



# Rekken en Strecken in de Schaduw

Optimaliseren LED Spectrum bij schaduwplanten,  
met potanthurium als modelgewas

Nieves García Victoria

Rapport WPR-1084

## Referaat

Door schaduwplanten onder een aangepast LED spectrum te telen, kan energie worden bespaard. De eerste ervaring met Full LED bij potanthurium resulteerde in flinke groei maar ook in sterk gerekte bloemstelen en gevlekt blad. Met dit onderzoek is in twee korte teelten de hypothese bevestigd dat strekking en bladschade te voorkomen zijn als er onder een bij schaduwplanten passend spectrum en bij kortere dag wordt geteeld. Er zijn zes verschillende LED spectra vergeleken, met verschillende R:FR verhoudingen in een achtergrond van beperkt daglicht (wintercondities). Gebleken is dat de bloem- en bladhoogte zijn te remmen door de R:FR verhouding te verlagen, de omgekeerde reactie van lichtminnende gewassen, zonder in te boeten op plantgroei of kwaliteit. Er zijn twee daglengtes vergeleken. De langere dag leverde evenredig meer versgewicht op, maar zorgde voor meer bladvlekken en bij een ongunstige R:FR ook voor meer bloem- en bladstrekking. Er zijn aanwijzingen gevonden voor een verhoogde efficiëntie van de fotosynthese bij lagere R:FR verhouding. Voor het verklaren van deze effecten, implementatie en doorvertaling is verificatie bij langere teeltduur en verdieping gewenst.

## Abstract

LED is needed to reduce the energy consumption of lighting in greenhouse production. The first experience with Full LED in pot Anthurium resulted in increased growth, but also in strongly elongated flower stems and leaf damage. With this research we have tested in two short trials and confirmed the hypothesis that stretching and leaf damage can be avoided by LED spectrum more suitable for shade plants and shorter days. Six LED spectra with different R:FR ratios were compared in a background of limited daylight (winter conditions). Results showed that flower and leaf height can be limited by lowering the R:FR ratio (reverse reaction than light-loving crops) without decrease in plant growth or quality. Two fotoperiods were compared. The longer day resulted in proportionally more fresh weight, but stimulated leaf spots and with an unfavorable R:FR also increased stem elongation. Indications have been found for increased photosynthesis efficiency at lower R:FR ratio. To explain all these effects, more and longer research is needed.

## Rapportgegevens

Rapport WPR-1084

Projectnummer: 3742307300

DOI: <https://doi.org/10.18174/568145>

Thema: Duurzame productie

Dit onderzoek is tot stand gekomen door de bijdrage van Kas Als Energiebron, het Actie en Innovatie Programma van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en Glastuinbouw Nederland met een bijdrage in natura van Tungsram.

## Disclaimer

© 2022 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Glastuinbouw, Postbus 20, 2665 MV Bleiswijk T 0317 48 56 06, [www.wur.nl/plant-research](http://www.wur.nl/plant-research).

Kamer van Koophandel nr.: 09098104. BTW nr.: NL 8113.83.696.B07.

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

Stichting Wageningen Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

## Adresgegevens

### Wageningen University & Research, BU Glastuinbouw

Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk

Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk

T +31 (0)317 48 56 06

F +31 (0)10 522 51 93

[glastuinbouw@wur.nl](mailto:glastuinbouw@wur.nl)

[www.wur.nl/glastuinbouw](http://www.wur.nl/glastuinbouw)

# Inhoud

	<b>Dankwoord</b>	<b>5</b>
	<b>Samenvatting</b>	<b>7</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>9</b>
1.1	Aanleiding	9
1.1.1	Eerste toepassing LED belichting bij potanthurium leidt tot bloemsteelstrekking	9
1.1.2	Bloemsteel strekking in eerder onderzoek	9
1.1.3	Eerste toepassing LED belichting bij potanthurium leidt tevens tot bladschade	10
1.1.4	De mogelijke rol van het spectrum van de belichting (zowel SON-T als LED)	10
1.2	Doel van het onderzoek	11
1.3	Hypotheses	11
1.3.1	Toelichting hypotheses	12
<b>2</b>	<b>Materialen en methodes</b>	<b>13</b>
2.1	Kasafdeling en opzet	13
2.2	Gewas	13
2.3	Teelt	14
2.3.1	Water en voeding	14
2.3.2	Klimaat	14
2.3.3	Belichting en daglicht regulatie – simuleren van wintercondities	14
2.4	Behandelingen	15
2.4.1	Spectra	15
2.5	Metingen en waarnemingen	17
2.5.1	Monitoring kascondities	17
2.5.2	Lichtmetingen	18
2.5.3	Start meting plantkenmerken	18
2.5.4	Tussenmetingen plantkenmerken	18
2.5.4.1	Automatische plantmetingen (vision)	18
2.5.4.2	Handmatige plantmetingen	18
2.5.5	Eindmeting plantkenmerken	19
2.5.6	Efficiëntie van de Fotosynthese	19
2.5.7	Fotosynthese en respiratie bij verandering van daglengte	20
2.5.8	Bepaling chlorofyl en carotenoïde gehalte blad	20
2.6	Statistiek	21

<b>3</b>	<b>Resultaten</b>	<b>23</b>
3.1	Lichtsommen	23
3.2	Planteffecten	24
3.2.1	Visuele beoordeling (telers) eerste teelt (7 weken, 12 uur belicht)	24
3.2.2	Plantkenmerken na afloop van de eerste teelt (7 weken, 12 uur belicht)	25
3.2.3	Visuele beoordeling (telers), tweede teelt (7 weken bij 16 uur belichting)	28
3.2.4	Plantkenmerken na afloop van de tweede teelt (7 weken, 16 uur belicht)	29
3.3	Groeiverloop in de tijd bij 12 en bij 16 uur	31
3.3.1	Automatische plantmetingen (Plantalyser)	32
3.3.2	Handmatige wekelijkse plantmetingen	36
3.3.3	Bladvergeling en gehalte aan Chlorofyl en carotenoïden	37
3.4	Efficiëntie van de Fotosynthese (chlorofylfluorescentie)	39
3.4.1	Efficiëntie PSII bij 12 uur belichting	39
3.4.2	Efficiëntie PSII bij 16 uur belichting	41
3.4.3	Berekende ETR (elektronentransportsnelheid)	43
3.4.4	Verloop bladtemperatuur	44
3.4.5	Verloop relatieve luchtvochtigheid op bladniveau	44
3.4.6	Fotosynthese en respiratie bij verandering van daglengte	45
<b>4</b>	<b>Discussie</b>	<b>47</b>
4.1	Strekking en plantvorm	47
4.2	Bloei, groei (biomassa toename)	49
4.3	Bladkwaliteit	49
4.4	Daglengte effecten	51
4.5	Fotosynthese	52
4.6	Vertaling naar andere gewassen	52
<b>5</b>	<b>Conclusies</b>	<b>55</b>
<b>6</b>	<b>Aanbevelingen</b>	<b>57</b>
6.1	Voor vervolg onderzoek	57
6.2	Voor de praktijk	57
	<b>Literatuur</b>	<b>59</b>
	<b>Bijlage 1 Licht metingen, plattegronden</b>	<b>61</b>
	<b>Bijlage 2 Statistiek destructieve metingen</b>	<b>65</b>
	<b>Bijlage 3 Verloop efficiëntie PS2</b>	<b>67</b>
	<b>Bijlage 4 Licht Response curves (CF)</b>	<b>77</b>
	<b>Bijlage 5 24 uurs fotosynthese metingen</b>	<b>79</b>

# Dankwoord

Onderzoek doen is team werk. Dit project heeft op de inzet moeten rekenen van verschillende deskundige collega's van binnen en buiten WUR Glastuinbouw, en die wil ik graag bedanken. Frank Kempkes voor het meedenken vanuit het eerste probleemanalyse in de kas2030. Gert Vletter, die de klimaatinstellingen nauwkeurig bijhoudt en waar nodig aanpast en het gewas met veel zorg behandelt. Tineke van 't Hof voor de nauwkeurige verificatie van spectra met de lichtmetingen, en de wekelijkse en de destructieve metingen aan de planten. Sarah Lodi, voor haar ondersteuning met de destructieve metingen; zij en Waldo de Boer voor de statistiek. Shuna Wang voor de laboratorium bepalingen. Kees Weerheim, Bas Voges en Mary Warmenhoven voor de fotosynthese metingen. Jan Snel voor de Hex-Pam data. Onze collega's van de technische dienst voor het ontwerp en de bouw van de verstelbare steun frames, het aansluiten van de lampen en de sensoren. Mark van Hoogdalem voor zijn college strekkingsbiologie. Arie de Gelder voor het commentaar op het eerste concept. Tungsram voor het leveren van lampen in de verschillende spectra. Tot slot bedank ik de leden van de BCO potanthurium voor de goede verzorgingsadviezen, de boeiende discussies en de visuele beoordelingen van het gewas. En natuurlijk: Kas als Energiebron voor het vertrouwen en de financiering.

Nieves García Victoria



# Samenvatting

Met als doel energie te besparen door de samenstelling van het spectrum van de LED belichting bij potanthurium in fossielvrije en conventionele teelt concepten te verbeteren, en zo bredere implementatie van LED belichting bij schaduwplanten (met als voorbeeld gewas potanthurium) mogelijk te maken, is in 2021 een onderzoek uitgevoerd bij Wageningen UR Glastuinbouw in Bleiswijk.

Aanleiding hiervoor waren de ervaringen met de eerste toepassing van full LED bij potanthurium in Kas2030, een demonstratiekas bij Wageningen UR Glastuinbouw ontwikkeld en gebouwd met financiering door het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV). De groei en ontwikkeling van het gewas in Kas2030 was in de winter veel sneller dan de praktijk (zowel onbelicht als met lage intensiteit SON-T belicht). Nadeel was dat met het gebruikte spectrum (8% B, 6% G, 85% R, 1%FR), intensiteit (200  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ ) en daglengte (16 uur) er kwaliteitsproblemen ontstonden zoals overmatige strekking van blad en bloemstelen, een probleem wat ook bekend is van belichting met minder energie-efficiënte SON-T, en een vlekkerige vergeling van het ouder blad. Uit een probleem analyse is geconcludeerd dat het gebruikte spectrum van de belichting een rol van betekenis zou kunnen spelen als oorzaak van de in Kas2030 waargenomen kwaliteitsproblemen bij potanthurium.

Natuurlijke schaduwlicht heeft een lage Rood:Verrood (R:FR) verhouding dat kan dalen tot 0.5; lichtminnende gewassen reageren hierop met schaduwzijdig gedrag, waarbij de plant onder andere gaat strekken om uit deze, onvoordelige condities te komen. Anthurium is een schaduwplant, waar het juist een nadeel oplevert om uit de schaduw te komen vanwege risico op lichtschade, huidmondjes sluiting, stijging bladtemperatuur en bladverbranding. Onze hypothese is dat de strekkingsreactie bij deze schaduwplant (en mogelijk andere) juist wordt gestimuleerd bij een hoge R:FR verhouding, zoals in het spectrum van de LED waarmee er ervaring is opgedaan in Kas2030 en van de SON-T belichting.

Concreet zijn drie hypothesen getoetst: 1- Anthurium laat bloemsteelstrekking zien bij belichting met meer rood licht zonder of met weinig FR en doet dat niet met meer FR in het spectrum; 2- Anthurium laat sneller bladschade zien bij belichting met rood licht zonder FR dan met toegevoegd FR of natuurlijk licht; en 3- Beide effecten (bloemsteelstrekking en bladschade) verergeren bij langere daglengte (16 uur) dan bij een kortere dag van 12 uur.

De hypothesen zijn getoetst in twee teelten van ieder 7 weken, uitgevoerd tussen 9 maart en 29 juni 2021 met halfwas Anthurium Royal Champion in 12 cm potten op 6 potplantentafels. De eerste teelt bij daglengte 12 uur; de tweede teelt bij 16 uur daglengte. Met behulp van schermdoeken en een koelinstallatie is de wintersituatie nagebootst door maximaal 1.4 Mol/dag aan natuurlijk licht toe te laten. De planten zijn geteeld onder zes verschillende LED belichting spectra, met een afnemende verhouding R:FR (85, 6.4, 2.9, 1.5, 1, 0.6). Hiertoe waren 2 lampen boven elke teelttafel aan frames bevestigd met een intensiteit van 200  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$  PFD (400-800 nm). De effecten van de spectra onder deze wintercondities op de planten zijn beoordeeld door de planten wekelijks en aan het einde van elke teelt te meten en te beoordelen.

Gebleken is dat:

1. de strekking van zowel bloemstelen als van blad stelen is inderdaad te beheersen met een spectrum van de LED belichting met een lage tot zeer lage R:FR verhouding (2.9 tot 0.6). Het spectrum van de SON-T belichting, waar eerder ook bloemsteeltrekking in is beschreven, heeft een R:FR van 6.5. *Dit is de omgekeerde reactie van lichtminnende planten, die strekken bij lage R:FR verhouding.*
2. de bladkwaliteit (het optreden van geel/oranje bladvlekken) bij 12 uur wordt binnen de 7 weken teeltduur beperkt aangetast door de verschillende spectra, en bij 16 uur is het eveneens te verbeteren met een lage tot zeer lage R:FR verhouding (2.9 tot 0.6).
3. In vergelijking met 12 uur belichten, worden zowel bloem steelstrekking als bladvlekken versterkt bij de hoge R:FR verhoudingen als er een langere belichtingduur (16 uur) wordt toegepast.

Tussen planten uit de verschillende behandelingen zijn geen significante verschillen gezien in aantal bloemen, aantal bladeren of totaal bladoppervlakte, het versgewicht en ook niet het drooggewicht. Dat, ondanks dat het toevoegen van FR licht aan het spectrum bij gelijke totale fotonen flux resulteert in een afname van PAR licht. Mogelijk omdat de plant het verlies aan PAR 'compenseert' met een efficiëntere fotosynthese als gevolg van de toegevoegde FR (via het Emerson Enhancement effect). Uit de chlorofyl fluorescentie metingen en de verkennende fotosynthese metingen zijn aanwijzingen gevonden voor deze verhoogde efficiëntie.

De toename in plantgewicht gedurende 7 weken was wel groter bij de planten die 16 uur werden belicht. Een langere dag leverde evenredig meer groei (versgewicht), dat is gunstig voor een snellere teelt (tijd tot aflevering). Voor een teler interessant, maar ook vanuit energie voorziening voor een langere benutting van de warmte van de lampen in een fossielvrije teelt. Maar 16 uur belichten met R:FR van 6.4 of hoger leidt tot teveel strekking en teveel bladvlekken.

De resultaten bevestigen de drie vooraf geformuleerde hypothesen. Voor praktijkimplementatie bij potanthurium of vertaling naar andere schaduwgewassen bieden de resultaten en verkenningen een richting, maar onvoldoende houvast. Verificatie bij een langere teeltduur (een volledige teelt uitgevoerd in de winterperiode), verbreding naar minstens een tweede cultivar, en verdieping (verklaring van de effecten op een meer fundamenteel niveau) zijn nodig om die houvast te kunnen bieden.

Aanbevolen wordt in eventueel vervolgonderzoek aandacht te besteden aan het verloop van de verdamping in relatie tot de R:FR verhouding. Een opzet waarbij lage PAR effecten kunnen worden onderscheiden van lage R:FR verhouding effecten is eveneens wenselijk.



# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

Met de komst van de energiezuinige LED belichting ontstaan nieuwe kansen voor elektrabesparing, om hogere lichtintensiteiten te gebruiken met gelijke of zelfs lagere elektrische vermogens. Omdat met LED het mogelijk wordt om een spectrum op maat te kiezen, waarbij behalve de intensiteit, ook de verhouding tussen lichtkleuren kan worden gekozen, ontstaan vragen over de te gebruiken spectra, zodat de morfologie van de plant en bepaalde plantprocessen kunnen worden beïnvloed; in de laatste paar jaar is dan ook veel onderzoek gedaan naar "lichtrecepten" voor verschillende gewassen.

De Nederlandse tuinbouw is sterk afhankelijk van gas voor de energievoorziening. All-electric teeltconcepten met duurzaam opgewekte stroom zijn daarvoor een alternatief. Deze zijn nodig om de doelen van Kas als Energiebron en de sector om de CO<sub>2</sub> emissies te verlagen te realiseren. Hierbij is LED een onmisbaar onderdeel. Als de kas door goede isolatie, verwarmd kan worden met de warmte van de lampen en warmteogst uit de latente energie die vrijkomt bij ontvochtiging, dan is een all-electric teelt wellicht mogelijk, ook voor potanthurium.

Met de gedachten en ontwikkelingen naar een all-electric, duurzaam fossielvrij teeltsysteem, is de demonstratiekas Kas2030 bij Wageningen UR Glastuinbouw ontwikkeld en gebouwd met financiering door het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV). Als gewassen worden hierin geteeld, Aardbei, Freesia, Gerbera en Potanthurium. Dit is de eerste toepassing van full LED bij potanthurium, een bloeiende schaduwplant. In twee zomerteelten (grotendeels onbelicht) en een winterteelt zijn planten geteeld. Gestreefd werd naar een lichtsom van 9-10 Mol per dag, wat hoger is dan in de praktijk gebruikelijk; in de zomer door meer natuurlijke licht toe te laten; in de winter door de aanwezigheid van hoge intensiteit (200  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ) LED belichting, in een spectrum bestaande uit 8% Blauw licht (B), 6% Groen licht (G), 85% Rood (R) en 1% Verrood (FR) licht. Dit spectrum was gebaseerd op ervaringen bij andere siergewassen.

De groei en ontwikkeling van het gewas in Kas2030 was in de winter heel snel. De planten ontwikkelden zich onder belichting in een rap tempo: 6 tot 11 weken sneller dan de praktijk onbelicht; 4-6 weken sneller dan de praktijk met lage intensiteit SON-T belicht, met veel meer bloemen per plant (35-50% meer), grotere bloemen (breder en langer), en groter blad.

### 1.1.1 Eerste toepassing LED belichting bij potanthurium leidt tot bloemsteelstrekking

Nadeel was dat met het gebruikte spectrum, intensiteit en daglengte (16 uur) ook in grote mate bloemsteelrek optrad. De bloemsteeltjes konden tot 20 cm langer zijn dan de bladstelen, en daardoor hoog boven het bladpakket uit torenen. Hierdoor oogt de plant mager en graterig en is onverkoopbaar geworden.

### 1.1.2 Bloemsteel strekking in eerder onderzoek

Uit onderzoek (Van Telgen *et al.* 2004, Van Telgen *et al.* 2005, Van Noort *et al.* 2014), is het bekend dat de groei, bloei en ontwikkeling en dus de teeltduur van potanthurium in de Nederlandse wintermaanden versneld kan worden met belichting en in de zomer met het toelaten van meer natuurlijk daglicht. Het onderzoek in 2005 was gericht op het benutten van de positieve effecten van belichting en beheersen van de bloemsteelrek. Dat bleek mogelijk door: een matige intensiteit van de belichting (55  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ) leidt tot minder rek dan 110  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ), een kortere dag (8 uur was beter dan 14 uur belichten) en door het "omkeren" van de natuurlijke temperatuurverloop in de dag: een warme nacht en een koude dag, de zogenaamde "Negatieve DIF". Dit is een effectief middel om lengte groei te remmen maar kost energie om de kas op temperatuur te houden in de nacht, als er geen toevoer van warmte is van de zon noch van de lampen.

Het spectrum van SON-T bestaat uit 4% Blauw licht, 43% groen/geel/oranje licht, 53% rood en 8% verrood. Dit was een gegeven in het onderzoek uit 2005. Men kon geen andere verhoudingen tussen kleuren kiezen. Bloemsteelrek blijft bij SON-T een probleem ook in de praktijk.

Belichten met SON-T leidt niet alleen bij potanthurium tot overmatige bloemsteelstrekking, maar is ook bekend/beschreven bij andere gewassen: binnen dezelfde familie van de Araceae komt dit voor bij *Spathiphyllum* en *Zantedeschia*, alsmede *Snijanthurium*; binnen de bloeiende schaduwplanten bij *Calathea crocata* (bloeiend) en *Curcuma*; binnen de koude teelten bij *Cyclamen* en *Freesia*. En bij b.v. *Hydrangea* leidt belichten (met SON-T) in het najaar tot ongewenste verhoudingen bloemlengte-bladlengte.

### 1.1.3 Eerste toepassing LED belichting bij potanthurium leidt tevens tot bladschade

Een ander negatief kwaliteitseffect van de LED belichting in Kas2030 is in potanthurium waargenomen in de eerste winter: Een vlekkerige vergeling van het ouder blad.

Bladsymptomen die beginnen als gele cirkels die snel in grote toenemen en een steeds groter deel van het bladoppervlak in beslag nemen, en die langzaam oranje worden. Ze doen denken aan chlorofylafbraak en in vergeelde bladeren worden lagere SPAD waarden gemeten (een maat voor het chlorofylgehalte). Soortgelijke vlekken zijn bijvoorbeeld bij aubergine waargenomen bij belichten met LED (proeven in het IDC LED). In eerder onderzoek was gekeken naar bladschade bij potanthurium (Warmenhoven et al., 2012), maar het ging om hele andere symptomen.

In de tweede winter zijn allerlei maatregelen genomen om de bloemsteelrek te voorkomen waaronder negatieve DIF, lager CO<sub>2</sub> doseren, en kortere dag (12 uur belichten in plaats van 16 uur). Hiermee zijn de bladvlekken aanzienlijk verminderd.

### 1.1.4 De mogelijke rol van het spectrum van de belichting (zowel SON-T als LED)

Er zijn door de optredende bloemsteelrek en bladschade twijfels over de geschiktheid van het in Kas2030 gekozen spectrum voor dit gewas. Want terwijl in de zomer de planten een goede plantvorm laten zien, is in de periode dat het aandeel van de assimilatiebelichting in de lichtsom de overhand heeft, strekking en bladschade te zien. Dat ondanks een lagere intensiteit van de belichting dan de intensiteit van het toegelaten natuurlijke daglicht in de zomer, en gelijke daglichtsom in de winter als in de zomer. Naar aanleiding van de waarnemingen bloemsteelrek en bladschade, twee typische afwijkingen die zich alleen voordoen in de winter, onder LED R/W/B/FR (85/6/6/1%) is een probleemanalyse gemaakt.

De algemene kennis over effecten van lichtkleuren op planten is dat er blauw nodig is voor de compactheid en dat verrood (FR) leidt tot strekking. Wil men strekking voorkomen, dan dient het kunstlicht zo min mogelijk FR te hebben. Recente ervaringen en lopend onderzoek bevestigen dit veelal: Chrysanten bijvoorbeeld rekken eindeloos en lopen sterke bloeivertraging op met toegevoegd FR (Dieleman et al. 2019). Er zijn ook uitzonderingen. In bij voorbeeld *Alstroemeria* (Garcia Victoria et al. 2022) worden bloemen met FR licht korter (6- 10 cm in de winter) dan met hetzelfde spectrum zonder FR. Bij perkplanten blijkt de plantstrekking bij *Fuchsia* enigszins geremd te kunnen worden met blauw licht, maar vier andere gewassen reageerden daar niet op (Dieleman et al. 2018). Wel leidde in dit recente onderzoek een toenemend aandeel blauw licht tot minder bloemen en knoppen bij de meeste gewassen.

Anthurium is een schaduw plant en uit literatuur is het bekend (Faruq et al. 2013) dat het spectrum van het natuurlijke licht in de schaduw van een bos of jungle een zeer afwijkende samenstelling heeft in vergelijking met de samenstelling van de LED belichting in de afdeling van KAS2030 en met de samenstelling van SON-T belichting. Zeker als het gaat om de Rood:Verrood verhouding (R:FR), die belangrijk zou kunnen zijn voor strekking, circadiaanse ritmes en chlorofyl aanmaak via activatie van de fytochroom. In de schaduw van een dicht bos of jungle, is uit het zonlicht, die uit ongeveer gelijke delen van elke golflengte bestaat, veel van het rode licht door de hogere vegetatie onderschept. Het FR licht wordt veel minder geabsorbeerd, waardoor het de diepere lagen van het bos bereikt. De R:FR verhouding in de schaduw kan dalen tot 0.5 (Vazquez Yañez et al., 1993). Zowel de B:G verhouding als de R:FR verhouding veranderen met de plaats (hoogte) van het gewas in de vegetatie (Faruq et al. 2013). Waar in ons spectrum rood licht domineert en verrood afwezig is, zou in een door natuurlijke vegetatie beschaduwde omgeving groen-geel en verrood domineren.

