zijn. Vervanging van slechts een klein deel van het blauwe licht door rood licht doet plantgewicht en – lengte, en blad- en pootlengte al afnemen. Doordat bladlengtes hierbij sterker afnemen dan het deel van de steel boven de poot komt de bloem verder uit het blad. Bij een aandeel rood licht van meer dan 50% veranderen lengtes en gewicht niet meer. Doordat plantgewicht en plantlengte bij een toenemend aandeel rood licht ongeveer even sterk afnemen blijft de plantstevigheid (g/cm) gelijk. Op het aantal dagen tot de oogst heeft het aandeel rood licht geen effect. Voor de drie onderzochte tulpencultivars zijn deze effecten van de rood/blauw-verhoudingen hetzelfde.

Op narcis lijkt het effect van de verschillende LED-belichtingen vergelijkbaar met dat op tulp (kortere planten bij rood), bij hyacint is dat minder duidelijk.

Door tijdens de groei van kleur te wisselen kan de plantopbouw effectiever gestuurd worden: de poot strekt vooral in de eerste helft van de groeiperiode zodat belichten met blauw licht in die periode tot een extra lange poot leidt. Het langste blad groeit vooral in de tweede helft van de groeiperiode zodat belichten met rood licht tot een korter langste blad leidt waardoor de bloem verder uit het blad komt.

Uit de proeven blijkt ook dat bovengenoemde effecten op plantgroei en -opbouw niet verschillen bij de verschillende lichtniveaus van 10, 15 en 30 $\mu\text{mol/s/m}^2$ (waarbij 15 μmol werd gerealiseerd door 1 minuut aan/1 minuut uit bij 30 μmol). Zelfs bij het lage niveau van 10 $\mu\text{mol/s/m}^2$ zijn plantgroei en –opbouw door rood/blauwverhoudingen te sturen. Dit betekent echter ook dat deze sturing in een kas niet mogelijk is: de invloed van daglicht zal de rood/blauw verhoudingen bij LED-verlichting van 10 $\mu\text{mol/s/m}^2$ teveel verstoren. Bij groei in meerdere lagen in een klimaatcel zal deze verstoring niet optreden.

De gevonden effecten van rode en blauwe LED-verlichting bieden goede aanknopingspunten om optimale belichtingsschema's te ontwikkelen om in meerlagenteelt met een minimaal energieverbruik tulpen te telen van hoogwaardige kwaliteit.

1 Inleiding

De belangstelling voor de toepassing van LED-verlichting en meerlagenteelt onder broeiers is groot. De ontwikkelingen bij de LED-lamp gaan momenteel erg snel: het moment waarop het rendement (μmol licht/watt geïnstalleerd vermogen) van de LED-lamp die van de SON/T en TL-lampen voorbijstreeft lijkt snel dichterbij te komen.

In potentie heeft de LED-lamp een aantal voordelen t.o.v. de gangbare lichtbronnen: 1) De levensduur van een LED-lamp is vele malen langer (tot 50.000 uur), 2) LED's zijn dimbaar zonder rendementsverlies (computer-gestuurd) en 3) LED's zijn leverbaar in elke golflengte van het PAR-licht en daarbuiten tussen 400 en 800 nm. Dit laatste maakt de toepassing van LED's extra aantrekkelijk: LED's produceren alleen licht van een gewenste golflengte (bv. rood of blauw). Hierbij komt geen warmtestraling (infrarood) vrij, wat wel het geval is bij de andere lichtbronnen. In de armatuur komt echter wel warmte vrij. De afwezigheid van warmtestraling maakt het mogelijk LED's dicht boven het gewas te hangen, waardoor in meerlagenteelt van bv. tulp de lagen dicht op elkaar geplaatst kunnen worden. De kas of celruimte wordt hierdoor maximaal benut, waardoor het aandeel van deze productiemiddelen en het aandeel van de kosten voor verwarming in de kostprijs sterk naar beneden kan. Voor gewassen als tulp, hyacint en narcis is assimilatiebelichting feitelijk niet nodig (de voor groei benodigde energie zit namelijk al in de bol). De lichtbehoefte van die gewassen is vergeleken met een gewas als chrysant dan ook minimaal. Wat wel nodig is zgn. stuurlicht om bolbloemen van de gewenste kwaliteit (lengte, gewicht, bladkleur, bloemkleur, poot/nek-verhouding etc.) te produceren.

Het hieronder beschreven onderzoek had tot doel:

- Het bepalen van de optimale combinatie (verhouding) van rode en blauwe LED's voor een tulp van hoogwaardige kwaliteit.
- Het bepalen van de minimale lichtbehoefte in die verhouding.
- Te bepalen of de kwaliteit van de bolbloemen te sturen is door per groeifase de verhouding rode: blauwe LED's te veranderen.

Het onderzoek heeft zich voornamelijk gericht op het gewas tulp. In enkele proeven zijn ook de effecten van LED-belichting op de groei van narcis en hyacint bestudeerd.