Bij lichtminnende gewassen (o.a. Arabidopsis, tomaat, chrysant, paprika, en verschillende potplanten; Demoinet *et al.* 2017), leidt deze verandering in de R:FR verhouding tot de zogenaamde "Shade avoidance" reactie, waarbij de plant onder andere gaat strekken om uit deze, onvoordelige, lage licht condities te komen. Van meer blauw in het spectrum is bekend dat dit leidt tot compactere planten.

Onze hypothese is dat bij schaduwplanten, waar het juist een nadeel oplevert om uit de schaduw te komen vanwege risico op lichtschade, huidmondjes sluiting, stijging bladtemperatuur en bladverbranding, de strekkingsreactie niet alleen uitblijft bij een hoge R:FR verhouding (Taiz en Zeiger, 2010) maar juist wordt gestimuleerd.

Uit het bovenstaande blijkt dat er behoefte is aan kennis en dus onderzoek naar de invloed van de samenstelling van het spectrum op de groei en de morfologie van schaduwplanten. Als model gewas is potanthurium gekozen omdat dit het gewas is waar zowel bij SON-T belichting als bij het full LED spectrum uit Kas2030 (8%B, 6% G, 85% R, 1% FR) de bovengenoemde afwijkingen zijn gesignaleerd.

## 1.2 Doel van het onderzoek

Energiebesparing door de samenstelling van het spectrum van de LED belichting bij potanthurium in fossielvrije en conventionele teelt concepten te verbeteren. De positieve effecten van belichting, (warmte, teeltversnelling, meer en grotere bloemen) benutten zonder de waargenomen negatieve effecten van bloemsteelrek en bladschade.

Kennis opdoen over welke golflengte verhoudingen de strekking bij schaduwplanten beïnvloeden, waarbij vooral gedacht wordt aan de Rood:Verrood verhouding.

Daarbij tevens aandacht voor welke andere plantgroei en plantkwaliteitsaspecten worden beïnvloed door de bovengenoemde verhoudingen, te denken valt aan aantal bloemen en bladkwaliteit.

## 1.3 Hypotheses

De te toetsen hypothesen zijn:

1. De schaduwplant Anthurium laat bloemsteelstrekking zien bij belichting met rood licht zonder of met weinig verrood en doet dat niet met natuurlijk licht waarbij meer verrood aanwezig is. (zomer situatie bij gelijke lichtsom). Dit door een voor schaduw planten ongunstige rood:verrood verhouding of groen:blauw in het spectrum van de LED belichting. Een lage rood:verrood verhouding leidt bij lichtminnende gewassen via de fytochroom tot een strekkingsreactie, bij schaduwminnende gewassen kan het tot het omgekeerde effect leiden. Zowel meer verrood als meer groen licht zouden geen strekking moeten geven.
2. De schaduwplant Anthurium laat sneller bladschade zien bij belichting met rood licht zonder FR dan met natuurlijk licht (zomer situatie bij gelijke lichtsom); chlorofyl absorbeert vooral rode en blauwe golflengtes; groen licht wordt deels opgevangen door carotenoiden. Om minder rood licht en meer groen licht te absorberen, zou de plant de verhouding tussen de pigmenten zodanig aanpassen dat het blad in eerste instantie vergeelt en op een gegeven moment oranje kleurt. Het gehalte aan chlorofyl wordt geregeld door Fytochroom B.
3. Beide effecten (bloemsteelstrekking en bladschade) verergeren bij langere dag (16 uur) dan bij een kortere dag van 12 uur. Ook de circadiaanse ritmes worden geregeld door Fytochroom.

Verwacht wordt dat een spectrum met een Rood:Verrood (R:FR) verhouding en / of een Groen:Blauw (G:B) verhouding die meer lijkt op de verhoudingen in een schaduw habitat met natuurlijke vegetatie, bloem strekking en bladschade verminderd kunnen worden.

### 1.3.1 Toelichting hypothesen

Bij het inrichten van de Demokas2030 is in 2019 een spectrum gekozen op basis van ervaringen met andere sierteeltgewassen (zoals roos). Kennis en ervaring met verschillende LED spectra bij potanthurium waren op dat moment volledig afwezig.

Onder onze "referentie spectrum" is de verhouding R:FR heel erg hoog (85). In daglicht is de verhouding R:FR ca. 1.2; in de schaduw van een natuurlijk bos is dat 0.5 (Vazquez Yañez et al., 1993). Daar de belichting in de wintermaanden meer dan 2/3 van het totaal aan licht voorziet, is het mogelijk dat dit tot een strekkingssignaal leidt via activatie van de anders inactieve fytochroom. Als in de schaduw er vooral rood is weggefilterd door de bovenliggende vegetatie, zou met onze overwegend rode spectrum best wel eens schade aan het systeem van de fotosynthese kunnen worden veroorzaakt met als zichtbare symptoom een oranje/ gele bevlekking van het blad.

Als onze hypothesen bevestigd kunnen worden, dan komt het fossielvrij telen van potanthurium met behoud van snelheid dichterbij.

## 2 Materialen en methodes

Een kasproef is uitgevoerd in een afdeling van het onderzoekskassencomplex van Wageningen UR Glastuinbouw in Bleiswijk tussen maart en juli 2021 (Figuur 1).



**Figuur 1** Overzicht van de proef als opgezet voor dit onderzoek.

### 2.1 Kasafdeling en opzet

De afdeling heeft een oppervlak van 144 m<sup>2</sup> en is ingericht met potplantentafels (verrijdbaar, te verwarmen via de onderkant, en geschikt voor eb-vloed irrigatie). Op 6 van de 14 tafels van de afdeling is een in hoogte verstelbaar metalen frame geplaatst waar LED-belichting aan is opgehangen (Figuur 1). De tafels zijn 7 m<sup>2</sup> ieder. De teeltruimte binnen de frames is 3 x 1.5 m = 4.5 m<sup>2</sup>. Om strooilicht van de ene tafel naar de andere te voorkomen, is om het frame een gordijn van wit reflecterend folie opgehangen. De afdeling is uitgerust met twee schermdoeken: een verduisteringsdoek en een zonnedoek. Ook is er een koelsysteem aanwezig.

### 2.2 Gewas

Het onderzoek is uitgevoerd met Anthurium Royal Champion in 12 cm potten. Het betrof halfwas planten die aangekocht zijn bij een commerciële teler, en in de derde en laatste teeltfase verkeerden. Dat wil zeggen: planten die bij de teler nog ca. 10-11 weken zouden staan voordat ze als "afleverbaar" konden worden beschouwd en de teelt zou worden beëindigd. De planten zijn in verband neergezet in een dichtheid van 22 planten/ m<sup>2</sup>. De keuze voor dit ras komt voort uit de ervaringen uit het onderzoek in de winter 2019-20 in de Kas2030 (zie 1.1). Van de geteelde rassen, bleek deze de meest gevoelige voor de twee kenmerken, bloemsteelrek en bladvlekken, die het onderwerp zijn van dit onderzoek. Op iedere tafel stonden ca. 100 planten; 20 ervan waren gelabeld en zijn gebruikt als meetplanten.

## 2.3 Teelt

De verwachting, gebaseerd op de ervaringen in de Kas2030, is dat bij gebruik van halfwas materiaal (met enkele bloemen, na de tweede keer wijder zetten) al binnen 6 weken duidelijke effecten op rek en bladkwaliteit kunnen worden gezien en gemeten. Er zijn daarom twee korte teelten met vers halfwas materiaal uit de praktijk uitgevoerd. Dit is veel sneller dan een volledige teeltcyclus.

De eerste teelt (daglengte 12 uur) is uitgevoerd van 9 maart tot 29 april (7 weken).

De tweede teelt (daglengte 16 uur) van 3 mei tot 28 juni.

### 2.3.1 Water en voeding

De planten kregen water met daarin opgeloste meststoffen naar behoefte via eb-vloed. De samenstelling van de voedingsoplossing is in Tabel 1 weergegeven.

Tabel 1

*Samenstelling voedingsoplossing.*

EC	pH	Hoofdelementen (mmol/l)							Spoorelementen ( $\mu\text{mol/l}$ )					
		$\text{NO}_3^-$	$\text{SO}_4^-$	P <sup>-</sup>	$\text{NH}_4^+$	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Fe	B	Mn	Zn	Cu	Mo
2.2	5.5	11.5	1.25	1.6	1.0	6	3	1.25	30	15	7	4	1.5	1.0

### 2.3.2 Klimaat

Gestreefd werd naar een etmaal temperatuur van 22°C, waarbij nacht mag naar 19°C, en dag mag oplopen tot 25°C graden.

Gerealiseerd is 22.5°C etmaal, met een minimum van 18.8°C en een maximum van 30.4°C op 10 Mei. Gekoeld werd boven de 24°C; desondanks op warme dagen was het lastig om onder de dichte doeken voldoende te koelen.

In de kas werd er ook verneveld om de RV op de streefwaarde van 80% te houden. Gerealiseerd is een gemiddelde RV van 79%. Door de combinatie van koeling en instraling werd de RV op momenten laag (50-60%) vooral bij de eerste teelt (12 uur belichten). Dieptepunt was 27 april, waar de RV door een storing in de verneveling naar 30% zakte. CO<sub>2</sub> werd gedoseerd tot 500 ppm gedurende de periode van lampen aan; het gerealiseerd gemiddeld was 480 ppm.

### 2.3.3 Belichting en daglicht regulatie – simuleren van wintercondities

Hoewel het onderzoek is uitgevoerd in de lichtrijke maanden van het jaar, is er met behulp van schermdoeken en een koelinstallatie de wintersituatie nagebootst, waarbij het grootste deel van het licht dat de planten "zien" lamplicht is en er maar heel beperkt daglicht bij zit.

De eerste teelt is belicht tussen 6:00 uur en 18 uur, gedurende 12 uur. Voor 6 uur en na 18 is het donkerdoek altijd dicht samen met de gevelschermen. Dan is er geen daglicht (als in een winterdag). Het zonnescherm houden we altijd dicht.

Bij 12 uur daglengte leveren de lampen (bij de beoogde 200  $\mu\text{mol/m}^2\cdot\text{s}$ ) al een lichtsom van ca. 8.6 Mol/dag. Het daglicht mag deze daglichtsom aanvullen tot ca. 10 Mol (maximaal 1.4 Mol/dag aan natuurlijk licht mag de kas bereiken).

Het donker doek was het grootste deel van de dag (deels) dicht. Het doek liep 's nachts (van zon onder tot zon op) dicht op temperatuur; om 6 uur even helemaal open om wat van het ochtend licht binnen te laten. Overdag in een lichttraject van 150 W/m<sup>2</sup> tot 800 W/m<sup>2</sup> globale staling buiten sluit het donkerdoek, waarbij de maximale sluiting 90% bedraagt (een kier van 10%).

De tweede teelt is een daglengte van 16 uur aangehouden; hiertoe is er belicht tussen 2:00 uur en 18:00 uur. De doeken regeling was gelijk aan de eerste teelt.

## 2.4 Behandelingen

LED-belichting (2 lampen per tafel, Tungram, TUAS GLIN Top lighting, Tungram Agritech Series, 400 V 50 Hz) is boven elke tafel aan de frames bevestigd. De hoogte van de lampen is zodanig gekozen dat er een goed evenwicht werd bereikt tussen een zo goed mogelijke verdeling van het licht boven de tafels, met zo min mogelijke verlies van intensiteit (de opbrengst van de lampen in de behandelingen met meer blauw en vooral met een hoger aandeel van verrood neemt af (Tabel 3)). Ten opzichte van het lichtplan, week de resulterende lichtintensiteit af, door reflectie van het wit-reflecterend folie gordijn dat aan drie zijdes van de frames is opgehangen, teneinde strooilicht tussen tafels onderling te voorkomen. De beoogde intensiteit was zoals in de Kas2030, 200  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  PFD (400-800 nm).

Om de intensiteit te bereiken is de lamphoogte aangepast. Daardoor is de hoogte van de lampen ten opzichte van de tafels verschillend voor de verschillende behandelingen. Hiertoe is heel intensief licht gemeten met behulp van een op de tafels getekend grid. Gemeten is op een hoogte van 50 cm boven de tafel (ongeveer de te verwachten maximale hoogte van de planten inclusief de pot) met een Jeti specbos 1211 spectrofotometer. De spectra zijn op deze wijze geverifieerd: De metingen van de spectra weken nauwelijks af van de opgegeven verhoudingen en de totale Photon Flux Density, PFD tot een golflengte van 800 nm is bepaald. Bij toenemend aandeel FR in de PFD bij gelijk elektrisch opgenomen vermogen van de lampen neemt de output van de lampen in hoeveelheid PAR (Photosynthetic Photon Flux Density, PPF) af.

De uiteindelijke hoogte van de lampen boven de tafels, de gemiddeld gemeten lichtintensiteit per tafel en de opbrengst van de lampen zijn weergegeven in Tabel 3.

Gestreefd werd naar gelijke intensiteiten op alle tafels, en een homogene verdeling. Uit de plattegronden met de gedetailleerde lichtmetingen op 50 cm hoogte boven de teelttafels blijkt dat dit niet mogelijk was, ondanks dat de hoogte van de frames boven de tafels kon worden aangepast. Gekozen is een framehoogte die resulteerde in de best haalbare intensiteit vs. verdeling. In Bijlage 1 is de verdeling van de gemeten intensiteiten m.b.v. een kleuren schaal weergegeven; de vetgedrukte vakjes in de plattegronden geven de zones weer waar de planten onder een lichtintensiteit van 180-220  $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$  PFD zouden ontvangen (streefwaarde van 200  $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$  PFD  $\pm 10\%$ ). Deze vakjes zijn op de tafels getekend, en alle meetplanten zijn in deze vakjes geplaatst.

### 2.4.1 Spectra

De gebruikte spectra na meting (Tabel 2, Figuur 2) zijn als gradiënt samengesteld, waarbij het huidig spectrum in de Kas2030 als referentie is genomen. Van behandeling 1 tot 6 loopt het % rood af tot een daglicht-achtig spectrum (beh. 5) en daar voorbij, naar het natuurlijk schaduw spectrum (beh. 6). De verhouding R:FR neemt dan af van 85 naar 0.6; de verhouding Groen:Blauw neemt toe van 0.8 tot 1.6. *(De bedoeling was om tot een verhouding Groen:Blauw te komen van 3.3; dit blijkt echter niet mogelijk omdat een groen LEDje eigenlijk een blauw LEDje is met een coating; de verhouding G:B kon dus niet verder worden verhoogd. Ook was het niet mogelijk om het aandeel rood in de "natuurlijke schaduw" behandeling zo laag te maken als beoogd -15%- maar is 19% geworden).*

**Tabel 2**

*Spectrum behandelingen (samenstelling lichtspectra -als gemeten- en gebruikte naam).*

Vergelijking	Spectrum Naam behandeling	Blauw (B)	Groen (G)	Rood (R)	Ver Rood (FR)	G:B	R:FR
	Golflengte range	(401-500)	(501-600)	(601-700)	(701-800)		
Referentie	Zeer hoog rood (85%)	8	6	85	1	0.8	85.0
	Hoog rood (70%)	8	12	68	12	1.4	6.4
	Medium rood (55%)	10	15	56	19	1.5	2.9
	Medium-laag rood (40%)	12	19	42	27	1.6	1.5
Dag licht	Laag rood (26%)	21	29	25	25	1.2	1.0
Jungle schaduw	Zeer laag rood (21%)	18	29	19	34	1.4	0.6

**Tabel 3**

*Lamphoogte, PFD op 50 cm boven de tafel, output en efficiency van de behandelingen.*

Vergelijking	Naam behandeling	Lamp hoogte (cm)	PFD gem. ( $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ )	PFD laagst	PFD hoogst	Lamp P (W)	Lamp Output (PPFD $\mu\text{mol}/\text{s}$ )	Lamp effic. P/O
Referentie	Zeer hoog rood (85%)	180	234	167	308	326	997	3.06
	Hoog rood (70%)	175	209	148	281	327	896	2.74
	Medium rood (55%)	170	199	142	271	326	812	2.49
	Medium-laag rood (40%)	160	191	116	270	326	750	2.30
Dag licht	Laag rood (26%)	155	178	98	261	329	710	2.17
Jungle schaduw	Zeer laag rood (21%)	150	182	107	278	329	672	2.04





**Figuur 2** De 6 spectrum behandelingen gezien vanaf de voorkant van elke tafel. Van links naar rechts, boven: Referentie Zeer Hoog Rood, Hoog Rood, Medium Rood; onder: Medium Laag Rood, Laag Rood, Zeer Laag Rood. (In de kooien tussen de planten een bloeiende plant voor een proef waarbij gekeken is naar het gedrag van bestuivers onder deze spectra (onderdeel van project "Led's pollinate", Leman et al. 2021)).

## 2.5 Metingen en waarnemingen

Er zijn metingen uitgevoerd aan het licht, het spectrum voor aanvang van de teelt, en aan de planten zodra ze in de afdeling zijn geplaatst. Daarnaast zijn metingen gedaan aan de klimaatcondities. Hierna worden de verschillende metingen en bepalingen verder toegelicht.

### 2.5.1 Monitoring kascondities

In de kas zijn de condities gemonitord gedurende de teelt met de gebruikelijke sensoren van:

- Kastemperatuur.
- RV in de kas.
- Licht intensiteit (PAR) van het natuurlijk licht, met een sensor boven op de rand van de middelste frame op de tafel.
- CO<sub>2</sub>.

## 2.5.2 Lichtmetingen

Op alle tafels zijn PAR sensoren geplaatst en er is tevens een sensor boven het middelste frame bevestigd, waarmee het aandeel daglicht elke 5 minuten gemeten wordt.

## 2.5.3 Start meting plantkenmerken

Een eerste destructieve meting is uitgevoerd bij de start van elke teelt (Bij binnenkomst van de planten). Hiertoe zijn van 10 planten de volgende kenmerken gemeten/ geteld:

- Aantal bladeren.
- Aantal bloemen.
- Vers- en drooggewicht bladeren.
- Vers- en drooggewicht bloemen.
- Blad- en bloemoppervlakte (totaal, gemeten met een bladoppervlakte meter (LI-3100C, Li-Cor Inc., Lincoln, USA).

## 2.5.4 Tussenmetingen plantkenmerken

20 planten per behandeling zijn gelabeld (1-20) om in de tijd te kunnen volgen. Deze planten stonden onder een zone waar de gemeten lichtintensiteit  $200 \mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s} \pm 20 \mu\text{mol PFD}$  bedroeg (gemarkeerd op lichtmeting grid en plattegrond en positie verschillend op elke tafel). De wekelijkse plantmetingen geven een indicatie van het groeiverloop van de planten onder de verschillende behandelingen.

### 2.5.4.1 Automatische plantmetingen (vision)

De eerste 10 gelabelde meetplanten zijn met behulp de Plantalyser (een fenotyperingsapparaat uitgerust met verschillende camera's, Figuur 3) wekelijks gemeten voor zover dit mogelijk was (er zijn verschillende ernstige technische storingen geweest die soms wat langer nodig hadden om gerepareerd te worden). Hiermee kon non-destructief een indicatie worden verkregen van de geprojecteerde bladoppervlak en bloemoppervlak van de planten in de tijd, alsmede de blad oriëntatie, bepalingen die met de hand niet mogelijk waren. De manier waarop dit apparaat meet wijkt af van de handmatige metingen. Van alle gemeten kenmerken is voor de analyse een selectie gemaakt van relevante/ betrouwbare metingen:

- Planthoogte (vegetatief) = hoogste hoogte van het hoogste blad (inclusief hoogte van de pot).
- Planthoogte (generatief) = hoogste hoogte van de hoogste bloem (inclusief pot).
- Plantbreedte.
- Bladoppervlakte top/ zij (geprojecteerd).
- Bloemoppervlakte top/ zij (geprojecteerd).
- Bloemoppervlakte zij (geprojecteerd).
- Aantal bloemen.
- Blad oriëntatie.

### 2.5.4.2 Handmatige plantmetingen

Aan de andere 10 gelabelde meetplanten planten zijn wekelijks handmatig metingen verricht van de volgende kenmerken:

- Lengte van de hoogste bloemsteel (d.w.z., van de potrand tot de bloemaanzet).
- Lengte van de hoogste bladsteel (d.w.z., van de potrand waar je het linaal laat rusten, tot de bladaanzet).
- Breedte en lengte grootste bloem.
- Breedte en lengte grootste blad.



**Figuur 3** Met de Plantalyser worden de planten wekelijks automatisch en niet-destructief gemeten. Links: de lopende band naar de meting; rechtsboven: de planten gaan door de meetkamer; rechtsonder: de volledige meetopstelling.

### 2.5.5 Eindmeting plantkenmerken

Aan het einde van beide teelten is een uitgebreide destructieve meting uitgevoerd van de tweede reeks van 10 planten, de "hand meetplanten", waarbij de volgende kenmerken zijn bepaald:

- Lengte van de hoogste bloemsteel (d.w.z., van de potrand tot de bloemaanzet).
- Lengte van de hoogste bladsteel (d.w.z., van de potrand waar je het liniaal laat rusten, tot de bladaanzet).
- Breedte grootste bloem.
- Lengte grootste bloem.
- Breedte grootste blad.
- Lengte grootste blad.
- Vers en droog gewicht bloemen, bladeren, internodiën.
- Bladoppervlakte (totaal).
- Bloemoppervlakte.
- Bladdikte van het grootste blad.
- Diameter van de steel van de grootste bloem.
- Lengte van de internodiën (van de langste van de twee planten uit één pot).

### 2.5.6 Efficiëntie van de Fotosynthese

Met behulp van chlorofyl fluorescentie apparatuur (2 zeskoppige HEX-PAM, (Pulse-Amplitude-Modulation) sensoren) is de fotosynthese efficiëntie gemeten door een volwassen blad van een plant te klemmen op twee posities per tafel. De sensor meet de temperatuur, RV en PAR licht op blad niveau. De efficiëntie van de fotosynthese wordt gemeten door de opbrengst van de chlorofyl fluorescentie (CF) die afhankelijk is van de snelheid van het elektronen transport (ETR), de eerste stap in de fotosynthese. Het meetblad wordt elke week vervangen.

De gemeten efficiëntie zal een nauwkeurige afspiegeling zijn van de werkelijke efficiëntie. Omdat in de gebruikte spectra flinke verschillen in rood/verrood zitten zijn er onderscheidende verschillen te verwachten in de CF-parameters die met de Hex-PAM kunnen worden gemeten. Enerzijds als gevolg van verschillen in doordringing van verschillende kleuren licht in gewas en anderzijds door verschillen in lichtabsorptie tussen fotosysteem I en II (fotosysteem I absorbeert relatief meer verrood licht).

Aan het einde van de 2<sup>e</sup> proef (na 7 weken blootstelling aan 16 uur belichting per dag) zijn eenmalig en aan slechts een blad per meetkop licht response curves gemaakt bij alle 12 meetkoppren met de lichtbron van de Hex-PAM: 6 geklemd op een bovenblad (een per behandeling) en 6 op een onderblad (een blad in de schaduw van de bladeren erboven (ook een per behandeling)).



**Figuur 4** De twee PAM sensoren op een tafel, geklemd op een volwassen blad, meten op blad niveau PAR, RV, T en de ETR.

### 2.5.7 Fotosynthese en respiratie bij verandering van daglengte

Om inzicht te krijgen in effecten van duur van belichting en het tijdstip waarop gestart wordt met belichten op het circadiaanse ritme van de plant zijn aanvullend verkennende fotosynthese metingen gedaan. De metingen zijn uitgevoerd op het moment van wisselen van belichting duur: van 12 uur lengte naar 16 uur lengte daglengte (van teelt 1 naar teelt 2). Hiertoe zijn een aantal planten aangehouden van teelt 1 die bij de start van teelt 2 zijn blijven staan.

Aan deze planten zijn 24-uurs metingen uitgevoerd met twee Licor-6800 (Li-Cor Inc.) fotosynthese meters met open meetkop; d.w.z. dat er geen gebruik wordt gemaakt van de interne lichtbron van de LI-6800 (90% rood, 10% blauw LED), maar van het lightspectrum van de 2 extreemste behandelingen, t.w.: de referentiebehandeling Zeer Hoog Rood en het Schaduw behandeling met Zeer Laag Rood. Per behandeling één Li-Cor. Gemeten is op 4 planten, aan een volwassen blad. Elke 24 uur wordt een blad gemeten, gedurende een week na wisselen daglengte wordt gemeten aan twee planten, en de tweede week na wisselen aan de andere planten. De Li-Cors worden ook een keer, tussen meetdag 2 en 3, van lichtbehandeling verwisseld.

### 2.5.8 Bepaling chlorofyl en carotenoïde gehalte blad

Na afloop van de tweede teelt is het aantal planten geteld met bladvlekken. Van planten met deze symptomen zijn bladmonsters genomen van volgroeide bladeren.

Per behandeling zijn 4 aangetaste bladen gekozen als herhalingen van elkaar, waarbij gelet werd dat ze ongeveer dezelfde mate van schade lieten zien. De chlorofylgehaltenes werden eerst non-destructief met behulp van een Minolta SPAD meter op 12 plekken per blad bepaald.

Omdat de SPAD-meting alleen een indicatie geeft van het gehalte aan Chlorofyl, is met een destructieve labmethode (conform methode beschreven door Lichtenthaler, 1987) het gehalte aan Chlorofyl A, Chlorofyl B en Carotenoïden bepaald.

Van de gekozen blaadjes zijn hiertoe 12 bladponsjes van 5.5 mm diameter uit elk blad geknipt (6 per kant), gewogen, in extractie buisjes gelegd, in vloeibare stikstof ingevroren en in -80°C vriezer bewaard. De monsters werden gemalen met een Kogeltrilmolen Retsch MM400, en geëxtraheerd met 80% aceton en centrifugatie. De absorptie van het aldus verkregen extract is door middel van spectroscopie (FIUOstar Omega Spectrofotometer) gemeten bij 4 verschillende golflengtes (480nm, 663.6 nm, 646.6 nm en 750 nm). Hiermee kan de concentratie Chlorofyl A, Chlorofyl B, de som van beide Chlorofylmoleculen en Carotenoïden worden bepaald. Dit gehalte wordt omgerekend naar het gewicht van de ponsjes en uitgedrukt als µgram pigment per gram blad.

Figuur 5 toont de werkwijze voor bladselectie en bladextracties.



**Figuur 5. Methode voor bladextracten t.b.v. bepaling fotosynthetische pigmenten**

## 2.6 Statistiek

Het onderzoek is in enkelvoud opgezet (één tafel per behandeling). Per tafel zijn 20 planten beoordeeld (een monster uit de ca. 100 planten die op een tafel stonden); deze worden voor de analyse beschouwd als herhalingen van elkaar. In de tijd is de teelt herhaald maar met een andere duur van de belichting.

Er is gebruik gemaakt van verschillende methodes en 2 verschillende softwarepakketten voor het beoordelen van de verkregen data.

De resultaten van de destructieve metingen aan het einde van elke teelt zijn apart met behulp van SPSS geanalyseerd. Allereerst is een "normality test" uitgevoerd (Shapiro-Wilk); een aantal plantkenmerken waren binnen de gemeten populatie normaal verdeeld; in dat geval volgde voor die parameters een ANOVA test. Voor plantkenmerken die binnen de gemeten populatie niet normaal verdeeld waren, is een Kruskal-Wallis & Dunn-Bonferroni Post-hoc test uitgevoerd. Welke statistische test voor welke parameter is uitgevoerd, is toegelicht in Bijlage 2.

De metingen met de Plantalyser in de tijd zijn als volgt geanalyseerd: de twee teelten zijn als een herhaling van elkaar beschouwd, met de duur van de belichting als extra factor. Per plant (totaal 120 planten) is een trendlijn gemaakt van de wekelijkse waarnemingen in de tijd; met deze trendlijn wordt een predictie voor tijdstip 8, na ongeveer 43 dagen blootstelling aan de behandelingen, geschat. De voorspelde waarden zijn vervolgens geanalyseerd met ANOVA.

De metingen van de gehalten aan carotenoïde en chlorofyl zijn m.b.v. ANOVA geanalyseerd.



## 3 Resultaten

Na de resultaten van de lichtmetingen, worden de plantreactie resultaten per teelt weergegeven: eerst de teelt waarbij de planten 12 uur werden belicht, en daarna de teelt dat 16 uur is belicht.

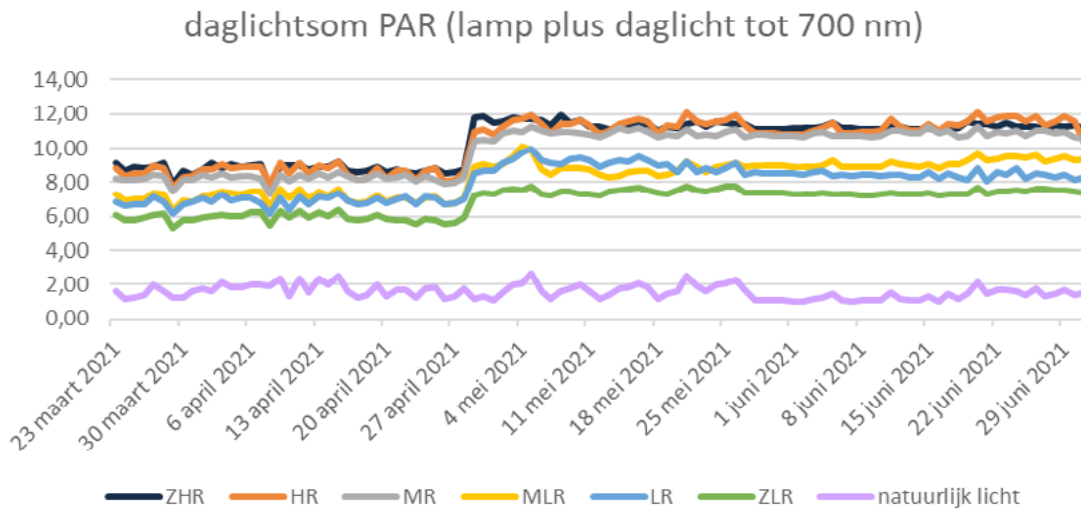
### 3.1 Lichtsommen

Op alle tafels zijn PAR sensoren geplaatst, en er is tevens een sensor boven het middelste frame bevestigd, waarmee het aandeel daglicht elke 5 minuten gemeten wordt. De hiermee gemeten daglichtsommen PAR zijn in Figuur 6 weergegeven. Zoals eerder opgemerkt, is het resultaat van het toevoegen van FR bij gelijke PFD (totale fotonen flux dichtheid), een daling van het PAR licht. Hoe groter het aandeel FR, hoe kleiner de PAR som; zo ontstaan er automatisch verschillen in de gemeten (of berekende) daglichtsom PAR tussen de behandelingen; verschillen die groter worden bij toenemende duur van de belichting. De berekende verschillen zijn in getallen uitgedrukt in Tabel 4. Bij een continu meting met inbegrip van het FR (400-800 nm) zoals opgezet, waren deze verschillen veel kleiner geweest.

Tabel 4

*De berekende daglichtsom bij 12 en 16 uur belichting (als PAR en als totaal PFD) voor de verschillende behandelingen.*

	Spectrum	Aandeel	Aandeel	R:FR	Lamp lichtsom dag bij 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ PFD 16 uur			
		R % (601-700)	FR % (701-800)		PAR	PFD	PAR	PFD
Referentie	Zeer hoog rood	85	1	85.0	8.6	8.6	11.5	11.5
	Hoog rood	70	12	6.4	7.6	8.6	10.1	11.5
	Medium rood	55	19	2.9	7.0	8.6	9.3	11.5
	medium-laag rood	40	27	1.5	6.5	8.6	8.4	11.5
Dag licht	Laag rood	26	25	1.0	6.3	8.6	8.5	11.5
Nat. schaduw	Zeer laag rood	21	34	0.6	5.7	8.6	7.6	11.5



**Figuur 6** PAR som per dag als gemeten met de PAR sensoren op elke behandeling, en het aandeel PAR licht van de zon.

## 3.2 Planteffecten

### 3.2.1 Visuele beoordeling (telers) eerste teelt (7 weken, 12 uur belicht)

Telers bezochten de proef telkens als ze aanwezig waren om de teelt in Kas2030 te begeleiden.

“Laag rood” en “Zeer Laag Rood” vonden ze de best kleurencombinaties voor de ogen en om de plantkleur te kunnen beoordelen; onder een spectrum met veel rood in een achtergrond van heel weinig daglicht lijkt de bloemkleur intenser en is lastig om kleurafwijkingen aan het blad te zien.

Al na 4 weken teelt is er visueel een duidelijk verschil in bloemhoogte tussen planten in de verschillende behandelingen. Telers vinden de plantvorm en de plant verhoudingen in Behandeling 3, “Medium Rood” het mooist.

Na 6 weken zijn de telers verbaasd over hoeveel verschillen worden bereikt is zo’n korte tijd en zien er (visueel) een duidelijk gradiënt in bloem en bladstrekking: de planten onder het “Zeer Hoog Rood” (referentie) spectrum hebben een 8-10 cm te lange bloemsteel. De behandelingen “Medium rood” en “Medium-Laal rood” vindt men de mooiste planten opleveren: ze tonen voller, met meer groei en minder strekking; “Zeer laag rood” levert een iets te compacte plant, en daar lijkt er ook meer stek in te zitten. Figuur 7 toont een fotoreeks planten op de tafels na 7 weken (23 april).





**Figuur 7** Aanblik van de planten op de verschillende behandelingen na 7 weken teelt bij 12 uur belichting per dag. Van boven links, naar onder rechts: Referentie Zeer Hoog Rood, Hoog Rood, Medium Rood, Medium Laag Rood, Laag Rood, Zeer Laag Rood.

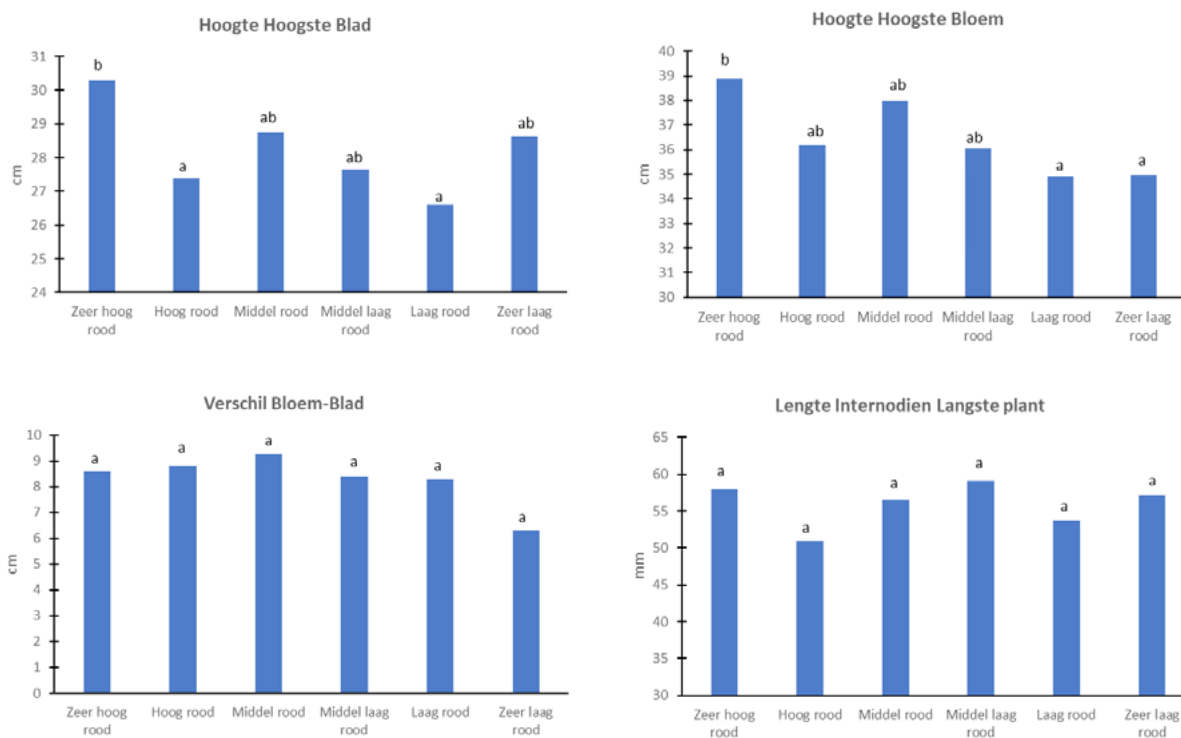
In Figuur 7 zijn witte kooien te zien tussen de planten met een bloeiende plant. Deze zijn ingezet voor een proef waarbij gekeken is naar het gedrag van bestuivers onder deze 6 spectra (onderdeel van project "Led's pollinate", Leman *et al.* 2021).

### 3.2.2 Plantkenmerken na afloop van de eerste teelt (7 weken, 12 uur belicht)

Gedurende de 7 weken durende teelt zijn de planten die uit een commercieel teeltbedrijf kwamen, verder ontwikkeld; gemiddeld over alle behandelingen is het versgewicht van de gehele plant (112.6 g) toegenomen met 69% in vergelijking met het startgewicht (66.6 g) en het drooggewicht is gemiddeld verdubbeld (van 8.7 gram naar 17.6 gram). De biomassa toename lijkt niet het gevolg van de ontwikkeling van nieuwe bladeren, daar dat aantal gemiddeld gelijk is gebleven, maar aan bladexpansie (meer bladoppervlak, van 960 naar 1240 cm<sup>2</sup>, een toename van 30%) en aan uitgroei van bloemen (die vermoedelijk al waren aangelegd tijdens de eerdere teeltfasen bij de teler). Zo is het aantal bloemen en knoppen per plant gestegen van 3.9 bij binnenkomst van de planten op 9 maart, naar 5.7, met een verdubbeling van het totaal bloemgewicht van 15 g per plant naar 30 g per plant.

Tussen behandelingen zijn er significante verschillen gemeten in strekking van bloemsteel en bladsteel (Figuur 8). Zowel de hoogste bloem als het hoogste blad zijn gemeten in het spectrum "Zeer Hoog Rood"; het kortste blad is gemeten in het spectrum "laag rood" en "hoog rood"; de kortste bloemen in "laag rood" en "zeer laag rood" behandelingen. De overige behandelingen zitten tussen in.

Het verschil tussen het hoogste bloem en het hoogste blad is gemiddeld maar 6.3 cm in "zeer laag rood"; in de overige behandeling is dit verschil ruim 8 tot 9 cm. Door de onderlinge plantvariatie is het verschil statistisch niet significant.



**Figuur 8** Gemeten verschillen in plantstrekking na 7 weken teelt bij 12 uur belichten. Boven links: hoogte van het hoogste blad; rechts: hoogte van het hoogste bloem; onder links: verschil bloem – blad (hoogste bloem min hoogste blad); onder rechts: lengte internodiën.

In alle andere gemeten kenmerken (bladoppervlakte, aantal bladeren, aantal bloemen en knoppen, grootte van de grootste bloem en het grootste blad, dikte van de bloemsteel, dikte van het blad, oppervlakte van alle bladeren samen of van alle bloemen samen, vers- en drooggewicht van blad, bloem, internodiën of de gehele plant, zie Tabel 5) zijn geen significante verschillen gevonden tussen behandelingen. Dit is goed nieuws, als alleen de plantmorfologie en niet de plantgroei of de bloei met het spectrum kan worden gestuurd.

De visuele verschillen die tussen behandelingen zijn waargenomen (geïllustreerd in Figuur 9) worden echter maar beperkt bekrachtigd met de data uit de destructieve beoordeling van de meetplanten (zie Tabel 5): Er is een duidelijke trend naar een hogere lengte van zowel bloemsteel als bladsteel in de referentie behandeling (Hoog rood) dan in de andere behandelingen, maar de verschillen zijn maar tussen twee behandelingen (Zeer Hoog Rood en Laag Rood / Zeer Laag Rood) significant.

Een verklaring kan liggen in de onderlinge, natuurlijke variatie tussen planten; uit de metingen in de kas2030 weten we dat deze groot kan zijn.

Een andere verklaring kan liggen in het feit dat anthurium planten (en dit is ook bekend van andere plantsoorten), gevoelig zijn voor aanraking: zo blijven de meetplanten die met een zekere regelmaat worden aangeraakt, kleiner dan planten waar men vanaf blijft. Deze planten zijn in totaal 7 keer, eens per week, aangeraakt voor de handmatige lengtemetingen (Zie 3.2.2).

Tabel 5

Resultaten destructieve meting na 7 weken teelt per plantkenmerk en behandeling. Verschillende letters geven significante verschillen tussen behandelingen weer. Rood gedrukt zijn de parameters waar een significant verschil is aangetoond tussen behandelingen.

Teelt 1 (12 uur daglengte)	Behandeling											
	Zeer hoog rood		Hoog rood		Middel rood		Middel laag rood		Laag rood		Zeer laag rood	
Versgewicht Bloemen (g)	32.0	a	28.3	a	30.8	a	30.1	a	33.9	a	28.3	a
Versgewicht Bladeren (g)	66.6	a	62.2	a	63.4	a	68.0	a	69.3	a	66.7	a
Versgewicht internodiën (g)	18.6	a	14.9	a	16.1	a	16.1	a	14.0	a	14.6	a
Versgewicht Hele Plant (g)	117	a	105	a	110	a	114	a	118	a	110	a
Drooggewicht Bloemen (g)	3.8	a	3.5	a	3.9	a	3.8	a	4.2	a	3.5	a
Drooggewicht Bladeren (g)	114.2	a	109.1	a	110.6	a	117.1	a	117.4	a	113.8	a
Drooggewicht internodiën (g)	2.8	a	2.4	a	2.6	a	2.7	a	2.2	a	2.38	a
Drooggewicht Hele Plant (g)	18.0	a	16.8	a	17.5	a	18.2	a	18.2	a	17.2	a
Bladoppervlakte totaal (cm <sup>2</sup> )	1206	a	1216	a	1208	a	1291	a	1306	a	1202	a
Bloemoppervlakte totaal (cm <sup>2</sup> )	229	a	223	a	245	a	224	a	255	a	204	a
#bladeren	19.4	a	20.3	a	17.8	a	22.3	a	21.8	a	19.3	a
#bloemen incl. knoppen	5.5	a	5.4	a	6.2	a	5.8	a	5.7	a	5.6	a
lengte internodiën totaal (mm)	57.9	a	50.9	a	56.5	a	59.1	a	53.7	a	57.1	a
diameter hoogste bloemsteel (mm)	3.6	a	3.5	a	3.4	a	3.4	a	3.4	a	3.3	a
dikte grootste blad (mm)	0.41	a	0.41	a	0.41	a	0.38	a	0.41	a	0.39	a
hoogte hoogste bloem (cm)	38.9	b	36.2	ab	38.0	ab	36.1	ab	34.9	a	34.9	a
hoogte hoogste blad (cm)	30.3	b	27.4	a	28.7	ab	27.6	ab	26.6	a	28.6	ab
verschil bloem-blad (cm)	8.6	a	8.8	a	9.3	a	8.4	a	8.3	a	6.3	a
Breedte grootste bloem (cm)	8.4	a	8.0	a	8.6	a	7.9	a	8.4	a	8.4	a
Lengte grootste bloem (cm)	8.3	a	8.4	a	8.6	a	8.8	a	8.9	a	8.8	a
Breedte grootste blad (cm)	12.4	a	12.08	a	12.18	a	12.28	a	12.0	a	12.4	a
Lengte grootste blad (cm)	19.5	a	18.0	a	18.3	a	19.69	a	18.9	a	19.3	a



**Figuur 9** Aanblik van de meetplanten op de verschillende behandelingen na 7 weken teelt bij 12 uur belichting per dag. In alle foto's zijn twee planten per behandeling (rechts) in vergelijking met twee planten uit de referentie behandeling (links).

### 3.2.3 Visuele beoordeling (telers), tweede teelt (7 weken bij 16 uur belichting)

Het eerste bezoek van telers aan de tweede teelt vond plaats op 11 juni, 5 en een halve week na de start met nieuwe planten. Een zeer sterke gradiënt was al zichtbaar in bloemhoogte en planthoogte afhankelijk van het aandeel rood in het spectrum (hoe meer rood/ hoe minder verrood, des te langer). Op enkele bladeren al enig teken van chlorofyl afbraak zichtbaar; dat was er niet aanwezig in de planten uit de eerste teelt die 12 uur werden belicht.

Bij het volgende bezoek, op 25 juni, waren de planten nog net niet opgeruimd, maar de eindbeoordeling was net uitgevoerd, na 7 weken teelt. De Begeleidingscommissie vond de tafels met de "Medium-Laag Rood" en "Medium Rood" de mooiste planten. "Zeer Laag Rood" vond men ook niet verkeerd, dat zijn ook planten die een goede balans laten zien tussen de hoogte van het blad en de bloemen.

Binnen de proefopstelling lijkt het erop dat de planten in de "zeer hoog rood" en "hoog rood" behandelingen meer bloemen hebben; vermoedelijk is dit een effect van de belichting, die het rode kleur benadrukt, omdat uit de destructieve metingen aan het einde van de teelt geen verschil blijkt in aantal bloemen en knoppen tussen behandelingen (zie Tabel 6).

Een sterke gradiënt is te zien in bloem/ planthoogte voor de eerste drie behandelingen met het afnemen van het aandeel rood/ toenemen van het aandeel verrood in het spectrum (langer met de geteste hogere verhouding R:FR). Na de behandeling "Medium-Laag Rood" (R:FR verhouding 1.5 of lager) neemt de bloemsteellengte nog nauwelijks af). Dit effect is goed te zien in Figuur 10, waarvoor één random plant per behandeling uit de tafels is gehaald.



**Figuur 10** Visuele verschillen in plantstrekking na 7 weken teelt bij 16 uur belichten. Een (random gekozen) plant per behandeling is naast elkaar geplaatst.

### 3.2.4 Plantkenmerken na afloop van de tweede teelt (7 weken, 16 uur belicht)

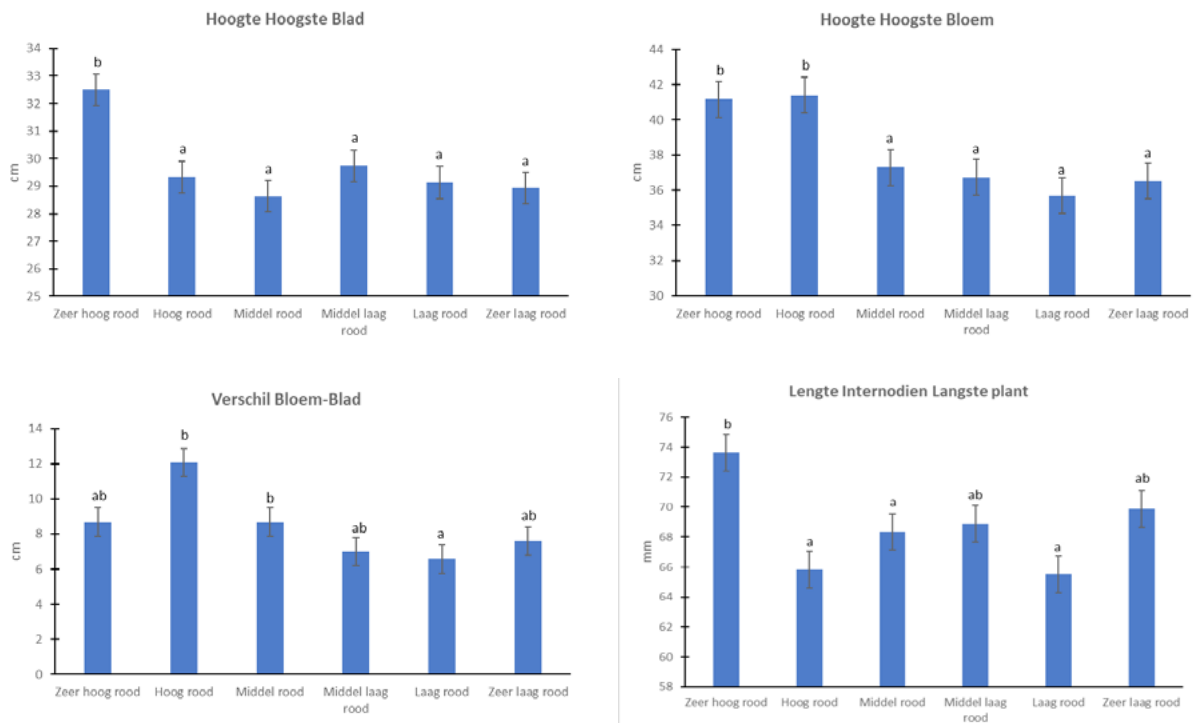
Gemiddeld over alle behandelingen is het versgewicht van de gehele plant toegenomen met 92% van binnenkomst (72 gram) tot het moment van eindigen van de proef, 7 weken later, (138 g). Met de 12 uur behandeling was het gewicht met 69% in vergelijking met het startgewicht toegenomen. Het drooggewicht is gemiddeld verdubbeld (van 12 gram naar 23 gram). Het aantal bladeren per plant is gemiddeld toegenomen met 1 per plant, en per plant is het bladoppervlak toegenomen van 918 naar 1320 cm<sup>2</sup> (een toename van 44%).