2 Materiaal en Methoden

In een klimaatcel zijn in elk van 6 zgn. Deense karren 3 priktrays (waterbroei) met elk een tulpencultivar opgesteld. In vijf karren is belicht met LED's, in één kar met TL-lampen. De karren zijn met schermdoek afgeschermd. De LED belichtingen bestonden uit 100% blauwe LED's, 100 % rode LED's en 3 verschillende Rood/Blauw verhoudingen: resp. 5%, 25% en 50% rood. In de kas is van elke cultivar ook een tray afgebroeid. In de eerste trek is het totale lichtniveau per kar ingesteld op 30 $\mu\text{mol/s/m}^2$, in de twee volgende trekken is het lichtniveau ingesteld op 10 $\mu\text{mol/s/m}^2$. De celtemperatuur is bij de eerste twee trekken ingesteld op 16 °C, bij de derde trek op ongeveer 18 °C (om het oogstmoment niet teveel te laten afwijken van dat in de kas). De proefopzet van de eerste 3 trekken is samengevat in tabel 1. De temperatuur- en RV zijn met sensoren van 6 februari t/m 25 mei elk kwartier gelogd, resultaten hiervan zijn samengevat in tabellen in Bijlage 1.

Tabel 1: Proefopzetten eerste 3 trekken

Trek	periode	Temperatuur oC	Lichtniveau $\mu\text{mol/s/m}^2$	cultivars	Rood/Blauw LED %/%	Totaal aantal behandelingen
1	19-jan t/m 13-feb	16	30	Cheers Cilesta Strong Gold	0 / 100 5 / 95 25 / 75 50 / 50 100 / 0 controles: kas TL wit	3 x 7 = 21
2	16-feb t/m 7-mrt	16	10	Cheers Cilesta Strong Gold	0 / 100 5 / 95 25 / 75 50 / 50 100 / 0 controles: kas TL wit	3 x 7 = 21
3	12-mrt t/m 26-mrt	18	10	Cheers Cilesta Strong Gold	0 / 100 5 / 95 25 / 75 50 / 50 100 / 0 controles: kas TL wit	3 x 7 = 21

Bij de 4^{de} en 5^{de} trek zijn 6 LED belichtingen vergeleken: 50% rood/50% blauw, de eerste helft van de groeiperiode 100% blauw en de tweede helft 100% rood (B→R), en omgekeerd (eerst rood, dan blauw: R→B). Deze drie belichtingen zijn elk uitgevoerd onder continue belichting (30 $\mu\text{mol/s/m}^2$) en onder puls belichting (1 minuut aan, 1 minuut uit, resulterend in 15 $\mu\text{mol/s/m}^2$).

Bij de 4^{de} trek zijn de twee continue belichtingen met eerst blauw → daarna rood, en omgekeerd, voorafgegaan door 1 week groei in het donker. Groei na de omwisseling van kleur was daarom maar kort. Bij de 5^{de} trek is de donkerperiode achterwege gelaten.

De proefopzet is samengevat in tabel 2.

Bij de oogst zijn plantgewicht, en plant-, blad-, bloem- en pootlengte bepaald. Minder eenvoudig in getallen uit te drukken planteigenschappen zijn middels foto's vastgelegd.

Tabel 2: Proefopzetten 4^{de} en 5^{de} trek.

Trek	periode	Temperatuur oC	Lichtniveau $\mu\text{mol/s/m}^2$	cultivars	Rood/Blauw LED %/%	soort belichting	Totaal aantal behandelingen
4	3- en 8-april t/m 25-apr	16	30	Cheers Cilesta Strong Gold	100 R → 100 B 100 B → 100 R 50 / 50	puls continue	3 x 3 x 2 = 18
5	4-mei t/m 18-mei	16	30	Cheers Strong Gold	100 R → 100 B 100 B → 100 R 50 / 50		2 x 3 x 2 = 12

Tijdens de 2^{de} trek zijn ook narcissen en hyacinten onder LED's afgebroeid. Vanwege het kleine aantal planten zijn hieraan geen metingen verricht, wel zijn er foto's gemaakt, Bijlage 2.

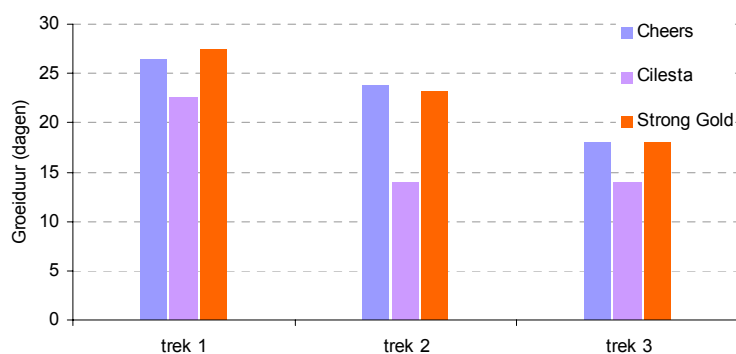
De voor dit onderzoek gebruikte LED-lampen en armaturen zijn ter beschikking gesteld door Hortilux B.V., die ook de inregeling en afstellingen voor haar rekening nam.

3 Resultaten

3.1 Trek 1, 2 en 3

Bij de eerste 3 trekken bleek het effect van de verschillende rood/blauw-verhoudingen op het aantal groeidagen minimaal. Wel bleken de tulpen onder TL lampen bij de eerste trek ongeveer 3 dagen eerder geoogst te kunnen worden dan de tulpen onder de LED's. Tulpen uit de kas konden 1 dag eerder geoogst worden. Bij de 2^{de} en de 3^{de} trek was er geen verschil tussen de oogstdatum van tulpen onder LED's en tulpen onder TL-lampen, het verschil met tulpen in de kas bleef ongeveer een dag.