Het aantal bloemen en knoppen per plant is ook gestegen van 3.8 bij binnenkomst van de planten op 3 mei, naar 6.1 per plant aan het einde van de teelt op 1 juli. Er waren niet significant meer bloemen in de behandelingen met een hoger aandeel rood, zoals de kleur van de belichting suggereerde (zie 3.3.1) en hoewel ze groter leken, waren de bloemen juist gemiddeld kleiner in de "zeer hoog rood" behandeling dan in de behandelingen met een kleiner aandeel rood (zie Tabel 6)

Opnieuw zijn tussen behandelingen significante verschillen gemeten in strekking, van zowel de hoogste bloem als het hoogste blad (Figuur 11). De hoogste bloem is gemeten in "Zeer Hoog Rood" en in de behandeling "Hoog rood". De bladstrekking kwam alleen in cijfers tot uiting in de "Zeer Hoog Rood" behandeling en was significant korter in alle andere behandelingen.

Bij de "Zeer Hoog Rood" behandeling is ook betrouwbaar meer strekking gemeten onder in de plant, bij de internodiën; de compactste internodiën waren ook lichter (lager vers en droog gewicht).

Het verschil tussen het hoogste bloem en het hoogste blad varieerde gemiddeld van 6 tot 12 cm, en was betrouwbaar lager in de "Laag rood" behandeling dan in de behandelingen "Hoog Rood" en "Middel Rood". In vergelijking met de resultaten van de 12 uur belichting, was er in het algemeen meer strekking bij 16 uur belichten.



**Figuur 11** Gemeten verschillen in plantstrekking na 7 weken teelt bij 16 uur belichten. Boven links: hoogte van het hoogste blad; rechts: hoogte van het hoogste bloem; onder links: verschil bloem – blad (hoogste bloem min hoogste blad); onder rechts: lengte internodiën.

In vergelijking met de behandeling "Zeer Hoog Rood", waren de bloemen in de "Middel-laag rood" behandeling en de "Zeer-laag rood" behandeling iets groter (lengte en/ of breedte van de grootste bloem). Dit leidt tot een trend naar een groter bloemoppervlak totaal, maar door de grote onderlinge verschillen tussen planten was er geen significant verschil in bloemoppervlakte tussen behandelingen. Bij alle overige gemeten kenmerken (bladoppervlakte, aantal bladeren, aantal bloemen en knoppen, grootte van het grootste blad, dikte van de bloemsteel, dikte van het blad, oppervlakte van alle bladeren samen vers- en drooggewicht van blad en bloem of de gehele plant, zie Tabel 6) zijn geen significante verschillen gevonden tussen behandelingen. Dit blijft goed nieuws, als alleen de plantmorfologie en niet de plantgroei of de bloei met het spectrum kan worden gestuurd.

Tabel 6

Resultaten destructieve meting na 7 weken teelt per plantkenmerk en behandeling. Verschillende letters geven significante verschillen tussen behandelingen weer. Rood gedrukt zijn de parameters waar een significant verschil is aangetoond tussen behandelingen.

Teelt 2 (16 uur daglengte)	Behandeling											
	Zeer hoog rood		Hoog rood		Middel laag rood		Laag rood		Zeer laag rood			
Versgewicht Bloemen (g)	38.9	a	38.6	a	43.6	a	39.9	a	36.9	a	40.6	a
Versgewicht Bladeren (g)	70.5	a	66.8	a	70.1	a	71.5	a	68.2	a	69.3	a
Versgewicht internodiën (g)	29.8	<b>ab</b>	28.5	<b>ab</b>	31.4	<b>b</b>	28.4	<b>ab</b>	26.6	<b>a</b>	27.3	<b>ab</b>
Versgewicht Hele Plant (g)	139	a	134	a	145	a	140	a	132	a	137	a
Drooggewicht Bloemen (g)	5.1	a	5.2	a	5.9	a	5.4	a	5.0	a	5.4	a
Drooggewicht Bladeren (g)	13.4	a	13.0	a	14.0	a	13.8	a	12.9	a	12.8	a
Drooggewicht internodiën (g)	4.8	<b>ab</b>	4.7	<b>ab</b>	5.3	<b>b</b>	4.7	<b>ab</b>	4.4	<b>a</b>	4.3	<b>a</b>
Drooggewicht Hele Plant (g)	23.1	a	22.9	a	25.2	a	23.9	a	22.3	a	22.4	a
Bladopervlakte totaal (cm <sup>2</sup> )	1328	a	1285	a	1309	a	1362	a	1298	a	1333	a
Bloemoppervlakte totaal (cm <sup>2</sup> )	260	a	275	a	303	a	292	a	275	a	305	a
#bladeren	19.0	a	18.8	a	18.1	a	18.5	a	17.7	a	17.6	a
#bloemen incl. knoppen	5.7	a	6.1	a	6.3	a	6.2	a	5.9	a	6.5	a
lengte internodiën (mm)	73.7	<b>b</b>	65.8	<b>a</b>	68.3	<b>a</b>	68.9	<b>ab</b>	65.59	<b>a</b>	69.9	<b>ab</b>
diameter hoogste bloemsteel (mm)	4.1	a	4.0	a	4.0	a	3.9	a	3.8	a	3.9	a
dikte grootste blad (mm)	0.4	a	0.4	a	0.4	a	0.4	a	0.4	a	0.4	a
hoogte hoogste bloem (cm)	41.2	<b>b</b>	41.4	<b>b</b>	37.3	<b>a</b>	36.7	<b>a</b>	35.7	<b>a</b>	36.5	<b>a</b>
hoogte hoogste blad (cm)	32.5	<b>b</b>	29.3	<b>a</b>	28.6	<b>a</b>	29.7	<b>a</b>	29.1	<b>a</b>	28.9	<b>a</b>
verschil bloem-blad (cm)	8.7	<b>ab</b>	12.1	<b>b</b>	8.7	<b>b</b>	7.0	<b>ab</b>	6.6	<b>a</b>	7.6	<b>ab</b>
Breedte grootste bloem (cm)	8.2	<b>a</b>	8.6	<b>ab</b>	8.8	<b>ab</b>	9.0	<b>b</b>	8.4	<b>ab</b>	8.9	<b>ab</b>
Lengte grootste bloem (cm)	8.4	<b>a</b>	9.2	<b>bc</b>	9.2	<b>bc</b>	9.3	<b>bc</b>	8.8	<b>ab</b>	9.5	<b>c</b>
Breedte grootste blad (cm)	12.2	a	12.0	a	12.1	a	12.0	a	12.2	a	12.5	a
Lengte grootste blad (cm)	20.2	a	19.8	a	19.5	a	19.9	a	19.2	a	20.0	a

### 3.3 Groeiverloop in de tijd bij 12 en bij 16 uur

De wekelijkse plantmetingen, zowel handmatig als automatisch, geven een indicatie van het groeiverloop van de planten onder de verschillende behandelingen.

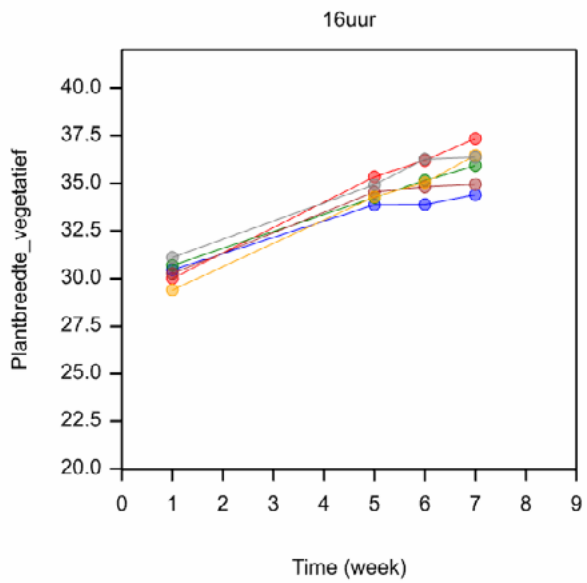
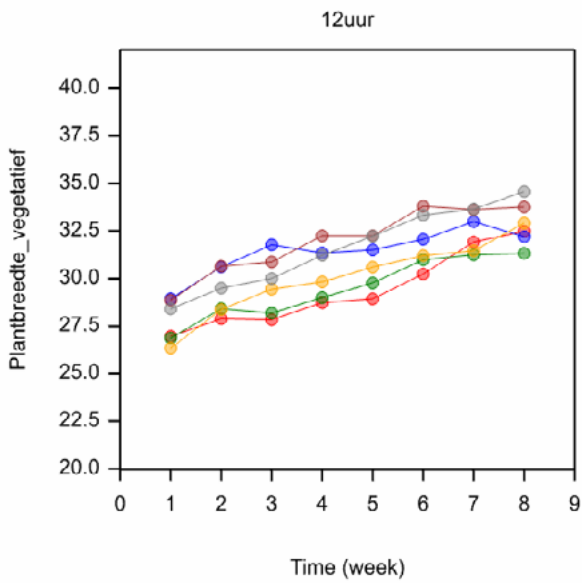
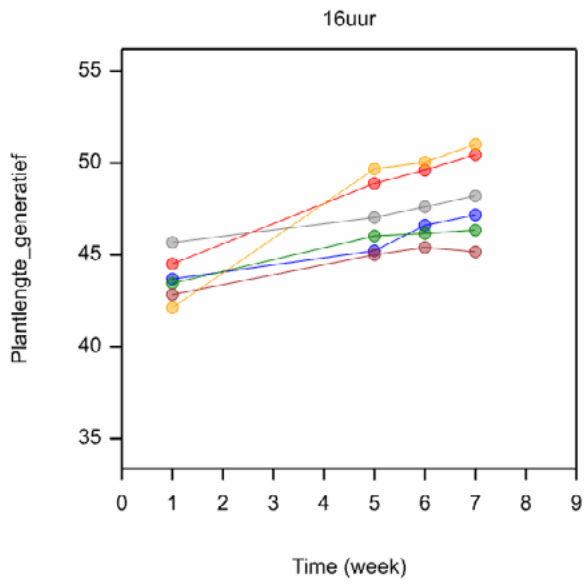
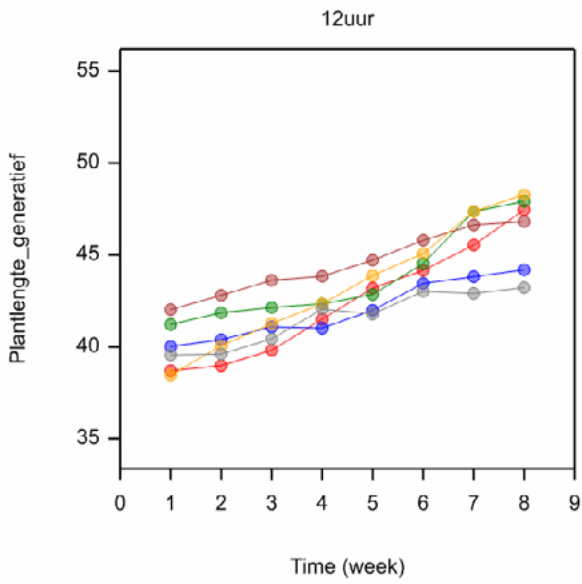
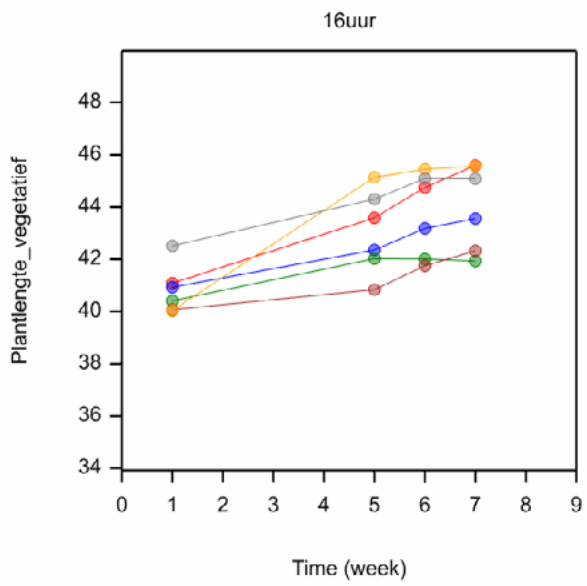
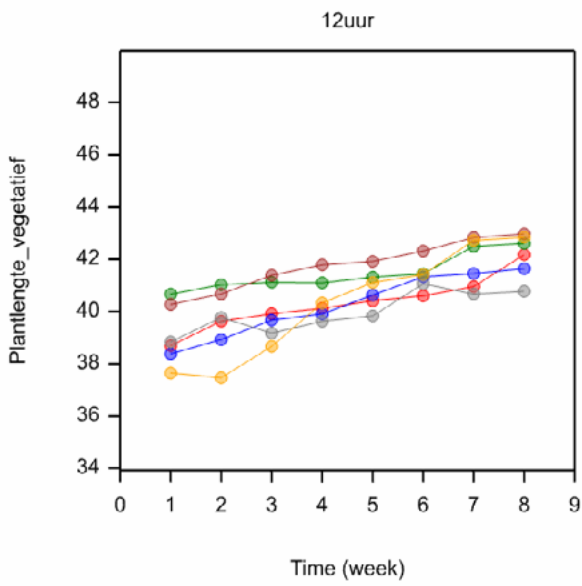
### 3.3.1 Automatische plantmetingen (Plantalyser)

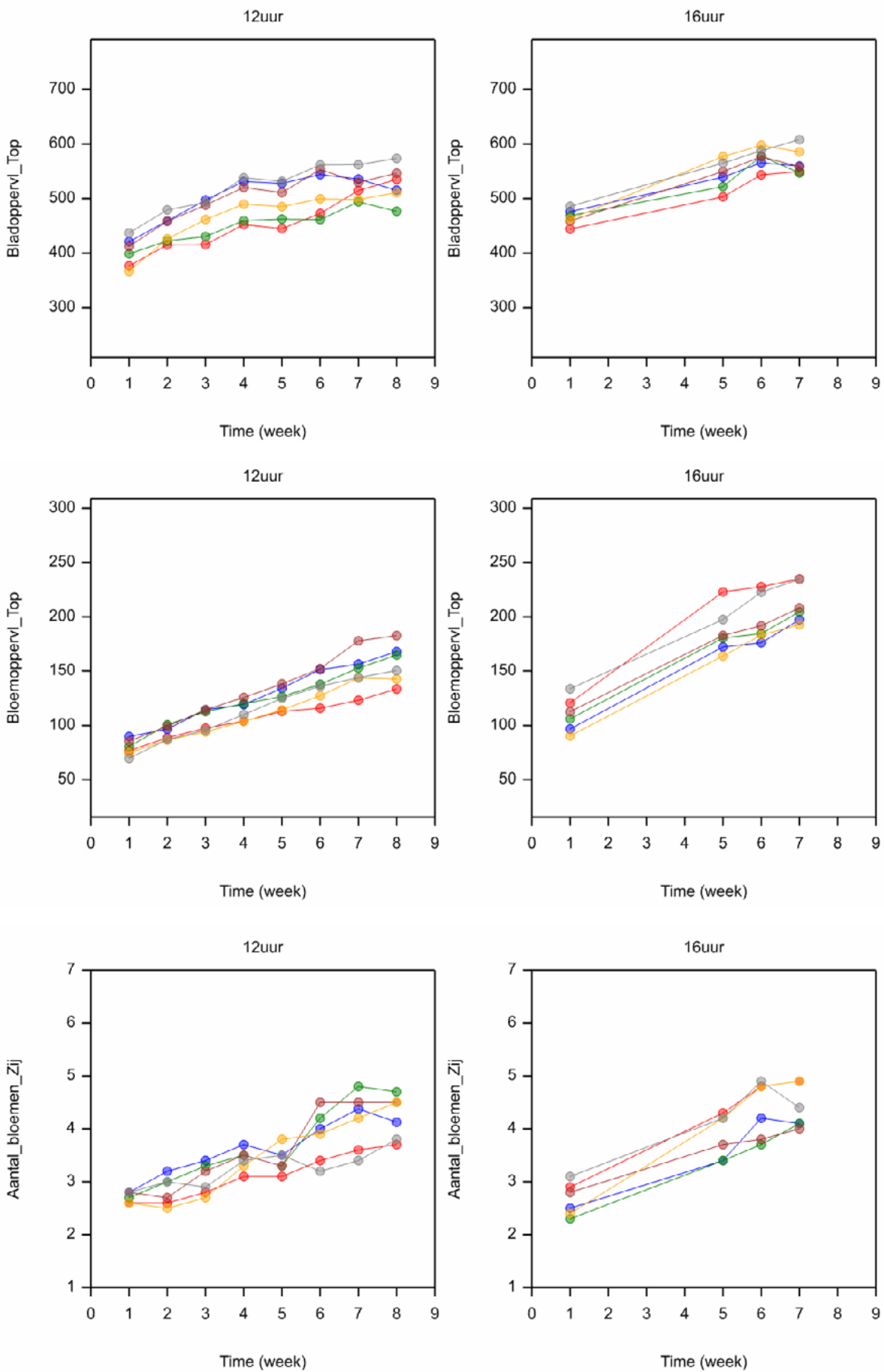
De Figuren hieronder (Figuur 12) tonen het groeiverloop in de tijd van de planten op een aantal kenmerken (plantbreedte, plantlengte generatief en vegetatief, blad- en bloemoppervlakte (topaanzicht), en aantal bloemen/ plant (zijaanzicht)), zoals wekelijks gemeten met de Plantalyser. De punten in de grafieken geven het gemiddelde van 10 planten per behandeling bij elke weekmeting, elke week dezelfde planten (genummerd). Dat er af en toe op week  $x$ , een waarde lager uitkomt dan uit metingen van de week ervoor is niet geheel logisch, en moet waarschijnlijk toegeschreven worden aan verschillen in bladoriëntatie, aan meet-artefacten (een blad onder de andere, een steel dat krom of scheef staat voor de camera, een bloem die onder de bladeren ligt, onzichtbaar voor de camera) of aan schade aan de planten (breuk van een blad of bloem door de manipulatie: oppakken, vervoeren, meten, terugplaatsen).

De Figuren tonen links de gemiddelde groei van de partij planten dat 12 uur werd belicht, en rechts die van de partij planten die 16 uur werden belicht. Belangrijk is om te herhalen dat deze twee partijen planten niet tegelijk zijn onderzocht, maar na elkaar, en dat het ging om twee verschillende partijen planten. Dat de planten al op tijdstip 1 na de start in de 16 uur belichting langer en groter zijn dan de 12 uur belichting partij is vanwege het verschil in start tijdstip en niet het gevolg van de duur van de blootstelling aan de behandelingen.

De groei op deze kenmerken is per plant lineair gefit; met het model is vervolgens een voorspelling voor het allerlaatste meettijdstip berekend, en deze waarden worden geanalyseerd met ANOVA. Voor elke plant wordt dus de predictie voor tijdstip 8, na ongeveer 43 dagen geschat, bij zowel 12 als 16 uur belichting. De resultaten van deze voorspelling worden voor een beperkt aantal plantkenmerken in Tabel 7 samengevat.







**Figuur 12** Groeiverloop van de planten op kenmerken zoals gemeten met de Plantalyser. Links bij 12 uur en rechts bij 16 uur belichten. De getoonde kenmerken zijn van boven naar beneden: Plantlengte generatief (hoogte bloem), plantlengte vegetatief (hoogte blad), plantbreedte, bladoppervlakte (topaanzicht), bloemoppervlakte (topaanzicht) en aantal bloemen/ plant (zijaanzicht).

Uit Tabel 7 blijkt dat ook voor deze planten (een monster van 10 planten per behandeling) en voor deze meetmethode, er een significante invloed van de behandelingen (spectra) is gevonden op zowel bloemlengte als bladlengte (plantlengte zowel vegetatief als generatief), waarbij wederom 4 van de 5 behandelingen tot een kortere bloem en blad leiden dan het "Zeer hoog rood" spectrum.

Uit deze metingen komen ook andere significante verschillen tussen behandelingen naar voren die met de destructieve meting van de andere planten niet naar voren zijn gekomen, zoals de totale (geprojecteerd) oppervlakte van het blad (hoogst bij de behandeling "Zeer Laag Rood" en kleinst bij de behandeling "Hoog Rood" en "Medium Rood"), en het aantal bloemen, als gezien van boven met de camera (1.2 bloem meer per plant bij de behandeling "Zeer Hoog Rood" dan bij de behandeling "Medium Laag Rood"). Desondanks is de totaal gemeten oppervlakte van de bloemen niet significant verschillend tussen behandelingen (was bij de destructieve metingen WEL significant verschillend), maar er is wel een trend naar meer oppervlakte aan bloem in de "Zeer Laag Rood" behandeling dan in de "Zeer Hoog Rood" behandeling.

Bij de meeste plantkenmerken is een significant effect van de belichtingsduur op het resultaat: zowel bloemsteel als bladsteel zijn langer bij langere belichtingsduur (en dat is het ongewenste effect voor dit kenmerk), maar ook de plantbreedte, de totale bladoppervlakte en de bloemoppervlakte zijn significant hoger. Dus de plant kan de extra uren licht wel in groei omzetten.

Een uitzondering hierop is het aantal bloemen (3 per plant gemiddeld ongeacht de duur van de belichting); mogelijk is dit het gevolg van de korte duur van de teelt (7 weken) en/ of de fase waarin de planten zijn ingezet (laatste fase van de teelt, als de bloemen al zijn aangelegd).

Tabel 7

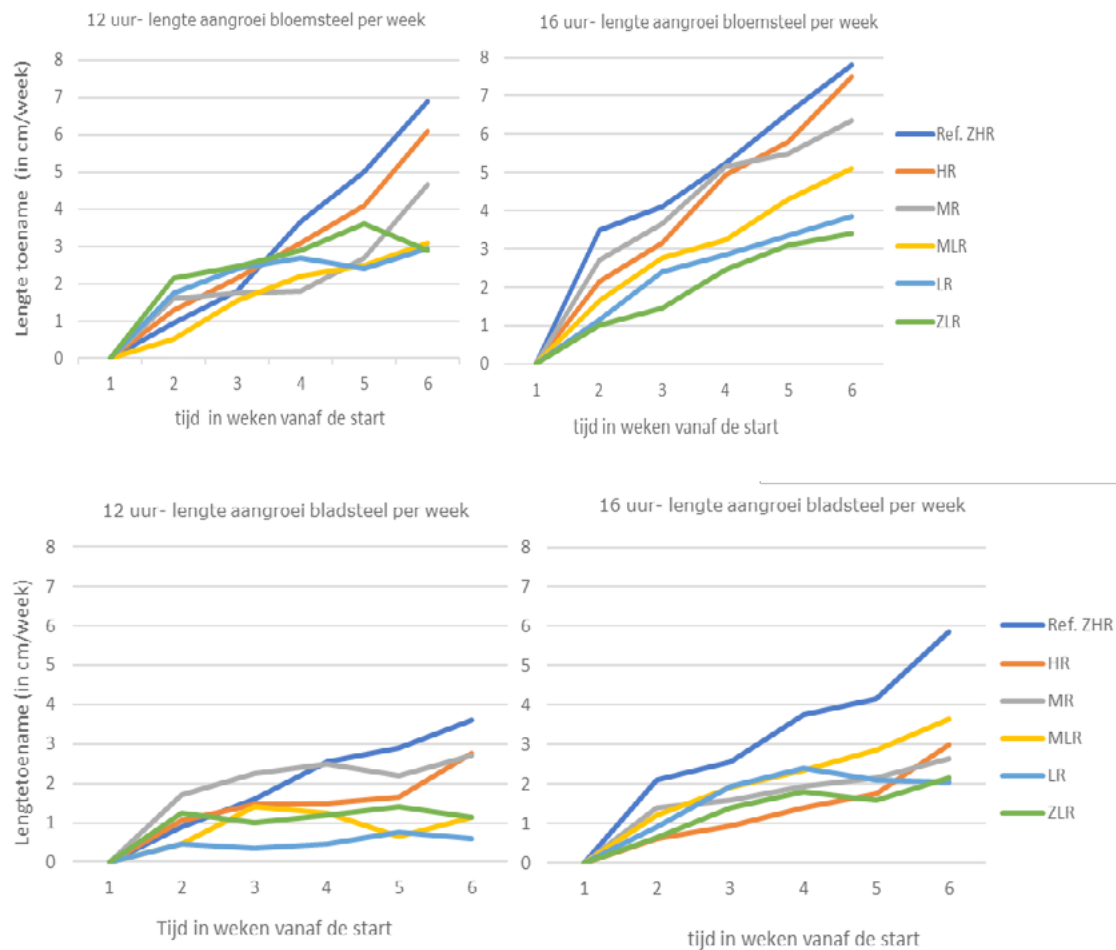
Resultaten voorspelling groei op plantkenmerk na 8 weken teelt tijdstip per behandeling en per belichtingsduur. Verschillende letters geven significante verschillen aan. (ANOVA 5%). Rood gedrukt zijn de parameters waar een significant verschil is aangetoond tussen behandelingen.

Behandeling	Plantlengte generatief (bloem)	Plantlengte vegetatief (blad)	Plantbreedte	Blad-oppervlakte top	Bloem oppervlakte top	Aantal bloemen top
Zeer hoog rood	50.9 .b	45.4 .b	35.2 a	580.6 ab	181.0 a	3.5 ..c
Hoog rood	49.3 .b	44.0 ab	35.4 a	548.4 a.	200.1 a	3.3 .bc
Medium rood	47.2 a.	42.7 a.	34.3 a	540.2 a.	192.6 a	2.7 ab.
medium-laag rood	46.3 a.	42.8 a.	35.4 a	581.2 ab	205.1 a	2.3 a..
laag rood	45.7 a.	43.0 a.	34.6 a	578.3 ab	194.4 a	3.2 .bc
zeer laag rood	46.3 a.	43.7 a.	36.3 a	613.4 .b	204.1 a	3.2 .bc
Duur						
12 uur	46.2 a.	42.4 a.	33.3 a.	548.6 a.	159.8 a.	3.0 a
16 uur	49.1 .b	44.8 .b	37.1 .b	598.8 .b	232.7 .b	3.1 a
F pr. beh.	<0.001	0.003	0.375	0.049	0.488	0.006
F pr. duur	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.439
F pr. beh.*duur	<0.001	0.001	0.055	0.432	0.005	0.832

### 3.3.2 Handmatige wekelijkse plantmetingen

De Figuren hieronder (Figuur 13) tonen het resultaat van de wekelijkse handmatige metingen voor de twee kenmerken Bladsteel lengte en Bloemsteel lengte. De punten in de grafieken geven de gemiddelde lengte aangroei van 10 planten per behandeling, tussen twee achtereenvolgende weken. Elke week zijn dezelfde planten (genummerd) gemeten.

Per Figuur links de toename in lengte van de partij planten die 12 uur werd belicht, en rechts die van de partij planten die 16 uur werd belicht. Belangrijk is om te herhalen dat deze twee partijen planten niet tegelijk zijn onderzocht, maar na elkaar, en dat het ging om twee verschillende partijen planten. Door op de toename te focussen corrigeren we automatisch voor de lengte verschillen bij de start.



**Figuur 13** Gemiddelde lengte toename bloemsteel (boven) en bladsteel (onder) per week (cumulatief) zoals met de hand gemeten. Links bij 12 uur en rechts bij 16 uur belichten.

Uit deze handmetingen blijkt een verschillend strekkingsritme in de verschillende behandelingen. Dit ritme kan worden uitgedrukt (Tabel 8) door het richtingscoëfficiënt van een door deze punten gefitte lijn weer te geven.

Ook in deze groep planten en met deze manier van weergeven, blijkt dat de groeitoename van zowel de bloemsteel als de bladsteel sneller gaat naarmate de R:FR verhouding toeneemt. Uit de lijnen blijkt ook dat de lengte van de bloemsteel sneller toeneemt dan de lengte van de bladsteel; dat verklaart waarom na enkele weken blootstelling aan de belichting met de hogere R:FR verhoudingen, de hoogste bloemen hoog boven het hoogste blad uitkomen.

De invloed van de belichtingsduur is er ook: in het algemeen blijkt er een versterking van de effecten te zijn door de langere dag, met een steilere lijn (een hogere richtingscoëfficiënt van de gefitte lijn) voor de 16 uur belichtingsduur met dezelfde behandelingen dan voor de duur van 12 uur.

Dit zijn de planten die op einddatum destructief beoordeeld zijn (zie 3.2.2 en 3.3.2), en waar op einddatum de statistische significante is getoetst.

Tabel 8

Resultaten handmeting: totale toename lengte bloemsteel en bladsteel 7 weken na de start van de behandelingen, per behandeling en per belichtingsduur, en de richtingscoëfficiënt van de lijn die op basis van de cumulatieve lengte toename per week is gefit.

Behandeling	Duur belichting	Toename bloemsteel lengte totaal	Richting coëfficiënt tijdverloop bloemsteel	Toename bladsteel lengte totaal	Richting coëfficiënt tijdverloop bladsteel
Zeer hoog rood	12 uur	6.9	1.38	3.6	0.71
Hoog rood	12 uur	6.1	1.14	2.7	0.45
Medium rood	12 uur	4.6	0.76	2.7	0.43
Medium-laag rood	12 uur	3.1	0.63	1.2	0.18
Laag rood	12 uur	2.9	0.48	0.6	0.11
Zeer laag rood	12 uur	2.9	0.55	1.2	0.18
Zeer hoog rood	16 uur	7.8	1.41	5.9	1.05
Hoog rood	16 uur	7.5	1.44	3.0	0.54
Medium rood	16 uur	6.3	1.19	2.7	0.68
Medium-laag rood	16 uur	5.1	0.97	3.7	0.45
Laag rood	16 uur	3.8	0.75	2.1	0.41
Zeer laag rood	16 uur	3.5	0.69	2.1	0.40

### 3.3.3 Bladvergeling en gehalte aan Chlorofyl en carotenoïden

Na afloop van de 7 weken teelt bij 16 uur belichting, waren bij alle behandelingen bladeren met vergelingsvlekken zichtbaar; dit is voor de 6 behandelingen in beeld gebracht in Figuur 14.

De planten die 12 uur werden belicht vertoonden te weinig bladplekken om daar tellingen/ analyses voor te doen.

Het aantal planten met chlorofyl afbraak per behandeling is geteld (Tabel 9). Zowel aantal aangetaste planten per tafel als in de ernst/ grootte van de vlekken, is er een afname van de eerste naar de laatste behandeling (met het afnemen van de R:FR verhouding in het spectrum).

Onbekend is of dit dan een teken is van een overmaat aan een bepaalde golflengte, of een teken van een te lange daglengte. Daar de planten onder zomercondities geen bladplekken laten zien bij 16 uur natuurlijk licht (en langer), is het meest aannemelijk dat het gaat om een overmaat aan een specifieke lichtkleur versterkt door de lange blootstelling. Een andere mogelijkheid is dat door de relatief korte nacht er onvoldoende tijd voor regeneratie van de carotenoïden is die het chlorofyl beschermen tegen oxidatie en ontkleuring (Barceló *et al.* 1986, p.352)).

De vlekken waren ook waargenomen gedurende de eerste winterteelten in de Fossielvrije Demo Kas2030. Bij planten is vergeling een uiting van vele "kwalen": van gebrek én van overmaat aan sommige hoofdelementen, of juist aan sporelementen, van ziektes, van droogte... Oxidatie en ontkleuring van het chlorofyl door licht overmaat was in deze context een aannemelijke "kwaal" die als vergeling werd geuit. Na de vergeling worden de planten "oranje", de kleur van andere licht oogstende pigmenten uit het blad: carotenoïden. Carotenoïden spelen een rol bij lichtabsorptie en energieoverdracht naar de fotosystemen. Carotenoïden absorberen in de blauwe en groene gebieden, deels overlappend en deels voorbij de gebieden van het spectrum waar chlorofyl absorbeert, en reflecteren rood en geel licht. Deze pigmenten voeren ook overtollige energie uit de cel. Aan carotenoïden wordt daarom een chlorofyl beschermende werking toegeschreven. De verhouding chlorofyl: carotenoïden zou ons mogelijk iets kunnen vertellen over lichtschade reacties bij de plant.

Om hier een getal aan te geven, zijn van aangetaste planten bladmonsters genomen. Het chlorofylgehalte is non-destructief gemeten (SPAD) en daarna is het destructief (middels een extractie) het gehalte aan chlorofyl en carotenoïden gemeten. De resultaten van de SPAD metingen (12 metingen totaal) en van in totaal 12 bladponsjes per behandeling vertoonden een zeer grote variatie. Mede door deze variatie is er geen statistisch verschil aan te tonen (ANOVA 5%) tussen de behandelingen in het gehalte aan chlorofyl of aan carotenoïden, terwijl de gemiddelde waarden aan beide pigmenten, én de gemiddelde verhouding tussen beide (eveneens weergegeven in Tabel 9), wel trends laten zien.

Zo is er een trend naar een hogere Chlorofyl: carotenoïden verhouding naarmate de R:FR verhouding afneemt.

De laatste regel in Tabel 9 geeft de gehalten van 12 onbeschadigde bladeren van planten van hetzelfde ras die onder "zomer condities" (in de Kas2030) zijn geteeld. Deze "onbeschadigde referentie" laat zien dat de groei onder zomercondities resulteert in een hogere Chlorofyl: carotenoïden ratio dan de planten die onder belichting (in de proef) groeiden.



**Figuur 14** Gele vlekken op het blad na 7 weken teelt bij 16 uur belichten voor de 6 toegepaste spectrumbehandelingen. V.l.n.r.: Zeer Hoog Rood, Hoog Rood, Medium Rood, Medium-Laag Rood, Laag rood, Zeer Laag Rood.

Tabel 9

Het aantal planten met gele bladplekken per behandeling uit een totaal van 100 planten, de SPAD waarde, en het gehalte aan chlorofyl en carotenoïden in aangetaste planten na 7 weken teelt bij 16 uur daglengte. Behandelingen met verschillende letters verschillen significant van elkaar (ANOVA 5%).

Behandeling	Aantal planten met bladplekken	Gemiddeld SPAD-waarde	Gemiddeld gehalte chlorofyl a+b ( $\mu\text{g/g}$ )	Gemiddeld gehalte Carotenoïde ( $\mu\text{g/g}$ )	Gemiddeld verhouding Cl.: carot.
Ref. Zeer hoog rood	37	65 a	1018 a	178 a	5.8
Hoog rood	20	66 a	1125 a	162 a	7.1
Medium rood	22	66 a	1072 a	156 a	7.2
Medium laag rood	13	67 a	1140 a	147 a	7.8
Laag rood	11	67 a	1244 a	150 a	8.4
Zeer laag rood	5	65 a	1116 a	154 a	7.3
Onbeschadigd Kas2030	<i>n.v.t.</i>	69	1383	142	9.7

De gemiddelde SPAD waarde van alle metingen uit een behandeling vertoont een positieve correlatie ( $r = 0.9$ ), met het gemiddelde gehalte chlorofyl als gemeten in het lab, en een negatieve correlatie ( $r = -0.6$ ) met het gemiddelde gehalte carotenoïden. Het gemiddelde gehalte gemeten chlorofyl a+b correleert negatief ( $r = -0.7$ ) met het gemiddelde carotenoïde gehalte. De correlatie coëfficiënten dalen naar dicht bij 0.1 als alle individuele metingen (in plaats van het gemiddelde) worden gebruikt. Dat geeft de grote variatie tussen de metingen aan en verklaart waarom de verschillen niet significant zijn.

### 3.4 Efficiëntie van de Fotosynthese (chlorofylfluorescentie)

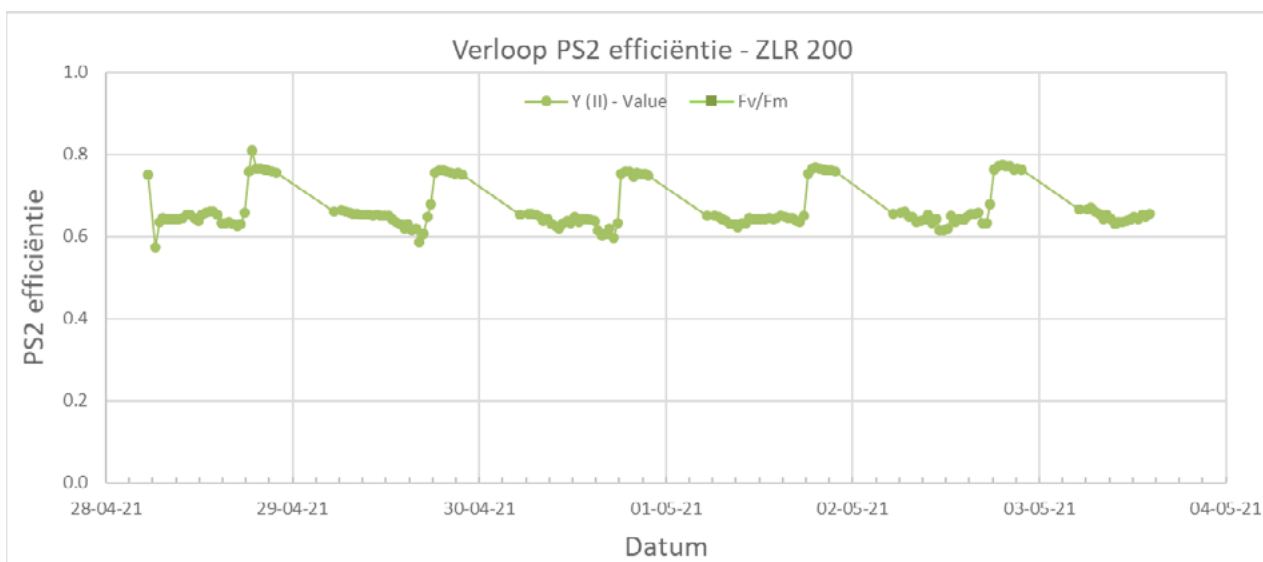
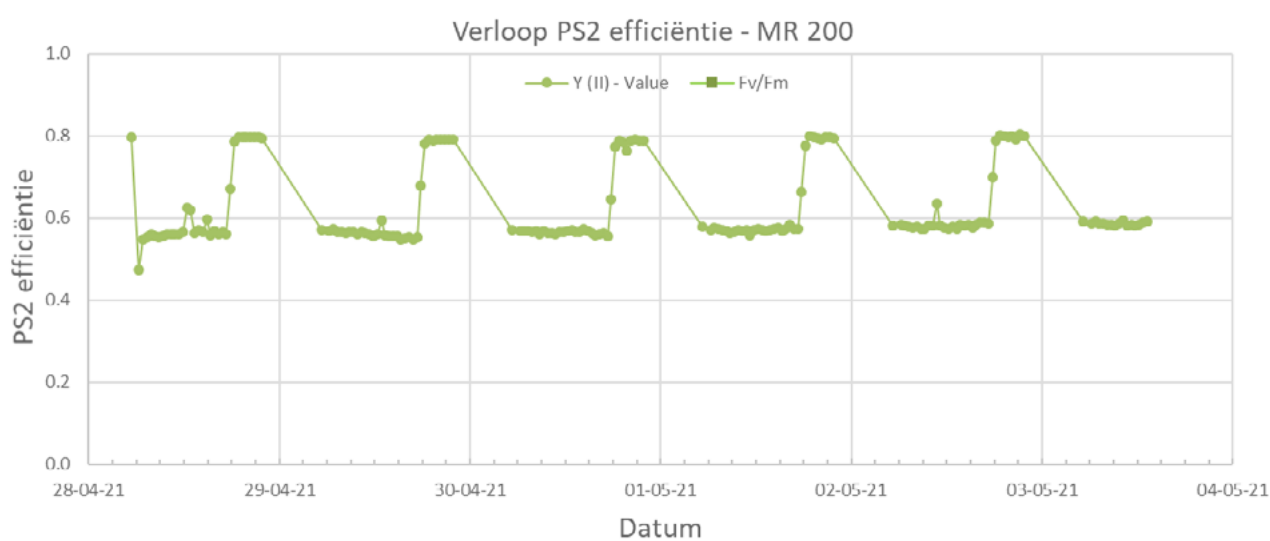
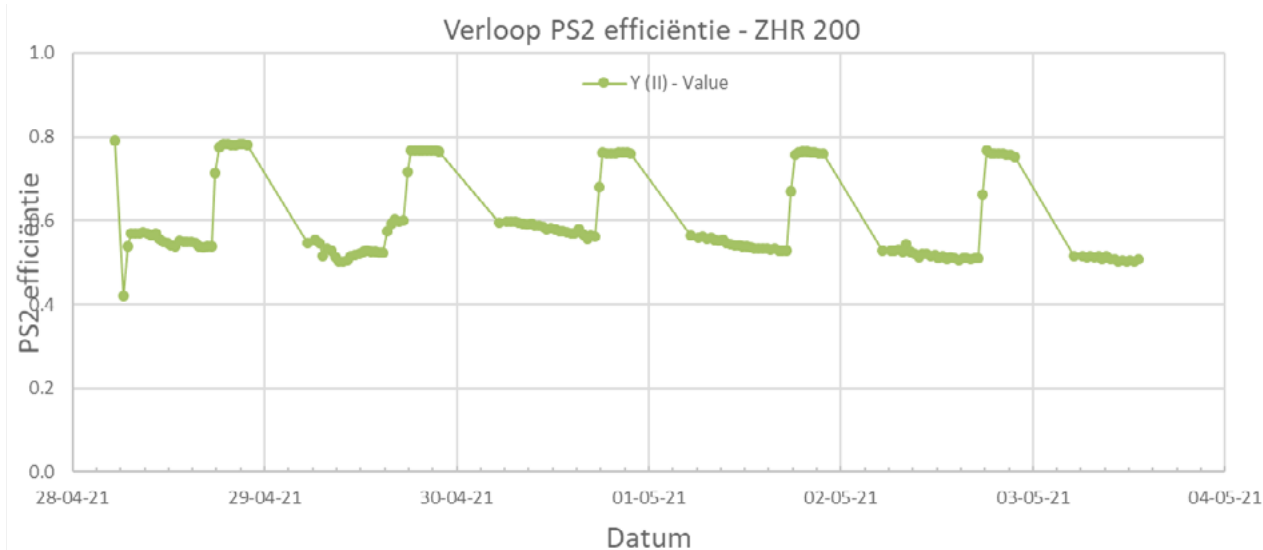
Met de Hex-PAM (Pulse-Amplitude-Modulation) sensor bevestigd door een clip aan een blad, wordt een indruk gekregen van de temperatuur van het blad de RV op bladniveau, de gemeten fotosynthese efficiëntie van het fotosysteem 2 (PS2) (In Figuur 15 getoond als de "yield" of YII waarde). Op basis van de gemeten fluorescentie en de gemeten PAR op bladniveau (middels PAR sensor gekoppeld aan de PAM) kan de ETR (Elektronen transport snelheid) worden berekend. Voor de YII waarden wordt de maximale fotosynthese efficiëntie van het donker geadapteerd blad ( $F_m$  maximum fluorescentie). één keer per dag gemeten (een uur voor de lampen aangaan). De verhouding tussen maximale fluorescentie en de actuele fluorescentie ( $F_v$ ) levert een  $F_v/F_m$  waarde gedurende de dag. Zonder lichtschade, is de  $F_v/F_m$  waarde elke dag gelijk. Waardes van  $F_v/F_m$  lager van de dag(en) ervoor zijn een indicatie van schade aan PS2.

Bij het verwijderen van de sensoren (dat was na 7 weken van de start van de tweede teelt met 16 uur belichting per dag) is een licht response curve gemaakt bij alle 12 meetkoppelen: 6 geklemd op een bovenblad (een per behandeling) en 6 op een onderblad (een blad in de schaduw van de bladeren erboven (ook een per behandeling)). De 6 Licht response curves gemaakt met de sensoren bevestigd aan het bovenblad worden in Bijlage 4 getoond en besproken. Bij twee behandelingen (ZHR en LR) zien we lichtverzadiging al bij zeer lage lichtintensiteiten van 200-300  $\mu\text{mol/m}^2 \cdot \text{s}$  PAR; dit komt overeen met waardes verkregen uit eerder onderzoek (Van Noort, 2014, Pot *et al.* 2015, Trouwborst *et al.* 2019).

#### 3.4.1 Efficiëntie PSII bij 12 uur belichting

De resultaten voor de efficiëntie van het PSII zijn weergegeven in Bijlage 3.

De grafieken hieronder laten de resultaten zien van drie van de zes behandelingen (Zeer Hoog Rood boven, Medium Rood in het midden, en Zeer Laag Rood onder), gedurende de zevende meetweek bij de 12 uur blootstelling.



**Figuur 15** Verloop van de efficiëntie van het PS2, in de week van 28-04 tot 03-05 (de 7e week na de start van de behandelingen). Getoond zijn 3 van de 6 behandelingen, van boven naar beneden Zeer Hoog Rood, Medium Rood, Zeer Laag Rood. De planten worden 12 uur belicht.



Wat opvalt aan deze metingen:

- (I) dat de efficiëntie van het PSII dagelijks daalt gedurende de uren dat er belicht wordt in de behandeling "Zeer Hoog Rood", terwijl in de andere twee getoonde behandelingen stabiel blijft gedurende de dag (in behandeling "Zeer Laag Rood" zijn er meer fluctuaties maar er is niet een constante afname te zien gedurende de dag).
- (II) Dat er bij de behandeling "Zeer Hoog Rood" de eerste meting in het licht van de volgende dag niet hersteld is op het start niveau van een dag eerder, maar begint op het niveau waar het gebleven is de nacht ervoor.
- (III) Dat de efficiëntie van het PSII het hoogst lijkt in de behandeling "Zeer Laag Rood", gevolgd door de behandeling "Medium Rood", en het laagst bij de behandeling "Zeer Hoog Rood".

Dit patroon zien we, met wat onregelmatigheden, zich in de verschillende weken herhalen (zie Bijlage 3). Elke week wordt de sensor op een nieuw blad geklemd.

In relatie tot (III): Omdat de ETR berekend wordt op basis van de gemeten PAR op bladniveau (PAR sensor gekoppeld aan de PAM), is niet te verwachten dat de ETR hoger is bij een lagere PAR als gevolg van verschillen in spectrum (waarbij het PAR niet ligt boven het niveau waarvan we weten uit experimenten met zowel natuurlijk licht als kunstlicht dat ze schadelijk zijn (Van Noort *et al.* 2014, Pot *et al.* 2015). Echter, de lage PAR is in dit geval "aangevuld" of gecompenseerd met een groter aandeel FR. Een hogere efficiëntie bij deze behandelingen zou op een 'Emerson Enhancement Effect' (Barceló *et al.* 1986; Emerson, R., 1957) kunnen wijzen waarbij fotosysteem 1 naar verhouding meer licht absorbeert dan fotosysteem 2 en daardoor harder werkt. Daardoor zal fotosysteem 2 efficiënter werken.

Hogere efficiëntie kan ook veroorzaakt worden door een lage PAR, wat uiteindelijk kan leiden tot een lagere assimilatie. De efficiëntie moet eigenlijk bepaald worden bij gelijke PAR om goed te kunnen vergelijken; we hebben hier de behandelingen gestuurd op gelijke PFD, waardoor er bij toenemend aandeel FR, de PAR evenredig daalt. Bij een eventueel vervolg experiment, is het een aanbeveling om de behandelingen te vergelijken bij zowel gelijke PAR als gelijke PFD, of b.v. gelijke PAR met en zonder toegevoegd FR licht.