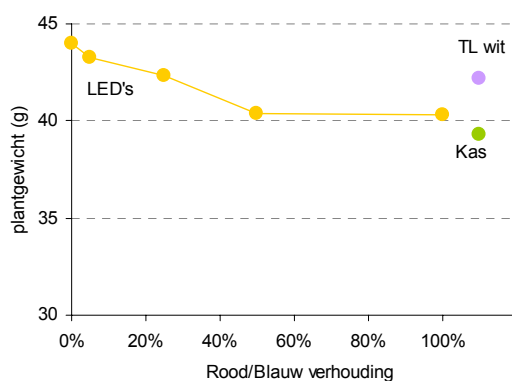
Er is wel een groot verschil in oogstdatum tussen cultivars en per trek, figuur 1.



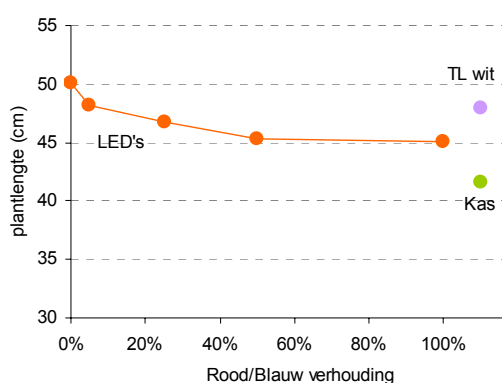
Figuur 1: Groeiduur per cultivar en per trek

Plantgewicht en plantlengte worden beïnvloed door de rood/blauw-verhoudingen. Onder 100% blauw licht (0% rood) waren de tulpen het zwaarst en het langst. Bij een tot 50% toenemend aandeel rood licht namen plantgewicht en -lengte af. Boven de 50% rood licht namen plantgewicht en -lengte niet verder af, figuur 2 en 3. Dit effect was voor de drie cultivars en de drie trekken gelijk. In de figuren zijn plantgewicht en -lengte ook van tulpen onder TL-lampen en tulpen in de kas aangegeven.

Omdat de afname in plantgewicht en -lengte ongeveer gelijk was, had de toename van het aandeel rood licht geen effect op de stevigheid uitgedrukt in g/cm.

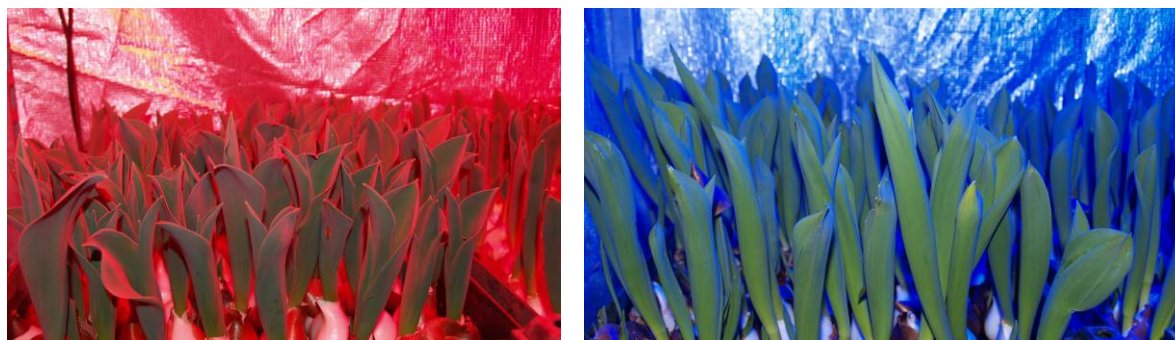


Figuur 2: Plantgewicht gemiddeld over 3 trekken.



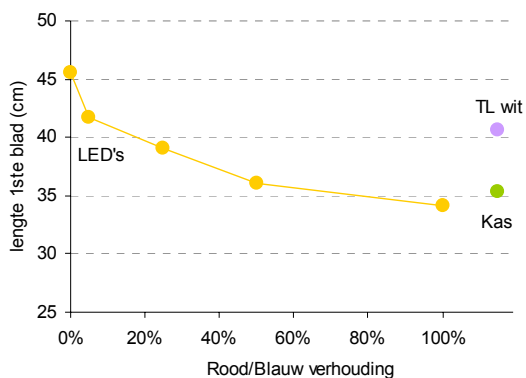
Figuur 3: Plantlengte gemiddeld over 3 trekken

Ook de plantopbouw bleek door de rood/blauw-verhoudingen te worden beïnvloed. In tegenstelling tot de resultaten van eerder onderzoek onder monochromatisch TL-licht bleek de spruit onder rood licht juist eerder te spreiden dan onder blauw licht, zie foto's. Onder blauw licht groeide de plant sterk omhoog. Het vroege spreiden van het blad is belangrijk voor het op gang komen van de verdamping en zo de kans op kiepers te verkleinen