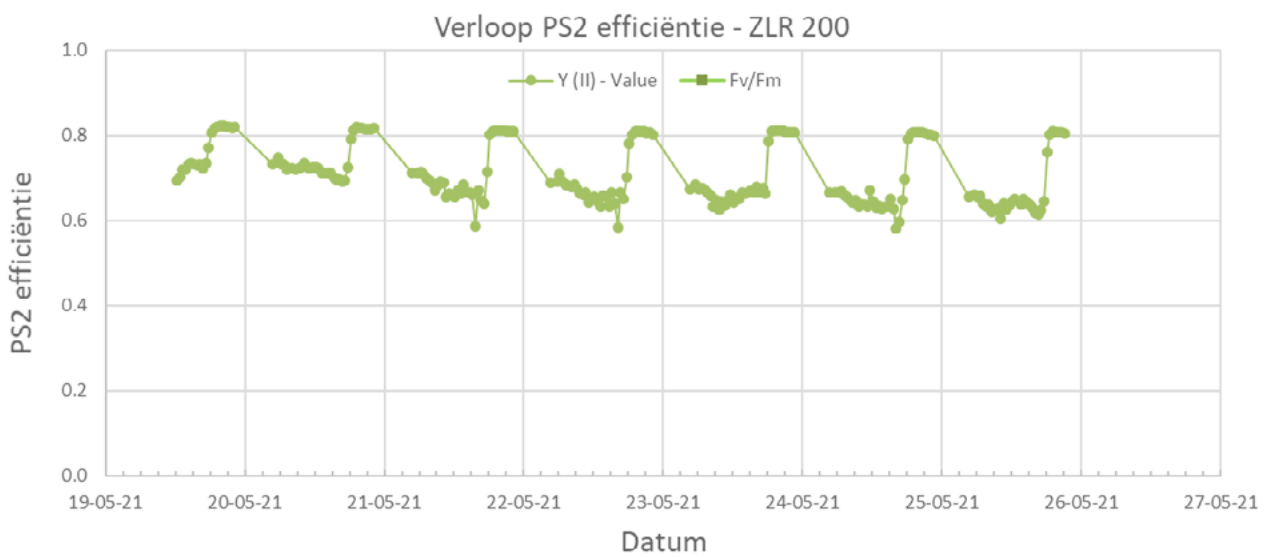
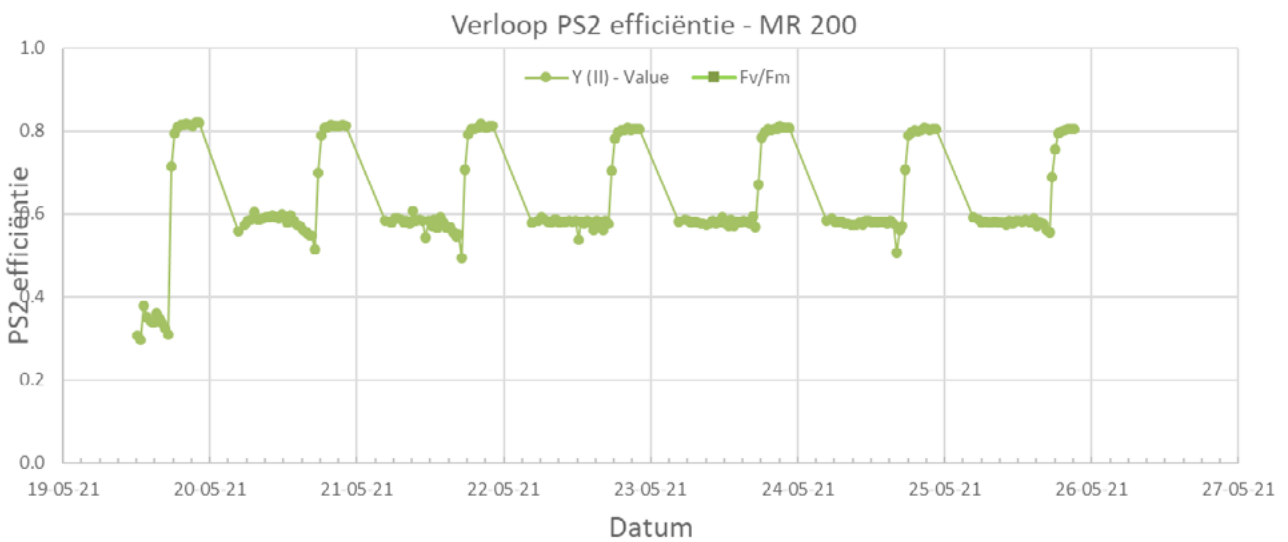
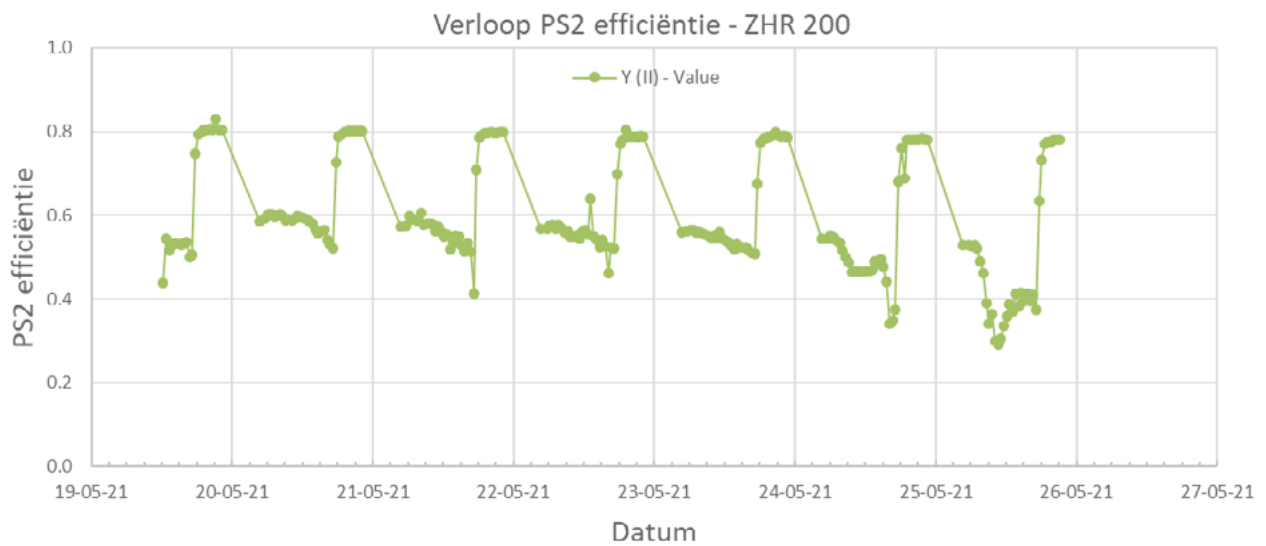
In relatie tot (I) en (II): de waargenomen afname van de efficiëntie van het PSII suggereert dat er schade aan het PS2 wordt aangericht in de behandeling "Zeer Hoog Rood". Dit lijkt voor de 16 uur blootstelling te worden ondersteund door

- De Licht Response Curves die gemaakt zijn aan het einde van de teelt (Bijlage 4) met de Chlorofyl fluorescentie apparatuur.
- De metingen met open kamer die gedaan zijn met Li-Cor fotosynthese meting apparatuur (3.6).
- De zichtbare bladschade (bladeren met gele/ oranje vlekken) aan het gewas bij de 16 uur blootstelling (zie 3.4.3 en Tabel 9).

Omdat de behandeling "Zeer Hoog Rood", naast de behandeling met het hoogste aandeel rood en zonder Verrood, ook de behandeling is met relatief de hoogste PAR -bij gelijk PFD- is het vermeende schade aan het PS2 niet met 100% zekerheid toe te schrijven aan het spectrum. Voor de 100% zekerheid, dienen de behandeling vergeleken te worden, als eerder vermeld, bij zowel gelijke PAR als gelijke PFD, of b.v. gelijke PAR met en zonder toegevoegd FR licht.

### 3.4.2 Efficiëntie PSII bij 16 uur belichting

Ook de resultaten van de efficiëntie van het PSII bij 16 uur daglengte zijn weergegeven in Bijlage 3. Wederom kiezen we hier een selectie van deze grafieken om te bespreken. Getoond worden drie van de 6 behandelingen ("Zeer Hoog Rood", boven, "Medium Rood", in het midden en "Zeer Laag Rood", onder), als gemeten gedurende de derde meetweek bij de planten die 16 uur werden blootgesteld aan de behandelingen.



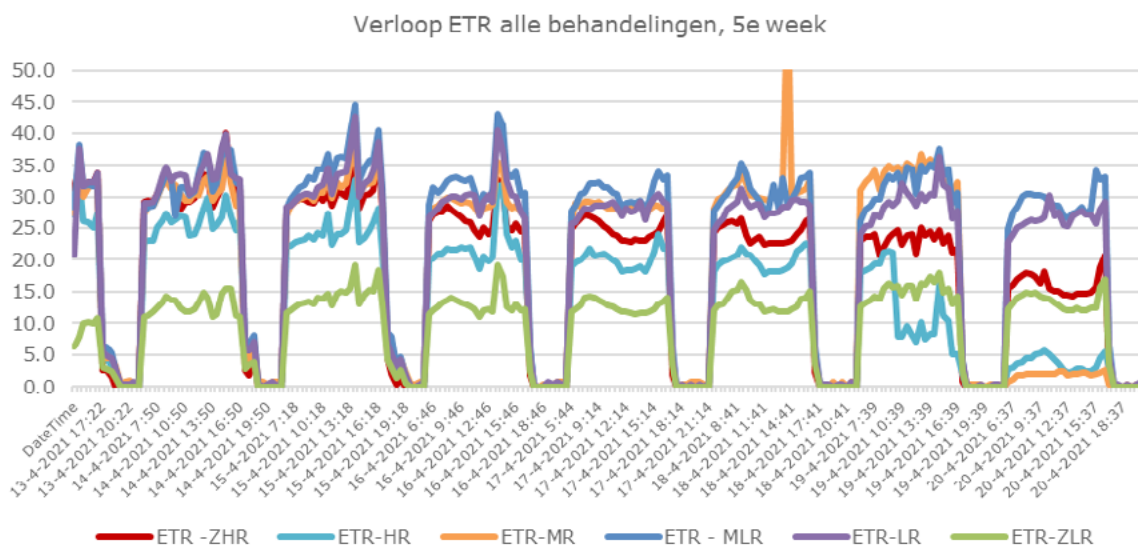
**Figuur 16** Verloop van de efficiëntie van het PS2, in de week van 19-05 tot 26-05 (de 3<sup>e</sup> week na de start van de behandelingen). Getoond zijn 3 van de 6 behandelingen, van boven naar beneden Zeer Hoog Rood, Medium Rood, Zeer Laag Rood. De planten worden 16 uur belicht.

Wat opvalt aan deze metingen in vergelijking met de metingen van de planten die 12 uur worden belicht, is dat een vergelijkbaar patroon van dagelijkse afname van de efficiëntie van het PSII ontstaat gedurende de uren dat er belicht wordt in de behandeling "Zeet Hoog Rood". Er is tevens een gestaagde afname te zien gedurende de week ten opzichte van de dag ervoor. Deze laatste lijkt hier echt niet exclusief te zijn van de behandeling "Zeet Hoog Rood". Het lijkt erop dat bij een blootstelling van 16 uur aan de belichting, ook in de behandeling "Zeet Laag Rood" er een constante afname kan zijn gedurende de week.

### 3.4.3 Berekenende ETR (elektronentransportsnelheid)

In Figuur 17 is het verloop van de berekende elektronentransportsnelheid (ETR, eerste stap in de fotosynthese) tijdens de verzadigende lichtpuls van de meetkop voor alle behandelingen in één grafiek geplot. Getoond is alleen de 5<sup>e</sup> week na de start van de behandelingen bij 12 uur belichting.

In de Figuur wordt zichtbaar hoe de snelheid van elektronentransport gedurende de week constant blijft bij de behandelingen "Medium Laag Rood" (MLR), "Laag Rood" (LR) en "Zeet Laag Rood" (ZLR), geleidelijk daalt in de ZHR behandeling en eerst geleidelijk, dan na 6 of 7 dagen abrupt daalt in de behandelingen "Hoog Rood" (HR) en "Medium Rood" (MR).



**Figuur 17** Verloop van het elektronentransport van alle behandelingen in de 5<sup>e</sup> week na de start van het onderzoek, bij een blootstelling van 12 uur aan de belichting.

De grafiek moet vooral gebruikt worden om het verloop binnen een en dezelfde behandeling in de tijd af te lezen en is minder geschikt voor het vergelijken van absolute ETR tussen behandelingen. De ETR wordt berekend op basis van het lokaal gemeten PAR, (gemeten met de bij de HEX-PAM geïntegreerde sensor, Walz-Germany, LS-C Mini Quantum sensor), en een meting van de hoeveelheid PAR is in de definitie van PAR al een onderschatting van het totale licht bij de behandelingen met meer FR.

Daarnaast is het bekend dat bij deze sensoren boven de 680 nm de meetfout al snel groter wordt dan 10%. Bovendien is de ervaring dat deze sensoren minder nauwkeurig meten bij LED licht dan bij natuurlijk licht. Zo zien wij ook een systematische onderschatting van de PAR meting op elke moment van de dag in vergelijking met de aanvullende PAR metingen (onder elke behandeling was een PAR meter -Li-Cor). Het verschil (waarde PAR sensor op tafel – waarde lokale PAR sensor PAM apparaat) bedraagt ca. 50  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ .

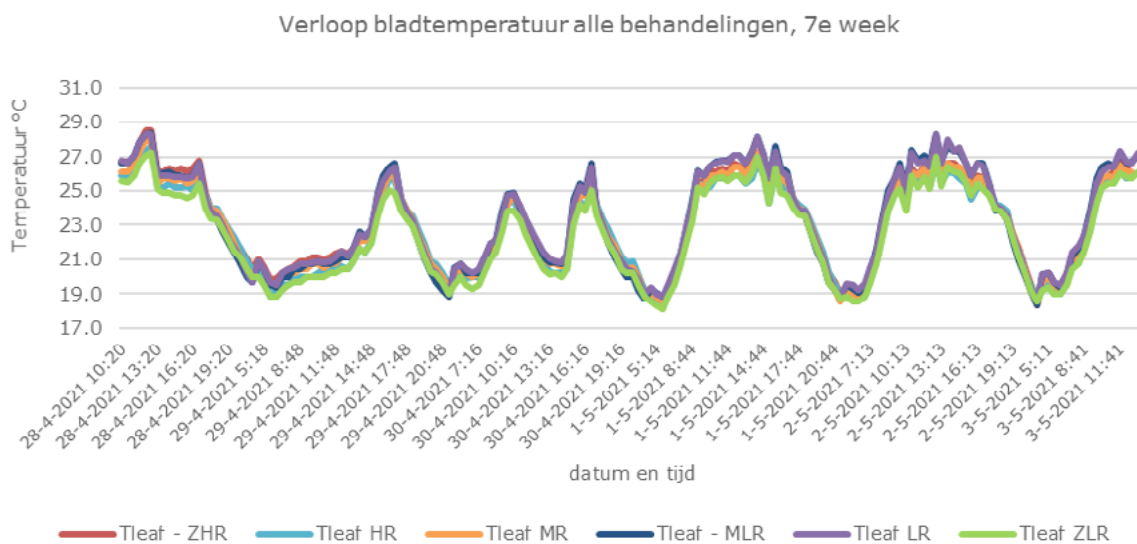
Om de ETR als absolute waarde te kunnen gebruiken in een eventueel vervolg onderzoek wordt aanbevolen de lichtabsorptie (transmissie) van het blad tussen 400 en 800nm in het onbeschadigd, vers, volwassen blad te bepalen.

### 3.4.4 Verloop bladtemperatuur

In eerder onderzoek met potanthurium (Van Noort *et al.* 2014) is empirisch vastgesteld dat de kritische drempelwaarde voor bladtemperatuur 32°C is; boven deze drempelwaarde worden de huidmondjes gesloten en is er geen CO<sub>2</sub> vastlegging meer mogelijk, maar ook geen of nauwelijks verdamping; hierdoor daalt de RV op bladniveau. Omgekeerd geldt het ook: bij te lage RV op bladniveau kan er huidmondjes sluiting zijn ook bij niet beperkende bladtemperaturen. Het zijn condities die na enkele uren tot dagen zichtbaar schade aan het blad toebrengen als vergeling en /of verbrandingsplekken.

De HEX=PAM sensor registreert daarom de temperatuur van het blad met een thermokoppeltje en de relatieve luchtvochtigheid op blad niveau. Deze waarden werken bij potanthurium vaak verklarend voor dalende fotosynthese snelheden en zelfs voor schade aan het fotosynthese apparaat.

De verschillen in bladtemperatuur tussen de behandelingen konden op momenten tot 1.5 graad oplopen, maar bij alle metingen van beide teelten is het bladtemperatuur nooit boven de 29.5°C en nooit onder de 18.5°C gekomen. Figuur 18 laat zien het verloop bij de 6 lichtbehandelingen in de 7<sup>e</sup> en laatste week van de teelt met belichting 12 uur.



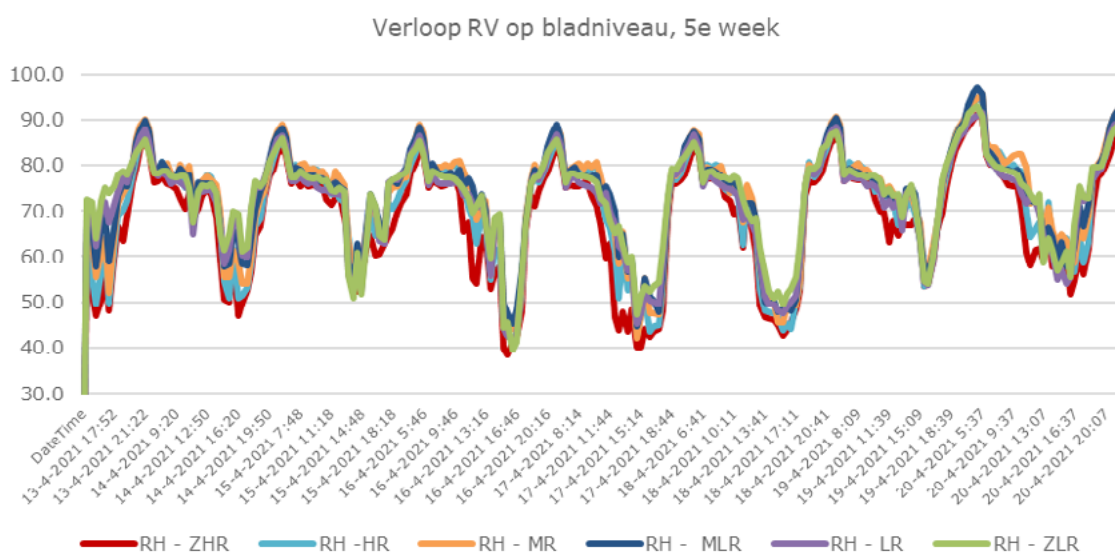
**Figuur 18** Verloop bladtemperatuur in de 7e meetweek bij de behandeling 12 uur belichting.

Hieruit is af te lezen dat de temperatuur van het blad bij alle behandelingen een vergelijkbaar verloop laat zien. Er zijn kleine verschillen tussen de behandelingen: "Laag Rood" ligt overdag iets hoger dan de rest van de behandelingen, mogelijk omdat het de behandeling is met het hoogst aandeel blauw licht in het spectrum (21%) die een hogere energiewaarde heeft, "Zeer Laag Rood" iets lager; omdat dit verschil soms ook 's nachts dezelfde trend vertoont, is het mogelijk het gevolg van de positie van de sensor in de kas. Over de hele week is de gemiddelde bladtemperatuur 0.7°C hoger in de "Laag Rood" (23.3°C) dan in de "Zeer Laag Rood" (22.5°C) behandeling. De overige behandelingen zitten ertussenin met een gemiddelde bladtemperatuur voor dezelfde week dat varieert tussen 22.7 en 23.2°C.

### 3.4.5 Verloop relatieve luchtvochtigheid op bladniveau

In de kas werd de RV op niveau gehouden door te vernevelen; de veranderingen op bladniveau zijn bijgehouden door de aan de HEX-PAM gekoppelde sensor. Als voorbeeld voor het verloop in de tijd en de verschillen tussen behandelingen, hebben wij voor alle behandelingen de 5<sup>e</sup> week van de eerste teelt (12 uur belichting) genomen (Figuur 19). Over deze week varieerde de gemiddelde blad RV bij alle behandelingen tussen 68 (behandeling ZHR) en 73% (MR en ZLR).

De RV op bladniveau varieerde gedurende het etmaal; in de nacht bij lampen uit liep het op tot rond de 90%, en daalde licht, tot ca. 80%, vanaf het moment dat de lampen aan gingen tot enkele uren daarna, waarna een scherpe daling volgde; op zulke momenten kon het zakken tot 40%. Meestal was deze daling ook zichtbaar in de meetbox in de kasafdeling ondanks dat er flink verneveld werd om de RV op 75-80% te houden; op warme dagen werd ook de kas gekoeld, wat ook een drogend effect had. Het dieptepunt in RV op bladniveau was een daling tot 30% op 27-04 in alle behandelingen; dit was op een dag dat de kas RV ook gedaald was tot 30% door een storing in de verneveling. Tijdens de momenten waarop de RV blad heel laag was, was er een tijdelijke verlaging van de efficiëntie van de fotosynthese zichtbaar met de CF apparatuur, aannemelijk is dat dit het gevolg is van kortstondige droogte; deze verlaging was nauwelijks waarneembaar bij de "Laag Rood" en "Zeer Laag Rood" behandelingen (zie Bijlage 3), met de meeste FR licht. Mogelijk duidt dit op een lagere gevoeligheid voor uitdroging door het gewas onder verhoogd FR. Een verhoogde tolerantie voor droogtestress is een van de effecten die aan lage R:FR verhoudingen zijn toegeschreven (Demotes-Mainard, 2016; Ouedraogo, M., Hubac, C., 1982). Dit vraagt om verder onderzoek met meerdere cultivars: er zijn immers behoorlijke verschillen in hoe cultivars reageren op (kortstondige) veranderingen in het vochtgehalte in de kas (Pot *et al.* 2015; Trouwborst *et al.* 2019).



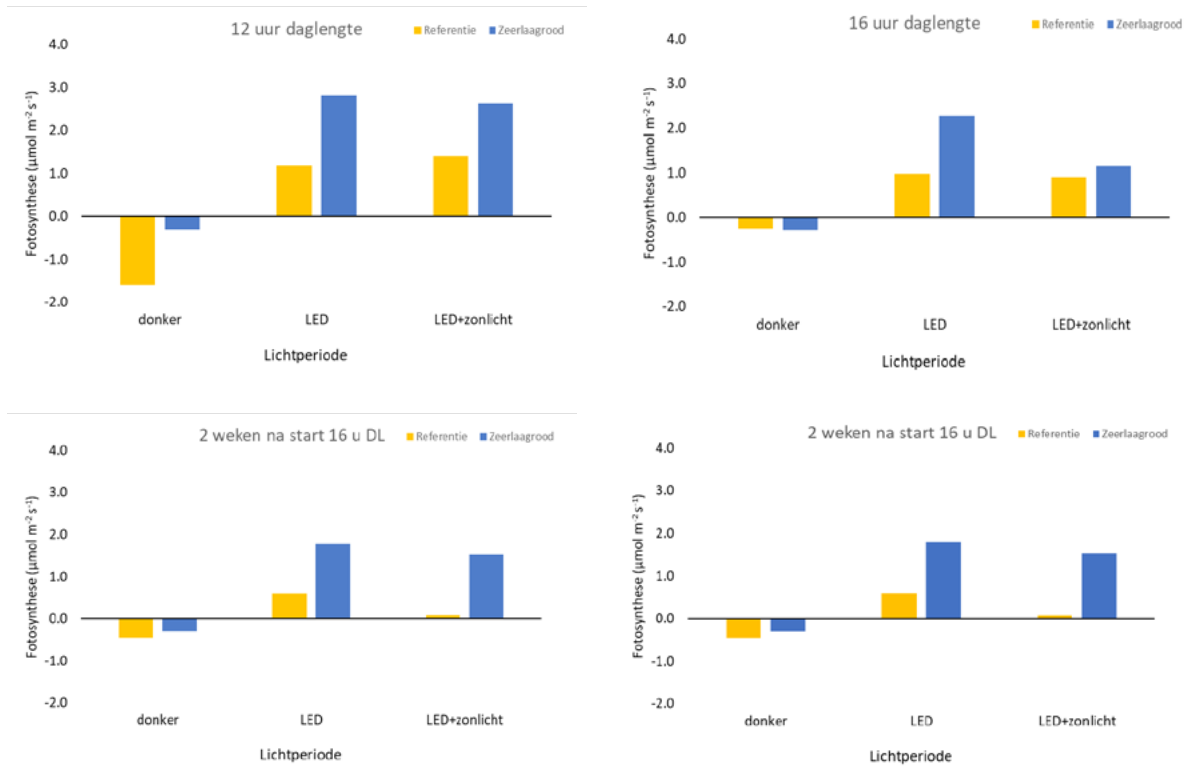
**Figuur 19** Verloop blad RV in de 5<sup>e</sup> meetweek bij de behandeling 12 uur belichting.

### 3.4.6 Fotosynthese en respiratie bij verandering van daglengte

In dit paragraaf wordt een deel van de resultaten getoond van de aanvullende fotosynthese metingen. Deze zijn verkennende 24-uurs metingen gedaan met de fotosynthese meter (Li-Cor) in de dagen rondom de overgang van 12 naar 16 uur belichting (zoals toegelicht in 2.5.7.)

De grafieken hieronder vatten de gemiddelde fotosynthese samen voor de drie onderscheiden periodes van de dag: de donker periode ("Donker"), de uren waarop alleen de LED lampen aan zijn, ("LED") en de uren waarop de LED lampen aan zijn en beperkt natuurlijk licht door de schermen op de planten valt ("LED+zon"). Uit de metingen wordt duidelijk dat bij 12 uur er meer respiratie is bij de behandeling Zeer hoog rood, en minder fotosynthese overdag, ongeacht of het met alleen de lampen of met lamp en zonlicht wordt belicht. Dat er overdag meer fotosynthese is bij de behandeling Zeer Laag Rood, met 34% FR (en R:FR =0.6), kan mogelijk verklaard worden een betere benutting van het licht door het blad bij lagere lichtniveaus, of kan het gevolg zijn van het eerder genoemde "Emerson Enhancement Effect" (Barceló, 1986, Emerson, 1957) waarbij bij simultaan belichten met FR en rood licht, beide fotosystemen (fotosysteem 1 en fotosysteem 2) beter samenwerken en elkaar versterken.

Op de eerste 24 uur waarin de lampen eerder aan gaan (4 uur eerder, 16 uur daglengte), is de respiratie bij de Referentie behandeling (Zeer Hoog Rood of R:FR=85), heel laag, mogelijk omdat het donkerperiode korter is. Desondanks is de fotosynthese gemiddeld hoger in de behandeling Zeer Laag Rood, (R:FR =0.6); een week na de overgang is dit patroon omgekeerd, en 2 weken na de overgang is er nog nauwelijks fotosynthese bij de Referentie behandeling (Zeer Hoog Rood of R:FR=85). Het is niet duidelijk of dit te maken heeft met schade aan het fotosysteem of met andere oorzaken; daar zijn de metingen iets te beperkt voor geweest.



**Figuur 23** Gemiddelde fotosynthese in de drie onderscheiden periodes van de dag bij, boven links 12 uur daglengte, boven rechts direct na de overgang naar 16 uur daglengte, onder links een week na de start van de 16 uur daglengte, en onder rechts twee weken na de start van de 16 uur belichting.

Het verloop van de fotosynthese en de huidmondjes opening gedurende de meetdagen is getoond, toegelicht en bediscussieerd in Bijlage 5. Het zijn beperkte metingen uitgevoerd aan een beperkt aantal behandelingen (2) en planten (4 per behandeling). De waarnemingen roepen veel vragen op, en maken duidelijk dat meer metingen nodig zijn om te kunnen verklaren of het gaat om incidentele reacties op ander klimaatfactoren dan belichting en tijdstip van belichting alleen, of om een patroon dat zich dagelijks herhaalt. In dat laatste geval, zou het bijdragen aan een verklaring van de waargenomen plantreacties, zoals steelstrekking, chlorofyl afbraak en verergering van de bovengenoemde symptomen bij langere dag.

## 4 Discussie

De resultaten van de verschillende plantreacties worden hieronder samengevat en besproken in relatie tot de geformuleerde hypothesen en waar beschikbaar, tot wat in de literatuur is beschreven.

Tabel 10

Voor de leesbaarheid, zijn hieronder in Tabel nogmaals de behandelingen vermeld.

	Spectrum	Aandeel	Aandeel	R:FR	G:B	Lamp lichtsom dag 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ PFD	
		R % (601-700)	FR % (701-800)			PAR	PFD
referentie	zeer hoog rood	85	1	85.0	0.8	8.6 / 11.5	8.6 / 11.5
	hoog rood	68	12	6.4	1.4	7.6 / 10.1	8.6 / 11.5
	medium rood	56	19	2.9	1.5	7.0 / 9.3	8.6 / 11.5
	medium-laag rood	42	27	1.5	1.6	6.5 / 8.4	8.6 / 11.5
Dag licht	laag rood	25	25	1.0	1.2	6.3 / 8.5	8.6 / 11.5
Jungle schaduw	zeer laag rood	19	34	0.6	1.4	5.7 / 7.6	8.6 / 11.5

### 4.1 Strecking en plantvorm

De onderlinge plantvariatie is groot, waardoor niet alle resultaten tot een even sterke statistische significantie leiden. Er zijn verschillende redenen voor deze variatie:

- De planten waren heel heterogeen al bij binnenkomst; deels doordat het om halfwas planten ging, en deels omdat de natuurlijke variatie binnen een partij groot is (elke plant bestaat ook nog uit twee oorspronkelijke plantjes die samen in een pot zijn gezet).
- De metingen zijn gedaan aan in totaal twintig gemerkte planten per behandeling; 10 zijn automatisch en 10 handmatig gemeten, en daardoor konden de gegevens niet worden samengevoegd tot 1 pool van 20 planten, maar blijven in twee pools van 10 planten.
- Het is bekend dat frequente aanraking van planten in het algemeen (thigmotropisme) groeiremming geeft (Carvalho *et al.* 2008). De mate waarin varieert afhankelijk van het gewas. Er zijn geen gegevens gevonden die specifiek op potanthurium betrekking hebben.

*In een eventueel vervolg onderzoek, is het aan te bevelen om meer planten te meten om de onderlinge variatie beter op te vangen. Of bij de start planten te sorteren op uniformiteit.*

Ondanks deze hoge onderlinge variatie en de korte duur van de uitgevoerde proeven, (2x 7 weken teelt in de laatste fase van de commerciële teelt), is er wel een lijn uit te halen uit de verschillen die wel significant zijn gebleken.

Bij zowel het referentiespectrum zonder FR (R:FR van 85) als (voor sommige kenmerken) bij het spectrum met een R:FR van 6.4 is er extra bloem- en bladsteelstrekking gemeten. Er was zowel een langere bloemsteel en bladsteel als (soms) langere internodiën.

Bij de vier spectra met een F:FR verhouding onder 3, is de strekking beheerst gebleven ongeacht de manier waarop de planten beoordeeld en gemeten zijn: handmatig of automatisch, wekelijks of destructief aan het einde van de 7 weken teelt, en ongeacht of de planten gedurende 12 uur per dag of gedurende 16 uur per dag werden belicht in een achtergrond van beperkt daglicht (ca. 0.5-2 Mol PAR per dag).

**De resultaten bevestigen de vooraf geformuleerde hypothese nr. 1: dat bij schaduwplanten, met als voorbeeld *potanthurium*, door een spectrum met een lage R:FR verhouding zoals het heerst onder de schaduw van natuurlijke vegetatie, bloem en blad strekking beheerst kunnen worden.**

De resultaten lijken tegenstrijdig met de algemene kennis over effecten van lage R:FR verhouding waarbij een lage R:FR verhouding juist tot strekking leidt. Dit is bekend als "Shade avoidance syndroom" of SAS, en is over het algemeen gereguleerd door Fytochroom (PHY) één van de plantmoleculen die het licht kunnen waarnemen. Het moet benadrukt worden dat deze kennis veelal is opgedaan bij licht minnende, tweezaadlobbige gewassen, vaak met *Arabidopsis* als modelgewas voor de diepere, moleculaire reacties ontketend door licht. Inmiddels zijn er verschillende Fytochromen beschreven, maar ook andere licht gevoelige moleculen zoals cryptochromen zouden betrokken zijn bij verschillende reacties, soms antagonistisch tot elkaar. Het signaal vanuit de fytochroom leidt in veel gevallen tot veranderingen in de hormonale verhoudingen, en het is bekend dat Gibberelline (GA) en Auxine (IAA) beide betrokken zijn bij strekkingsprocessen.

In de fotobiologie, worden de lichtreacties van planten in drie type ingedeeld: VLFR (Very Low Fluence Response) en FR-HIR (Far-Red High-Irradiance Response) gestuurd door PHYA, een licht-instabiel fytochroom, and LFR (Low Fluence Response) meestal gestuurd door PHYB, een licht-stabiele fytochroom.

De VLFR en LFR leiden bij licht minnende gewassen tot strekking; een typische reactie van planten onder lage lichtintensiteiten omdat ze bij voorbeeld te dicht op elkaar staan. Door de planten wijder te zetten en soms ook door de ontwikkeling te verlagen door lagere teelttemperaturen in te stellen, is deze strekkingsreactie te controleren.

Volgens die reactie, hadden planten onder de spectra met een lage R:FR verhouding (FR toegevoegd) in deze proef meer moeten strekken, maar het tegenovergestelde is gebeurd.

Von Wettberg en Schmitt (2005) onderzochten licht minnende en schaduw geadapteerde *Impatiens* genotypen en kwamen met de hypothese dat onder schaduw genotypen, de licht-labiele PHYA reageert op FR licht met een "high irradiance response" (FR-HIR) dat remt strekking, antagonistisch tot de SAS reactie in de licht minnende genotypen. Hun resultaten lijken dit te bevestigen, maar bewijs voor de moleculaire reacties is niet gevonden in hun onderzoek.

Waar men wel over eens is, is dat de regulatie van strekking heel complex is, en afwijkend bij schaduw geadapteerde planten, voor wie het geen competitief evolutionair voordeel oplevert om te strekken om in het licht te komen.

De resultaten van het verloop van de strekking laten zien dat het strekkingsritme anders is bij de verschillende behandelingen. Bij de twee behandelingen met FR met R:FR verhouding van 1.5 en 2.9, geeft het langzamere strekkingsritme in vergelijking met de referentie behandeling (zonder FR in het spectrum) de indruk dat het mogelijk alleen een kwestie van tijd is (of van totale lichtsom) waarna de stelen ook gestrekt zijn. Echter, bij de behandelingen met een R:FR verhouding onder de 1.0 (de laatste 2 behandelingen) is de curve van de strekking zodanig vlak, dat het ook bij langere tijd en dus hogere lichtsom vermoedelijk niet tot een gerekte plantvorm zal leiden.



## 4.2 Bloei, groei (biomassa toename)

Door het toevoegen van FR licht aan het spectrum bij gelijke totale flux aan fotonen daalt automatisch de hoeveelheid licht in het zichtbare deel van het spectrum, de zogenoemde Fotosynthetische Actieve Straling of PAR. Verwacht zou kunnen worden dat de groei als toename van biomassa, of de bloei (aantal bloemen en grootte van de bloemen) eronder leidt. Gedurende deze korte proef was dat niet het geval:

- Er was geen significant verschil in aantal bloemen tussen de behandelingen (wel een klein verschil in het aantal bloemen als "gezien" door de Plantalyser van boven).
- Er was geen significant verschil in de grootte van de bloemen bij de 12 uur belichting, en een klein verschil (in het voordeel van de behandelingen met de laagste R:FR) in grootte van de bloemen.
- Er was geen significant verschil in aantal bladeren of in bladoppervlakte in de destructieve metingen (wel een klein verschil in de geprojecteerde bladoppervlakte als "gezien" door de Plantalyser van boven in het voordeel van de behandeling met de laagste R:FR).
- Er is geen significant verschil in het versgewicht noch het drooggewicht tussen de planten uit de verschillende behandelingen gemeten, in zowel de 12 als de 16 uur belichting.

Voor het ontbreken van groeiverschillen tussen de spectrum behandelingen zijn drie verklaringen mogelijk:

1. Duur en fase van de teelt: De duur van de teelt is te kort voor een relatief langzaam groeiend gewas als potanthurium; de fase waarin we de planten in het onderzoek hebben genomen is al zodanig gevorderd, dat de planten al de meeste bloemen en bladeren hebben aangelegd. Dit is een zeer aannemelijke verklaring voor de waarnemingen t.a.v. bloei en aantal bladeren.
2. Bij een hogere lichtintensiteit daalt het rendement van de fotosynthese (Pot *et al.* 2015).
3. De plant "compenseert" het verlies aan PAR met een efficiëntere fotosynthese als gevolg van de toegevoegde FR (het eerder genoemde Emerson Enhancement effect, Emerson, 1957).

Met als aanvulling op deze data, de waargenomen effecten op de fotosynthese efficiëntie, wordt verklaring 3 de meest aannemelijke. In dat geval zou bij een langere teeltduur, meer groei verwacht kunnen worden bij de behandelingen met meer FR (lage R:FR) dan bij de behandelingen met minder FR (Hoge R:FR).

*Het is interessant om een dergelijke proef (met minder spectra) uit te voeren gedurende een volledige teelt (36-40 weken afhankelijk van ras en potmaat).*

Wel was er een duidelijk verschil in versgewicht toename tussen de planten die belicht werden gedurende 12 of gedurende 16 uur. De toename in plantgewicht gedurende 7 weken was 68% bij de 12 uur belichting (ca. 421 Mol licht totaal PFD -als lamp licht; natuurlijk licht niet mee gerekend) en 92% bij de 16 uur belichting (ca. 563 Mol licht totaal PFD). Grof gerekend, in beide ca. 0.16% groei per mol licht als totaal PFD. Een langere dag levert dus evenredig meer groei in toename van vers/ drooggewicht.

Een belichtingsduur van 16 uur lijkt interessanter voor een teler indien het zo is dat ongeveer evenredig meer groei gerealiseerd kan worden; met de gedachte aan een fossielvrije teelt, waarbij elektra duurzaam geproduceerd kan worden maar warmte niet, dan is het interessant om de warmte van de lampen langer te kunnen benutten.

## 4.3 Bladkwaliteit

Een belichtingsduur van 16 uur kan tot evenredig meer groei leiden als 12 uur. Dat is gunstig voor een snellere teelt (tijd tot aflevering). Uit eerder onderzoek is het ook gebleken dat met meer uren licht tot meer groei en meer bloemen leidde (Van Telgen *et al.* 2005), en dat een kortere dag niet zinvol leek om de CO<sub>2</sub> opname per dag te verhogen (Pot *et al.* 2015).

Er blijken echter ook ongewenste effecten op bladkwaliteit op te treden bij belichten 16 uur met de gebruikte LED spectra, die niet of nauwelijks zijn voorgekomen bij 12 uur belichting (een enkele plant): in het bladmoes ontstaan geel/oranje ronde vlekken. Dit verlaagt de sierwaarde aanzienlijk, omdat het de planten een "ziek" uiterlijk geeft.

De ernst van deze afwijking (als aantal planten met vlekken per behandeling) varieerde tussen de behandelingen, waarbij hoe lager het R:FR, hoe lager het aantal aangetaste planten.

Er lijkt dus een relatie te zijn tussen de daglengte en de kans op schade enerzijds, en tussen het spectrum (de R:FR) en het optreden van bladvlekken.

Hoewel het vermoedelijk om chlorofyl afbraak gaat, (PHY B reguleert ook het gehalte aan chlorofyl), is het ons niet gelukt om middels SPAD metingen (een colorimetrische, niet destructieve maat voor het gehalte aan chlorofyl), noch met destructieve laboratorium metingen een verschil in chlorofyl tussen bladeren uit verschillende behandelingen aan te tonen. Ook is geen significant verschil gemeten in het gehalte aan carotenoïden, geel-oranje pigmenten die ook in staat zijn om licht te oogsten voor de fotosynthese en aan wie een rol is toegeschreven in de bescherming van chlorofyl tegen oxidatie en ontkleuring. Het gemiddelde gehalte gemeten chlorofyl a+b correleert negatief ( $r = -0.7$ ) met het gemiddelde carotenoïde gehalte in blad. De verhouding van de gehalten Chlorofyl: carotenoïden lijkt hoger in "gezonde" bladeren dan in bladeren met schade, en was het laagst in deze metingen bij de behandeling "Zeer Hoog Rood" zonder FR.

Met deze informatie kunnen we niet verklaren hoe de vlekken ontstaan, en wat ze ons vertellen over de plantstatus of het spectrum van de belichting. Geven ze een teken van een overmaat aan licht? overmaat aan een bepaalde golflengte? aan een te lange dag? Daar de planten onder zomercondities geen bladvlekken laten zien bij 16 uur natuurlijk licht (en langer), en ook niet bij relatief hoge licht intensiteiten (in ieder geval boven de  $200 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$  waarmee we met de lampen belichten) is het aannemelijk dat het gaat om een overmaat aan een specifieke lichtkleur versterkt door de lange blootstelling.

De vlekken waren ook waargenomen gedurende de eerste winterteelten in de Fossielvrije Demo afdeling Kas2030. Op basis hiervan was de tweede hypothese opgesteld voor het onderzoek waar dit rapport over gaat, dat we met een spectrum met een R:FR verhouding (en / of een G:B verhouding) die meer lijkt op de verhoudingen in een habitat met natuurlijke vegetatie schaduw, bladschade verminderd zou kunnen worden.

De hypothese is met dit onderzoek bevestigd.

De opgestelde verklaring van de hypothese luidde als volgt: chlorofyl absorbeert vooral rode en blauwe golflengtes; blauw en groen licht wordt deels opgevangen door carotenoïden. Om minder rood licht en meer groen licht te absorberen, en wellicht om een deel van overtollige energie uit het rode licht te kunnen reflecteren, zou de plant de verhouding tussen de pigmenten zodanig aanpassen dat het blad in eerste instantie vergeelt en op een gegeven moment oranje kleurt. Er is een verschuiving waargenomen in de gemeten gehalten aan pigmenten; echter dat dit het optreden van de vlekken verklaart is niet zeker.

Een betere meetmethode, niet destructief, zou betere en frequentere metingen mogelijk maken. Hiertoe zouden de hyperspectrale metingen van chlorofyl en carotenoïde zoals uitgevoerd door Dieleman *et al.* 2018, interessante mogelijkheden bieden om tot een verklaring van deze effecten te komen.

Om dit soort effecten te begrijpen is het aan te bevelen in vervolg onderzoek om ook te kijken naar andere fotoreceptoren, zoals zij die vooral blauw licht absorberen (cryptochroom, fototropines en zeaxantine) en zij die groen licht absorberen. Een mooi overzicht van verschillende fotoreceptoren en hun beschreven effecten op fotomorfogenese (door licht beïnvloede plantvorm/ plantprocessen) is door Dieleman *et al.* 2020 samengesteld in het rapport Denkkader licht. Bij voorbeeld Cryptochroom, waarvan het bekend is dat het bewegingen van chloroplasten stimuleert, waar het chlorofyl aan vast zit. Ook is het cryptochroom gevoelig voor blauw en groen licht, op een manier dat lijkt op de fytochroom reacties voor R en FR licht, en reacties kan veroorzaken zoals de Shade Avoidance reactie.

Dit geeft de enorme complexiteit van de waargenomen plantprocessen weer.

## 4.4 Daglengte effecten

De derde opgestelde hypothese vooraf was dat het aanhouden van een langere dag (16 uur) onder de verschillende spectra, tot een versterking van de effecten op bloemstrekking en schade aan het blad zou veroorzaken dan een kortere dag (12 uur).

Zoals eerder vermeld, was er bij zowel het spectrum "Zeer Hoog Rood" zonder FR (R:FR van 85) als bij het spectrum "Hoog Rood" met een R:FR van 6.4 is er extra bloem- en bladsteelstrekking gemeten dan bij de andere behandelingen, en was er beduidend meer strekking bij 16 uur dan bij 12 uur.

Bladvlekken zijn praktisch afwezig geweest in de teelt waar de belichting gebruikt werd gedurende 12 uur, maar wel in de teelt waar belicht werd gedurende 16 uur.

Hiermee is de derde hypothese ook bevestigd.

Deze resultaten moeten gezien worden in een breder kader omdat ze niet een geïsoleerd effect aan het licht brengen. In tegendeel: verschillende vormen van bladschade zijn in recent onderzoek ook met andere gewassen waargenomen bij blootstelling aan LED gedurende lange dag van 16-17 uur (Hogewoning, 2020; Hogewoning, 2021; Dieleman *et al.* 2022). Het verrassende is dat het gaat om lichtminnende, daglengte neutrale gewassen (paprika, aubergine, tomaat, Alstroemeria) die met natuurlijk daglicht probleemloos zeer lange dagen kunnen verdragen. De interacties tussen spectrum en daglengte bij zulke gewassen zijn op het moment van schrijven van dit rapport, onderwerp van onderzoek, zie bijvoorbeeld <https://www.kasalsenergiebron.nl/onderzoeken/e21007-fundamentele-kennisontwikkeling-led-belichting-voor-praktische-toepassing-in-de-kas-deel-2/>.

Het is belangrijk om de mechanismes achter deze interacties te ontrafelen en te ontleden. Enerzijds kan het, om energiezuinig en effectief te belichten, interessant zijn dat een kortere dag betere resultaten geeft. Anderzijds kan belichten gedurende een langere dag voordelen geven. In dit onderzoek bij voorbeeld leverde 16 uur belichten evenredig meer groei (zie 4.2) dan belichten gedurende 12 uur. Een langere dag levert dus een toename van vers/ drooggewicht en daardoor teeltversnelling. Voor een teler interessant voor een snellere doorloop en een hoger rendement. Een langere dag kan ook voordelen bieden in een fossielvrije teelt bij koud weer omdat het een langere benutting van de warmte van de lampen mogelijk maakt. Dit heeft zin mits de stroom duurzaam geproduceerd / ingekocht kan worden en niet beperkt is. Een langere dag zou best alleen mogelijk kunnen zijn indien het toegepast kan worden met een spectrum dat niet tot schade leidt. In dit onderzoek was het duidelijk dat 16 uur belichten met R:FR van 6.4 of hoger leidt tot te veel strekking en te veel bladvlekken.

Bij de vier spectra met een F:FR verhouding onder 3 echter, is de strekking beheerst gebleven ongeacht of de planten gedurende 12 uur per dag of gedurende 16 uur per dag werden belicht. Ook het aantal planten met bladvlekken is aanzienlijk lager onder de spectra met meer FR. Onduidelijk is wat is de rol van blauw en groen licht hierin.

Duidelijk is dat belichten met een spectrum met een F:FR verhouding onder 3 perspectief biedt voor langer belichten dan 12 uur zonder strekking en met minder schade aan het blad.

Een ontbrekend aspect in deze discussie, is de DLI (daglichtsom). Nu is alles bij 200 micromol geteeld wat door het verschil in daglengte, een verschil in lichtsom oplevert. Vanuit het perspectief van absoluut energiegebruik is het interessant om te weten, of bij gelijke electra input (gelijke DLI) verschillen te verwachten zijn tussen langere dag met lagere lichtintensiteit en kortere dag met hogere lichtintensiteit. Waarschijnlijk zou niet de evenredige toename in gewicht (die we in dit onderzoek hebben gevonden). Op de strekking zou de verwachting zijn, gebaseerd op eerder onderzoek (Van Telgen *et al.* 2004), dat de daglengte een groter invloed heeft dan de intensiteit. Maar wat zou het effect zijn op problemen met bladvlekken? En hoe zou dan het spectrum doorheen spelen? Ook dit zijn vragen die met andere gewassen momenteel onderwerp zijn van onderzoek.

## 4.5 Fotosynthese

De fotosynthese-efficiëntie metingen die gedaan zijn met behulp van CF, suggereren dat de efficiëntie van het PSII het laagst is in de behandeling 'Zeer Hoog Rood', en dat de hoogste efficiëntie wordt behaald bij behandeling "Zeer Laag Rood", gevolgd door de behandeling "Medium Rood", en het laagst bij de behandeling "Zeer Hoog Rood".

Een hogere efficiëntie bij de behandelingen met veel FR licht zou wijzen op een 'Emerson Enhancement Effect' (Barceló *et al.* 1986; Snel, J., pers. comm., Emerson, 1975), waarbij fotosysteem 1 naar verhouding meer licht absorbeert dan fotosysteem 2 en daardoor harder werkt. Daardoor zal fotosysteem 2 efficiënter werken. Hogere efficiëntie kan ook het gevolg zijn van een lage PAR, wat uiteindelijk kan leiden tot een lagere assimilatie. De verkennende metingen die gedaan zijn met de fotosynthese apparatuur lijken dit echter tegen te spreken, daar de gemiddelde CO<sub>2</sub> vastlegging bij de fotosynthese overdag hoger was bij de behandelingen met lage PAR (vanwege het toegevoegd FR) en de respiratie s' nachts lager. Een lagere respiratie door een hoger aandeel FR kan tot een verlaging van de totale verdamping leiden; lagere verdamping is waargenomen in praktijkproeven onder LED spectra met toegevoegd FR (pers. comm. M. van Twist, pers. comm. P. Geelen) in de uren dat er niet belicht wordt.