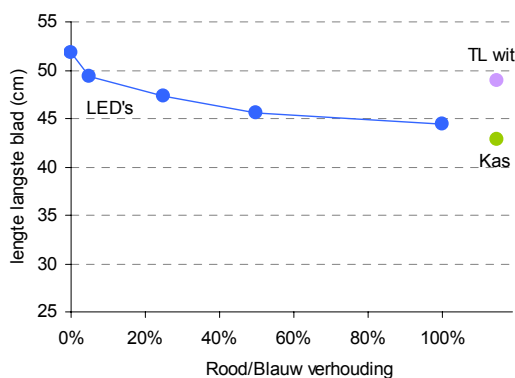


Het langste blad en vooral ook het eerste blad waren onder 100% blauw licht het langst. Met een aandeel van slechts 5% rood licht werden de bladeren al korter. Bij een toename van het aandeel rood licht tot 50% werden de bladeren steeds korter. Het verschil in bladlengte tussen tulpen onder 50% rood licht en 100% rood licht is niet significant, figuur 4 en 5. Tulpen uit de kas kwamen meer overeen met tulpen afgebroeid onder 50% of meer rood licht, tulpen onder TL – lampen meer met tulpen afgebroeid onder 5 – 25 % rood licht.

Ook hier bleek het effect van de rood/blauw-verhoudingen voor de drie trekken en de drie cultivars gelijk te zijn.



Figuur 4: Lengte van het 1ste blad.



Figuur 5: lengte van het langste blad.

Onder 100% blauw licht bleek de bloem dieper in het blad te zitten (de bovenkant van de bloem bevond zich bijna 2 cm onder de punt van het langste blad). Bij toename van het aandeel rood licht nam de lengte van het langste blad sterker af dan de lengte van steel, waardoor de bloem meer naar buiten kwam, figuur 6.

Ook de pootlengte (het stengeldeel vanaf de bol tot het 1^{ste} blad) nam af wanneer het aandeel rood licht toeneemt, figuur 7.

De effecten van de rood/blauwverhoudingen op de bloempositie en de pootlengte waren voor de drie trekken en de drie cultivars gelijk, zie Foto's.



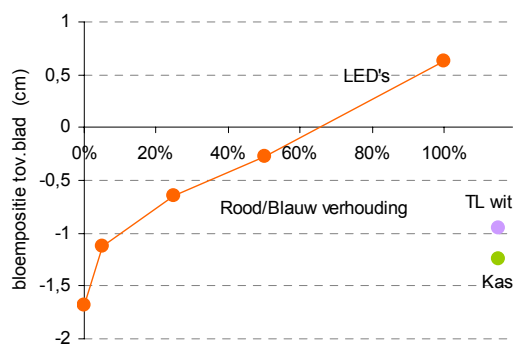
Strong gold, trek 1, dag 19.



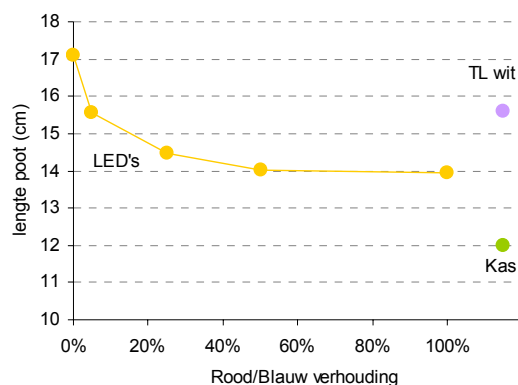
Cilesta, trek 1, dag 19



Cheers, trek 1, dag 19



Figuur 6: Bloempositie t.o.v. het langste blad (negatief getal betekent bloem in blad).



Figuur 7: De pootlengte.

Bij trek 1 was het lichtniveau 3 maal zo hoog dan bij trek 2 en 3 ($30 \mu\text{mol/s/m}^2$ tegen 10). Toch gaf dit geen aantoonbare verschillen in plantgewicht en -opbouw.

Samenvattend (zie ook tabel 3): 100% blauw licht gaf langere en zwaardere tulpen. De bladeren waren langer, de bloem zat meer in het blad en de poot was langer. Zodra er met rood licht gecombineerd werd namen plantgewicht en -lengte, en blad- en pootlengte af en kwam de bloem meer uit het blad. Bij een aandeel rood licht van meer dan 50% veranderden lengtes en gewicht niet meer. Op de plantstevigheid (g/cm) en het aantal dagen tot de oogst had het aandeel rood licht geen effect. Voor de drie cultivars en bij de drie trekken waren deze effecten gelijk.

Tabel 3: Samenvatting verschillen in plantgewicht en -opbouw.

	100% blauw	100% rood	toe/afname
plantgewicht	44,0	40,3	8,4%
plantlengte	50,1	45,1	10,1%
lengte 1ste blad	45,6	34,2	25,0%
lengte langste blad	51,8	44,4	14,2%
pootlengte	17,1	14,0	18,4%

Het loggen van de temperatuur- en RV-metingen met sensoren tussen de tulpen van 6 februari tot 25 mei gaf aan dat temperatuurverschillen tussen de LED-belichtingen erg klein en niet aan lichtkleur gerelateerd waren (immers, $30 \mu\text{mol/s/m}^2$ blauw licht kost meer energie dan $30 \mu\text{mol/s/m}^2$ rood licht, waardoor er meer warmte bij vrijkomt en een hogere temperatuur gemeten zou kunnen worden), tabel 4.

Tabel 4: Gemiddelde temperatuur en RV bij de eerste drie trekken.

		Lichtbehandelingen					
		100% Blauw	5% Rood	25% Rood	50% Rood	100%Rood	TL
Trek 1							
Temperatuur	°C	15,8	15,8	16,5	16,0	16,0	16,3
RV	%	45	50	39	40	41	41
Trek 2							
Temperatuur	°C	15,8	16,0	16,1	15,9	15,3	15,9
RV	%	64	49	53	56	74	54
Trek 3							
Temperatuur	°C	16,1	16,0	15,8	16,2	15,7	16,8
RV	%	45	45	46	51	46	43

De gemiddelde luchtvochtigheid (RV%) tussen de tulpen was erg laag waardoor de verdamping voldoende werd gestimuleerd om blad- en stengelkiep te voorkomen. Voor details, zie Bijlage 1. Toevoeging van geleidingswarmte of infra-rode LED's was dus niet zinvol.

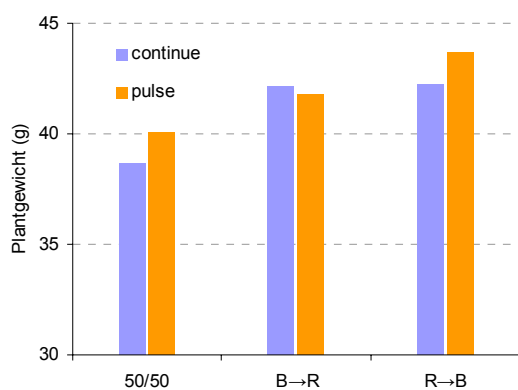
Op narcis lijkt het effect van de verschillende LED-belichtingen vergelijkbaar met dat op tulp (kortere planten bij rood), bij hyacint is dat minder duidelijk, zie bijlage 2.

3.2 Trek 4 en 5

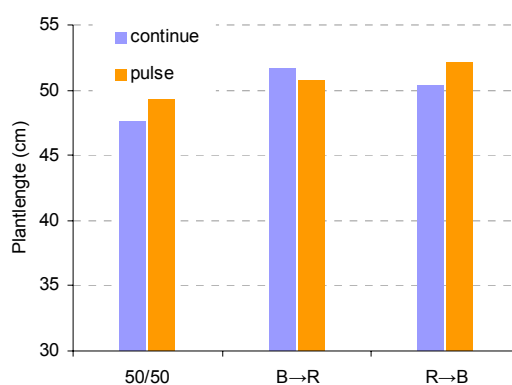
In trek 4 en 5 zijn 2 (puls versus continue belichten) x 3 (50% rood/50% blauw, eerst 100% rood → daarna 100% blauw (R→B), en omgekeerd(B→R)) = 6 lichtbehandelingen vergeleken. Bij trek 4 zijn deze laatste twee behandelingen onder continue belichting vooraf gegaan door 1 week donker (onder 17 °C). De tulpen groeiden onder continu licht bij 30 $\mu\text{mol/s/m}^2$ en onder pulsbelichting (1 minuut aan, 1 minuut uit) bij 15 $\mu\text{mol/s/m}^2$.

Bij het precies halverwege de trek omzetten van 100% blauw naar 100% rood (en omgekeerd) zijn in trek 4 plant- en bladlengte gemeten. Bij de 5^{de} trek is de eerste week donker achterwege gelaten.

Gemiddeld over de twee trekken waren de planten onder 50% blauw/ 50% rood lichter en korter dan de overige tulpen. Tussen de overige tulpen en tussen puls en continu-belichting was geen (significant) verschil, figuur 8 en 9. Tulpen eerst onder blauw, dan onder rood licht (B→R) of omgekeerd (R→B) waren ongeveer even lang en zwaar.

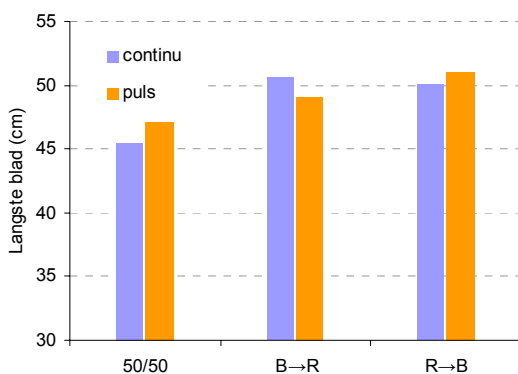


Figuur 8: Plantgewichten trek 4 en 5.

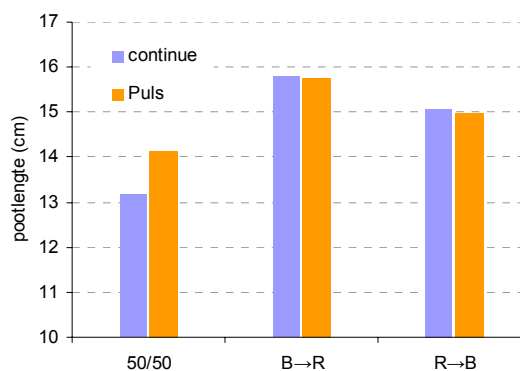


Figuur 9: Plantlengtes trek 4 en 5.

Ditzelfde geldt voor de lengte van het langste blad, figuur 10.



Figuur 10: Lengtes langste blad trek 4 en 5.

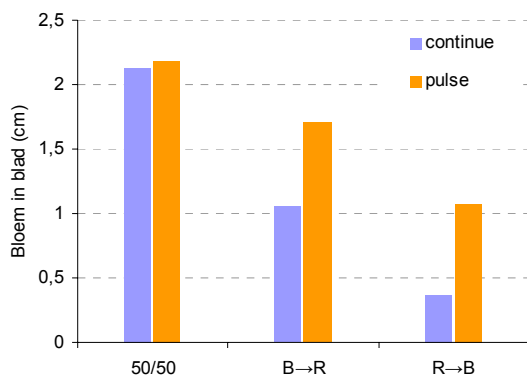


Figuur 11: Pootlengtes trek 4 en 5.

Er waren geen verschillen in stevigheid (g/cm), noch in oogstdatum.

Ook de pootlengte van de tulpen onder 50% blauw/50% rood was kleiner dan bij de overige tulpen. Eerst onder blauw, dan onder rood (B→R) gaf echter een iets langere poot dan omgekeerd (R→B), figuur 11. Bij deze twee was er geen verschil tussen puls en continu-belichting. Bij 50% blauw/50% rood gaf pulsbelichting een iets langere poot. Hoewel deze laatste verschillen statistisch significant zijn, zijn ze erg klein.

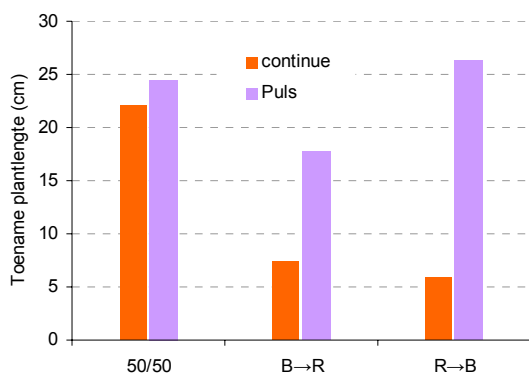
Bij 50% blauw/50% rood stak de bloem verder uit het blad dan bij tulpen die eerst onder 100% blauw en daarna onder 100% rood licht, of omgekeerd, groeiden, figuur 12.



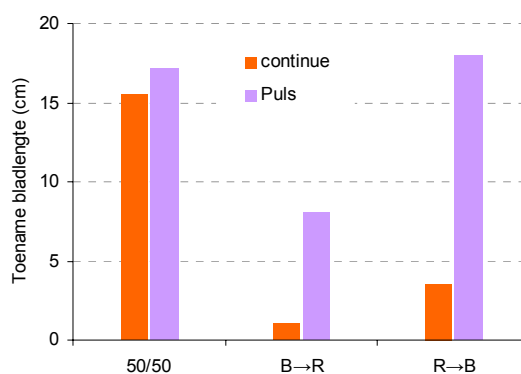
Figuur 12: Bloempositie trek 4 en 5.

Uit de eerste 3 trekken bleek dat de lengtegroei van het blad door rood licht verminderde. Omdat bij de tulpen die eerst onder 100% blauw en daarna onder 100% rood licht opgroeiden de bloem verder uit het blad stak dan bij tulpen die eerst onder rood en daarna onder blauw opgroeien, ligt het voor de hand aan te nemen dat de lengtegroei van het langste blad in de late groeifase plaats vindt. Uit de langere poot bij tulpen die eerst onder blauw en daarna onder rood licht opgroeiden volgt dat “het strekken van de poot” in de vroege groeifase plaatsvindt. Dit is een aanknopingspunt om met LED-kleuren de groei van de plant te sturen.

Bij trek 4 zijn op het moment van het verplaatsen van de tulpen van 100% blauw naar 100% rood licht, en omgekeerd, plant- en bladlengtes gemeten. Bij de oogst kon daardoor de toename sinds het verplaatsen worden vastgesteld, figuur 13 en 14.



Figuur 13: Toename plantlengte na kleurwisseling.



Figuur 14: Toename bladlengte na kleurwisseling.

De tulpen onder continue belichting stonden de eerste week in het donker en waren op het moment dat belicht ging worden dus al een week verder in de groei dan de overige tulpen, reden waarom er na de wisseling van kleur weinig lengte meer bijkomt.

De tulpen onder pulsbelichting en de tulpen onder 50% blauw/50% rood continue, zijn direct in het licht gezet. Eerst onder blauw en vervolgens onder rood gaf een geringere lengtetoeename na het verwisselen van lichtkleur dan andersom: groei onder blauw licht is sterker dan onder rood licht.

De lengtetoeename van tulpen onder de 50% blauw/50% rood continue verschilde niet (significant) van groei onder pulsbelichting.

De resultaten van de temperatuur en RV-metingen zijn samengevat in tabel 5. Ook bij trek 4 en 5 waren de temperatuursverschillen klein en niet te relateren aan lichtkleur.

Tabel 5: Gemiddelde temperatuur en RV bij de vijf trekken.

		Lichtbehandelingen					
		100% Blauw continue	100%Rood continue	50% Rood continue	100% Blauw pulse	100%Rood pulse	50% Rood pulse
Trek 4							
Temperatuur	°C	15,3	15,6	15,3	16,1	15,4	15,4
RV	%	74	65	68	61	65	77
Trek 5							
Temperatuur	°C	16,1	16,2	16,3	16,2	16,2	16,1
RV	%	62	57	57	57	61	62

4 Conclusies en aanbevelingen

Uit alle proeven blijkt dat bij 100% blauw licht de tulpen het zwaarst en de plant-, poot- en bladlengtes het langst zijn. Vervanging van slechts een klein deel van het blauwe licht door rood licht doet plantgewicht en – lengte, en blad- en pootlengte al afnemen. Doordat bladlengtes hierbij sterker afnemen dan het deel van de steel boven de poot komt hierdoor de bloem verder uit het blad. Bij een aandeel rood licht van meer dan 50% veranderen lengtes en gewicht niet meer. Doordat plantgewicht en plantlengte bij een toenemend aandeel rood licht ongeveer even sterk afnemen blijft de plantstevigheid (g/cm) gelijk. Op het aantal dagen tot de oogst heeft het aandeel rood licht geen effect. Voor de drie onderzochte tulpencultivars zijn deze effecten van de rood/blauw-verhoudingen hetzelfde.

Door tijdens de groei van kleur te wisselen kan de plantopbouw effectiever gestuurd worden: de poot strekt vooral in de eerste helft van de groeiperiode zodat belichten met blauw licht in die periode tot een extra lange poot leidt. Het langste blad groeit vooral in de tweede helft van de groeiperiode zodat belichten met rood licht tot een korter langste blad leidt waardoor de bloem verder uit het blad komt.

Tulpencultivars die niet voldoende op lengte komen, of waarvan de bloem onvoldoende uit het blad komt, of juist teveel uit het blad komt, kunnen gestuurd worden door meer of minder rood aan blauw licht toe te voegen. De optimale combinatie (verhouding) van rode en blauwe LED's voor een tulp van hoogwaardige kwaliteit is dus cultivar afhankelijk.

Uit deze proeven blijkt ook dat bovengenoemde effecten op plantgroei en -opbouw niet verschillen bij de verschillende lichtniveaus van 10, 15 en 30 $\mu\text{mol/s/m}^2$ (waarbij 15 μmol werd gerealiseerd door 1 minuut aan/1 minuut uit bij 30 μmol). Zelfs bij het lage niveau van 10 $\mu\text{mol/s/m}^2$ zijn plantgroei en –opbouw door rood/blauwverhoudingen te sturen. Dit betekent echter ook dat deze sturing in een kas niet mogelijk is: de invloed van daglicht zal de rood/blauw verhoudingen bij LED-verlichting van 10 $\mu\text{mol/s/m}^2$ teveel verstoren. Bij broei in meerdere lagen in een klimaatcel zal deze verstoring niet optreden.

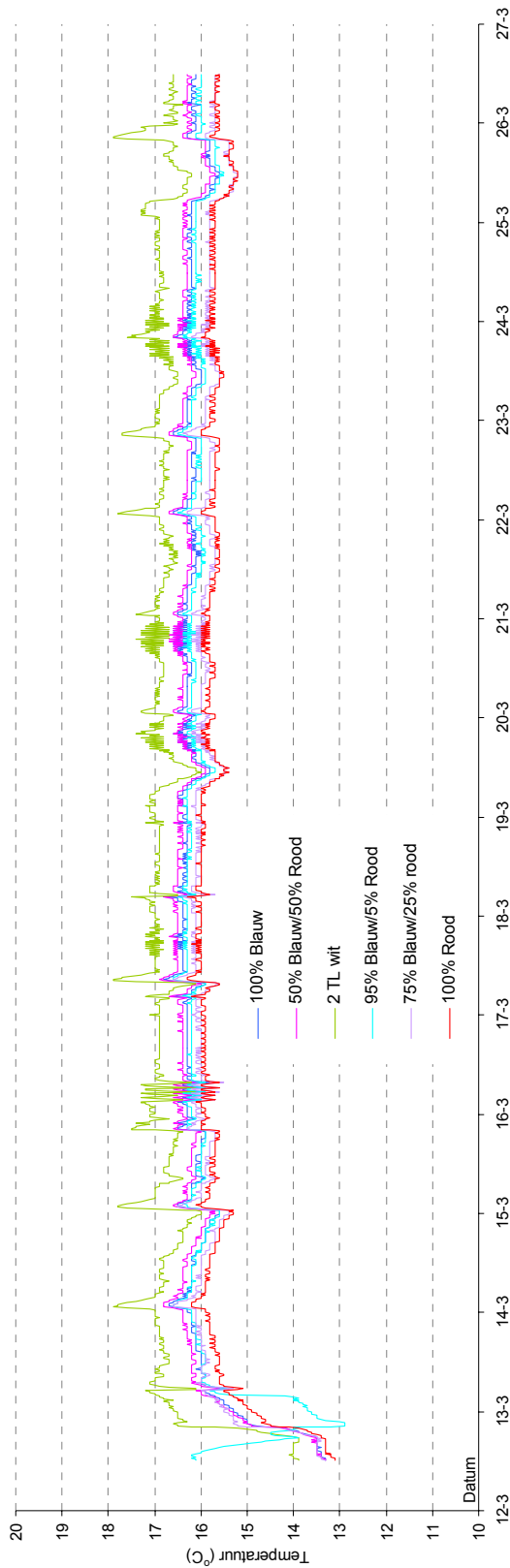
Samenvattende conclusies:

- Bij 100% blauw licht zijn tulpen het zwaarst en de plant-, poot- en bladlengtes het langst.
- Het langste blad steekt dan boven de bloem uit.
- Een kleine toename van de rood/blauw verhouding doet plantgewicht en –lengte, en blad- en pootlengte al afnemen.
- De plantstevigheid (g/cm) verandert hierbij niet.
- Een lichtniveau van 10 $\mu\text{mol/s/m}^2$ is voor kwaliteitssturing voldoende.
- Door tijdens de groei van kleur te wisselen kan de plantopbouw nog ingrijpender gestuurd worden.
- De effecten van rood/blauw verhoudingen zijn voor de drie cultivars hetzelfde.
- Welke sturing optimaal is, is wel cultivar-afhankelijk.
- Gezien het lage lichtniveau waarmee gestuurd kan worden is sturing alleen mogelijk in klimaatcellen.

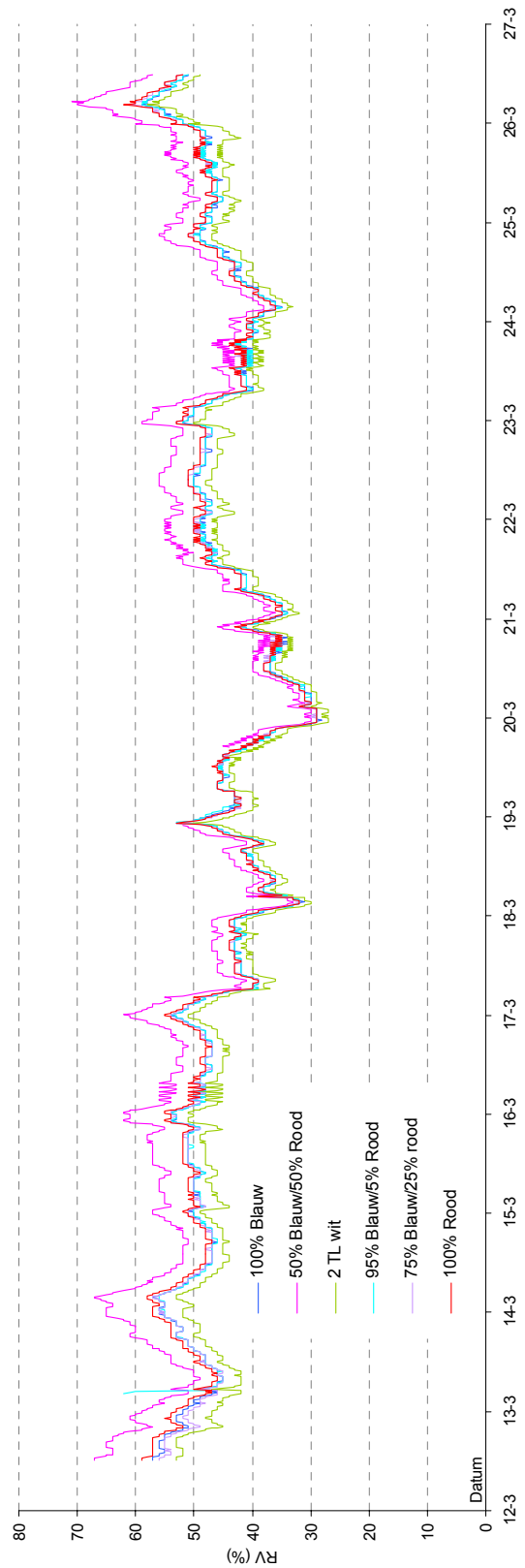
Aanbevelingen:

Deze proeven hebben laten zien dat kwaliteitssturing met rode en blauwe LED's mogelijk is. Afhankelijk van de cultivar zal de optimale rood/blauw-verhouding ergens tussen de 0% rood/100% blauw en 20% rood/80% blauw liggen. Effectievere sturing is mogelijk door belichting met rood en blauw af te wisselen. Bijvoorbeeld een snelle spreiding van de spruit met 100% rood licht om kiepers te voorkomen, gevolgd door 100% blauw voor forsere groei en de laatste periode weer 100% rood om de bloem net boven het blad te houden. Het wordt daarom aanbevolen om voor een aantal belangrijke cultivars de optimale rood/blauw wisselingen nader te onderzoeken. Vanuit energiebesparingoogpunt verdient het aanbeveling om de mogelijkheden van pulsbelichting verder te onderzoeken, bv. in de range van seconden of milliseconden.

Bijlage 1: Temperatuur en RV metingen



Figuur 1: Temperatuurverloop tijdens de 3de trek.



Figuur 2: RV-verloop tijdens de 3de trek.

In de periode van 6 februari t/m 25 mei zijn bij de verschillende lichtbehandelingen elk kwartier de temperatuur en de RV- gelogd. Voor de 3^{de} trek geven figuur 1 en 2 hiervan een samenvatting.

Bijlage 2: LED verlichting bij Hyacint en Narcis

Hyacint onder LED-verlichting



Narcis onder LED-verlichting



Foto's: Rob de Groot, DLVPlant