Onze beperkte metingen (telkens 24 uur metingen aan dezelfde plant in de periode van de overgang van 12 naar 16 uur belichten) laten patronen zien die aanleiding geven om intensivering van deze metingen: In de eerste uren na aangaan belichting is de fotosynthese gelijk op hoog niveau en constanter dan de rest van de dag. Dit is ook waargenomen in metingen in de praktijk onder SON-T belichting (pers. comm. M. van Noort) bij situaties waarin de lampen al om 00:00 aan gingen. De rest van de dag, zou de fotosynthese vooral afhankelijk zijn van de VPD; bij lage VPD hele lage fotosynthese. Dit zagen wij in deze metingen ook: in de "Zeer Hoog Rood" behandeling zie je hoge fotosynthese bij de start van de dag, maar na enkele uren daalt het tot het niveau van de "Zeer Laag Rood" behandeling of lager, doordat de huidmondjes sluiten, wellicht als gevolg van een lagere VPD in de kas onder invloed van een beetje daglicht, koeling of vernevelingsacties. Een lagere gevoeligheid voor droogte stress is een van de beschreven effecten van FR licht (Demotes-Mainard, 2016), die we hier ook menen te hebben waargenomen.

Recent is in de praktijk (pers. comm. M. van Twist, pers. comm. P. Geelen) een lagere verdamping waargenomen bij toevoeging van FR aan het LED spectrum dan bij spectra zonder FR. Dat lijkt in overeenstemming met de huidmondjes gedrag als door ons gemeten. De gemeten huidmondjes openingen zijn hier wel zeer laag, ongeveer de helft van wat door Pot *et al.* 2015 is vastgesteld als "een minimale huidmondjesopening voor maximale CO<sub>2</sub>-opname".

Dit zijn waarnemingen die vragen om meer metingen, om te kunnen verklaren of het gaat om incidentele reacties op andere klimaatfactoren, of om een patroon dat zich dagelijks herhaalt en wellicht verklaart sommige van de waargenomen plantreacties, zoals steelstrekking en chlorofyl afbraak.

Het verdient aanbeveling om in het vervolg aandacht te besteden aan het verloop van de verdamping (middels een porometer, of weeggoten zoals door Trouwborst *et al.* 2019, is gedaan, eventueel aangevuld met een tool als de stomatasensor). Voor dat laatste, stomatasensor, kan het nodig zijn de IR straling (al het licht boven 700 nm, waarvoor het FR het overgangsgedrag vormt tussen het R en het IR) te meten, daar uit het onderzoek van Trouwborst *et al.* deze waarde heel bepalend bleek voor de energiebalans, wat een belangrijke inputwaarde is voor het stomatasensor model).

## 4.6 Vertaling naar andere gewassen

Het onderzoek is uitgevoerd met potanthurium. Een terechte vraag is dan, hoe deze resultaten zich laten vertalen naar andere gewassen. Helaas is er geen pasklaar antwoord op te geven en het was niet het doel om andere gewassen onder de verschillende spectra te testen. Desondanks hebben wij hierin wat verkenningen gedaan:

1. Planten uit een potplantenproef (twee *Schefflera* en twee *Monstera*) zijn tussen de potanthurium in het midden van de tafel onder iedere behandeling geplaatst. Dat is zo weinig informatief dat we daar geen metingen van hebben gedaan, ze zijn alleen visueel beoordeeld door de begeleidingscommissie van de potplantenproef; hieruit leek het spectrum met de behandeling Hoog Rood (R:FR 6.4) tot het beste compromis te leiden tussen groei en bladkleur.

2. M.m.v. een potplantenbedrijf zijn na het aflopen van de potanthurium teelt oriënterend enkele andere tropische gewassen, zowel schaduw tolerante als licht tolerante gewassen, en zowel monocotylen als dicotylen, onder deze spectra geplaatst. Wat indrukken uit deze beoordelingen:
- *Monstera*: is het meest aan potanthurium verwant, maar het is geen bloeiend gewas. Is lichttolerant mits het licht diffuus is. Indruk dat het niet al te negatief reageerde op het spectrum met R:FR 85 met overmatige strekking; het positiefst reageerde het op de "middelste spectra" (R:FR 1.5 tot 6.4):
    - de minste strekking is waargenomen bij de behandeling Hoog Rood (R:FR 6.4);
    - de meeste groei in de Medium Laag Rood (F:FR 1.5)
  - *Nephrolepis*: is een varen, schaduw- en vocht minnend. Was op zich goed te telen onder alle spectra, met niet al te grote verschillen tussen spectra in zowel biomassa toename als in plantvorm.
    - de verhouding lengte/ breedte was het minst mooi bij de behandeling Zeer Hoog Rood (R:FR 85) en het mooist bij de behandeling Medium Laag Rood (R:FR 1.5)
    - onder het Zeer Hoog Rood licht (R:FR 85) oogden de planten minder fris en minder groen maar meer oranjeachtig.
  - *Ficus*: dicotyl, voorkeur voor diffuus licht. Duidelijke tegengestelde reactie t.o.v. potanthurium. Toenemende strekking vanuit de internodiën en afnemende groei met afnemend R:FR verhouding, zoals het bekend is bij licht minnende gewassen
  - *Dracaena*: monocotyl, schaduw en droogte tolerant. Groeide goed in alle spectra, met uitzondering van de Zeer Hoog Rood licht (R:FR 85) waar de variegatie rood/ oranje werd in plaats van geel.

Deze observaties geven onvoldoende aanleiding om de resultaten van potanthurium te generaliseren naar andere gewassen; wel lijkt het wenselijk dat de te gebruiken belichting in ieder geval wat FR licht bevat, voor een aantal gewassen zou de R:FR verhouding van 6.4 al voldoende kunnen zijn. Dat verklaart wellicht waarom veel van deze gewassen goed te telen zijn met SON-T belichting.

Wel is het aan te bevelen om in vervolg onderzoek te kijken naar planten waar in de praktijk met SON-T belichting of in praktijk proeven met LED strekkingsproblemen of bladkwaliteit problemen worden waargenomen.



## 5 Conclusies

In deze twee korte proeven van 7 weken (ieder bij een andere daglengte), onder wintercondities (d.w.z. in een achtergrond van beperkt daglicht (ca. 0.5-2 Mol PAR per dag)) met potanthurium planten in de laatste fase van de teelt is het gebleken dat

- De strekking van zowel bloemstelen als van blad stelen, en daarmee de plantvorm en
- de bladkwaliteit (als het optreden van geel/oranje bladvlekken) zijn te beïnvloeden met het spectrum van de LED belichting.

Anders dan bekend uit onderzoek met schaduw ontwijkende gewassen, waarbij een groot aandeel FR licht in het spectrum tot strekking leidt, zijn het bij potanthurium, een schaduw gewas, juist de spectra met lage R:FR verhoudingen die geleid hebben tot minder strekking.

Bij de vier spectra met een lage tot zeer lage R:FR verhouding ((verhoudingen, 2.9 tot 0.6), is de strekking beheerst gebleven ongeacht of de planten gedurende 12 uur per dag of gedurende 16 uur per dag werden belicht. Het spectrum van de SON-T belichting, waar eerder ook bloemsteeltrekking in is beschreven, heeft een R:FR van 6.5.

De resultaten bevestigen de vooraf geformuleerde hypothesen dat bij schaduwplanten, met als voorbeeld potanthurium, een spectrum met een lage R:FR verhouding (en / of een Groen:Blauw) verhouding zoals het heerst onder de schaduw van natuurlijke vegetatie, bloem en blad strekking beheerst kunnen worden en bladvlekken kunnen worden verminderd of voorkomen. Ook bevestigen ze de hypothese dat de effecten van een spectrum met hoge R:FR verhouding versterkt worden bij een langere duur van de belichting (16 uur) in vergelijking met 12 uur belichten.

Tussen planten uit de verschillende behandelingen zijn geen significante verschillen gezien in aantal bloemen, aantal bladeren of totaal bladoppervlakte, het versgewicht en ook niet het drooggewicht. Dat, ondanks dat het toevoegen van FR licht aan het spectrum bij gelijke totale flux aan fotonen resulteert in een afname van PAR licht. Mogelijk omdat de plant het verlies aan PAR "compenseert" met een efficiëntere fotosynthese als gevolg van de toegevoegde FR (via het Emerson Enhancement effect). Uit de fluorescentie metingen en de uitgevoerde fotosynthese metingen zijn aanwijzingen gevonden voor deze verhoogde efficiëntie. Ook zijn er aanwijzingen voor een mogelijke verhoogde tolerantie voor droogtestress bij de spectra met lage R:FR verhoudingen.

Bij een deel van de planten was in het geteste "schaduw spectrum" (R:FR = 0.6) een iets groter geprojecteerd bladoppervlak, en grotere bloemen gemeten.

De toename in plantgewicht gedurende 7 weken was groter bij de planten die 16 uur werden belicht. Een langere dag leverde evenredig meer groei als toename van biomassa (versgewicht), maar leidde wel tot de genoemde bladvlekken.

De resultaten bevestigen de vooraf geformuleerde hypothesen. Echter, voor het verklaren van deze effecten is verificatie bij een langere teeltduur (een volledige teelt), verbreding naar minstens een tweede cultivar, en verdieping (op een meer fundamenteel niveau) gewenst.





# 6 Aanbevelingen

Op basis van de resultaten uit dit onderzoek is een goede richting gekomen maar is nog iets te vroeg om een spectrum / intensiteit advies te geven; daarvoor is het volgen en vergelijken van een volledige teelt en meer verdieping wenselijk om beter grip te krijgen op de processen die achter deze reacties schuil gaan. Dit is belangrijk om niet voor elk gewas een aparte "spectrum onderzoek" te moeten uitvoeren. Hieronder wat aanbevelingen voor eventueel vervolg onderzoek en de praktijk.

## 6.1 Voor vervolg onderzoek

- Aanbevolen wordt om behandelingen met FR met elkaar te vergelijken bij zowel gelijke PAR als gelijke PFD, of b.v. gelijke PAR met en zonder verschillende gehalten toegevoegd FR licht om eventuele lage PAR effecten te kunnen onderscheiden van lage R:FR verhouding effecten.
- Door de grote plantvariatie in de kenmerken die worden gemeten, en vooral in de strekking is het aan te bevelen om meer planten te meten per behandeling.
- Na deze oriënterende resultaten om de hypothese te toetsen met korte teelten in de laatste fase van de teelt, is het relevant om een selectie van de spectra te kunnen testen bij een volledige teelt van 36-40 weken, met aandacht voor effecten op b.v. blad en bloemaanleg.
- De lichtsensoren in CF apparatuur zouden beter voor LED gekalibreerd dienen te worden.
- Geadviseerd wordt het absorptiespectrum van het potanthurium blad in het lab te bepalen.
- Aanvullend kan worden geadviseerd om in het vervolg aandacht te besteden aan het verloop van de verdamping (met weeggoten al dan niet i.c.m. een stomatasensor) en netto straling.
- Niet-destructieve, hyperspectrale metingen van chlorofyl en carotenoïde bieden interessante mogelijkheden om het verloop in deze en andere fotoreceptoren van b.v. blauw licht (cryptochroom, fototropines en zeaxantine) en groen licht gedurende de teelt te bepalen.
- De regulatie van strekking en interne klok omvat veel complexe processen. Een master student zou als opdracht kunnen hebben het beantwoorden van aanvullende vragen:
  - Is de bloemsteelstrekking celdeling of celgroei? (Microscopisch onderzoek).
  - Wat is de rol van hormonen? (*Externe toevoeging remt of stimuleert?*)
  - Hoe is de interactie met temperatuur, de rol van water, het moment van watergift?
  - Hoe gedraagt de verdamping zich onder invloed van een lagere r:fr verhouding?
  - Welke genen zijn hierbij betrokken?
  - Staat potanthurium echt model voor andere schaduwgewassen, voor monocotylen, of voor slechts enkele van beide?

## 6.2 Voor de praktijk

Hoewel het te vroeg is voor spectrum advies, het lijkt er echter op, dat als een teler een spectrum van de LED op korte termijn moet kiezen, dat het in ieder geval een hoog aandeel FR licht moet bevatten en minder Rood licht; de R:FR van 2.9 of lager werkte in deze proef goed tegen strekking.

Beperk de daglengte tot maximaal 12 uur voor minder effecten op bladkwaliteit. Dit is vooral een advies bij belichten met SON-T of hybride systemen, met een hoge verhouding R:FR.

In Kas2030 wordt bij wijze van 'grotere proef' een deel van de bestaande belichting vervangen door lampen in een van de 4 spectra die niet tot strekking hebben geleid. Dit in een intensiteit van 200  $\mu\text{mol}$  PFD worden geïnstalleerd; hierdoor kunnen we alvast wat ervaringen opdoen in vergelijking met het spectrum die veel strekking geeft.

Betrek in deze proef ook af en toe andere gewassen waar in de praktijk strekking of bladkwaliteitsproblemen zijn in praktijkproeven met LED.



# Literatuur

- Barceló Coll, J., Nicolás Rodrigo, G., Sabater García, B., Sánchez Tamés, R., 1987.  
Fisiología Vegetal. 4<sup>e</sup> ed. Ediciones Pirámide, S.A., Madrid. ISBN: 84-368-0339-6.
- Carvalho, S., Van Noort, P., Postma, R., Heuvelink, E., 2008.  
Possibilities for producing compact floricultural plants. Rapport 173, Wageningen UR.
- Demotes-Mainard, S., Péron, T., Corot, A., Bertheloot, J., Le Gourriec, J., Pelleschi-Travier, S., Crespel, L., Morel, P., Huché-Thélier, L., Boumaza, R., Vian, A., Guérin, V., Leduc, N., Sakr, S., 2016.  
Plant responses to red and far-red lights, applications in horticulture. Environmental and Experimental Botany 121 (2016) 4–21
- Dieleman, A., Polder, G., Meinen, E., van Arkel, J., Weerheim, K., 2018.  
Klimaat sturen op de inhoud van het blad. Rapport WPR-770, Wageningen UR.
- Dieleman, A., Van Noort, P., Kromwijk, A., 2018.  
Sturen van compactheid met blauw licht en wegnemen van de schemering. Rapport WPR-734, Wageningen UR.
- Dieleman, A., de Gelder, A., Weerheim, K., Kruidhof, M., Verkerke, W., García Victoria, N., Kromwijk, A., Elings, A., de Visser, P., & Janse, J., 2020.  
*Denkkader licht: Naar een effectief gebruik van LED belichting in de glastuinbouw*. Rapport WPR-774. Wageningen UR.
- Dieleman, A., Carpineti, C., Kruidhof, M., Geurts, J., Weerheim, K., 2022.  
Chrysant en alstroemeria: sturen met lichtspectrum. Deelrapport I van het project "LED licht bij zonlicht". Wageningen UR Report WPR-856
- Emerson, R., 1957.  
Dependence of yield of photosynthesis in long wave red on wavelength and intensity of supplementary light. Science. 125: 746.
- Faruq, S., McOwan, P. W., & Chittka, L., 2013.  
The biological significance of color constancy: An agent-based model with bees foraging from flowers under varied illumination. Journal of Vision, 13(10):10, 1–14, <http://www.journalofvision.org/content/13/10/10>, doi:10.1167/13.10.10.
- García Victoria, N. en Driever, S., 2010.  
Teeltsturing potanthurium II, sturen op plantvorm en kwaliteit. Nota 654, Wageningen UR.
- García Victoria, N., 2010.  
Kwantificeren effecten CO<sub>2</sub> dosering bij Anthurium. GTB-1080, Wageningen UR.
- García Victoria, N., 2022.  
Alstroemeria en haar lichtcriteria. Een onderzoek ter ondersteuning van de keuze van een geschikte spectrum van de LED-belichting. WPR-1083, Wageningen UR.
- Hogewoning, S., 2020.  
Aubergine kan nog niet zomaar jaarrond worden geteeld. [www.kasalsenergiebron.nl/nieuws](http://www.kasalsenergiebron.nl/nieuws). 21 januari 2020.
- Hogewoning, S., 2021.  
Onderzoek naar effect lichtspectrum en daglengte bij paprika. [www.kasalsenergiebron.nl/nieuws](http://www.kasalsenergiebron.nl/nieuws). 26 februari 2021.
- Lichtenthaler, H.K.,  
Chlorophylls and carotenoids, the pigments of photosynthetic biomembranes. In: Douce, R. and Packer, L. (eds.), Methods Enzymol. 148, 350-382, Academic Press Inc., New York 1987.
- Ouedraogo, M., Hubac, C., 1982.  
Effect of Far Red Light on Drought Resistance of Cotton *Plant and Cell Physiology*, 23, Issue 7, p.1297–1303
- Pot CS, De Vreede SJM, Trouwborst G, Hogewoning SW. 2015.  
Activeren van de fotosynthese door sturing op huidmondjesopening. Plant Dynamics B.V. & Plant Lighting B.V., Randwijk.
- Slootweg, C., García Victoria, N., 2008.  
Teeltsturing potanthurium, nota 564, Wageningen UR.
- Taiz, L. and E. Zeiger, 2010.  
Plant Physiology. 5th ed. Sinauer Ass. Inc. Pub. Sunderland, MA,.

- Théry, M., 2001.  
Forest light and its influence on habitat selection. *Plant Ecology* 153, 251-261.  
<https://doi.org/10.1023/A:1017592631542>
- Trouwborst, G., Voogt, J., Reijm, P. en Hogewoning, S. 2019.  
Monitoring van huidmondjesopening in de kas: ontwikkeling en validatie. Rapport projectnummer 20089.  
Plant Lighting B.V.
- Valstar R. T., Leman, A. en Pérez Rodríguez, J., 2021.  
Effect of LED lights with different light spectra on foraging behaviour of pollinators (*Bombus terrestris*, *Eristalinus aeneus* and *Eristalis tenax*) with strawberry and buckwheat. Confidential internship report, Wageningen UR.
- Van Noort, F., Kempkes, F. en De Zwart, F. 2011.  
Het nieuwe telen potplanten. Meer licht toelaten bij wijdere temperatuurgrenzen bij een hogere luchtvochtigheid. Rapport GTB-1093. Wageningen UR.
- Van Noort, F., Wanne Kromwijk, Jan Snel, Mary Warmenhoven, Esther Meinen, Tao Li, Frank Kempkes en Leo Marcelis, 2014.  
Grip op licht bij potanthurium en bromelia. Meer energie besparing bij Het Nieuwe Telen Potplanten met meer natuurlijk, diffuus licht en verbeterde monitoring. Rapport GTB-1287, Wageningen UR.
- Van Telgen, H.J., García Victoria, N., Straver, N. 2005.  
Beheersing van strekkingsgroei bij potanthurium. Effect van DIF op overmatige bloemsteelstrekking in een belichte potanthurium winterteelt. PPO nr. 41717067, Wageningen UR.
- Van Telgen, H.J., Straver, N., Van der Hulst, J., García Victoria, N., 2004.  
Bevordering winterbloei bij Anthurium. Effect van belichting op groei en bloei van potanthurium. PPO nr. 41313003/41313007, Wageningen UR.
- Von Wettberg, E.J., Schmitt, J., 2005.  
Physiological mechanism of population differentiation in shade-avoidance responses between woodland and clearing genotypes of *Impatiens capensis*. *Am. J. Bot.* 92, 868–874.
- Warmenhoven, M., Garcia Victoria, N. Van Noort, F., 2012.  
Bladschade bij potanthurium. Rapport GTB 1186, Wageningen UR.

# Bijlage 1 Licht metingen, plattegronden

Behandeling 1									Behandeling 2								
zeer hoog rood									hoog rood								
191	207	229	246	247	240	227	208	208	193	198	226	235	221	228	213	193	183
249	237	263	280	286	278	259	231	244	210	228	251	263	252	253	239	215	195
257	256	286	302	307	300	278	246	246	216	244	266	281	270	266	253	228	212
240	257	283	301	308	302	279	246	238	222	239	260	276	271	261	249	228	212
248	247	263	280	288	282	261	234	237	204	227	241	254	252	247	232	215	195
216	219	237	248	254	251	236	211	213	174	199	213	221	221	218	206	191	178
189	195	209	216	221	217	209	197	190	166	179	187	193	195	191	181	169	162
176	180	193	196	200	199	192	182	175	162	163	171	176	179	175	168	161	160
168	180	189	195	199	197	191	181	181	156	163	170	177	178	176	168	159	163
184	189	201	211	217	212	205	194	199	149	175	182	191	194	190	182	178	161
201	220	223	238	244	240	230	218	204	176	196	209	218	222	218	209	194	182
219	233	250	266	280	273	253	243	221	203	213	231	246	251	243	228	216	198
231	249	273	292	299	296	269	261	233	205	227	243	262	267	260	241	225	204
254	244	269	290	296	291	265	252	224	207	221	241	257	262	253	237	215	197
197	224	246	261	268	263	241	227	204	186	201	219	232	237	227	215	203	179
180	202	211	215	223	217	207	185	178	161	173	185	191	195	188	175	170	149
1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
gemiddelde van tafel						234 $\mu\text{mol}$			gemiddelde van tafel						209 $\mu\text{mol}$		
hoogste intensiteit						308 $\mu\text{mol}$			hoogste intensiteit						281 $\mu\text{mol}$		
laagste intensiteit						167 $\mu\text{mol}$			laagste intensiteit						148 $\mu\text{mol}$		
hoogte lampen						180 cm			hoogte lampen						175 cm		
spectrum%									spectrum%								
		b	g	r	fr							b	g	r	fr		
gewenst		8	6	85	1							8	11	70	11		
resultaat		8	6	84	1							8	12	68	12		

Behandeling 3									Behandeling 4								
medium rood									medium-laag rood								
159	171	185	194	197	189	182	163	154	154	173	186	203	208	203	188	116	159
189	202	218	229	232	223	211	199	174	190	206	225	244	247	240	221	176	161
206	225	242	258	260	250	232	208	191	194	228	249	266	270	262	244	201	174
210	231	249	266	272	260	242	224	200	203	220	246	267	268	260	241	214	186
201	217	238	252	255	245	229	207	194	200	205	226	238	243	235	216	215	185
181	195	211	221	224	218	203	191	175	161	174	192	202	200	198	184	175	171
168	170	182	188	192	187	176	169	159	141	150	163	168	170	166	158	148	132
150	154	163	168	169	166	159	151	147	129	136	147	152	155	150	144	135	138
154	148	156	163	165	162	155	150	143	134	139	148	155	156	154	147	140	125
163	159	169	176	180	176	170	160	150	153	159	167	178	183	175	168	155	130
173	180	192	202	206	204	193	177	158	166	180	198	213	218	208	197	182	159
193	201	221	232	235	234	220	198	181	179	204	227	246	219	241	227	205	169
212	213	236	252	258	253	235	213	191	189	217	241	261	266	257	239	211	181
201	209	235	252	259	251	233	213	195	176	204	226	249	256	243	227	202	191
181	193	216	231	236	228	213	198	178	156	176	195	210	218	204	197	176	170
164	169	186	197	197	192	184	169	154	128	142	155	159	167	160	151	136	158
1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
gemiddelde van tafel						199 µmol			gemiddelde van tafel						191 µmol		
hoogste intensiteit						271 µmol			hoogste intensiteit						270 µmol		
laagste intensiteit						142 µmol			laagste intensiteit						116 µmol		
hoogte lampen						170 cm			hoogte lampen						160 cm		
spectrum%									spectrum%								
			b	g	r	fr							b	g	r	fr	
gewenst			11	17	54	18	gewenst			13			21	40	26		
resultaat			10	15	56	19	resultaat			12			19	42	27		

Behandeling 5									Behandeling 6								
laag rood									zeer laag rood								
144	158	169	181	186	178	159	151	156	131	149	168	182	196	192	182	160	143
163	189	206	225	231	217	195	172	161	148	176	203	228	242	238	218	189	165
178	211	233	255	262	249	217	196	177	162	194	228	257	276	269	245	212	180
181	212	235	255	261	251	219	196	174	167	197	229	257	276	270	246	211	182
162	191	213	228	235	226	199	183	166	163	180	206	228	243	239	220	191	170
147	161	181	193	194	187	170	155	144	139	158	172	187	192	194	181	162	150
132	139	147	154	156	150	145	133	123	121	134	143	151	155	154	146	138	123
117	122	132	137	138	136	129	122	120	113	117	127	131	134	134	128	120	111
125	127	135	141	142	137	130	120	122	111	117	129	136	141	139	133	125	113
139	146	155	167	167	162	151	140	128	125	138	148	161	168	169	159	146	129
159	172	190	204	209	200	179	162	146	139	159	179	200	215	211	197	176	156
184	201	224	241	246	235	209	180	169	172	176	216	242	259	259	237	214	180
188	212	236	257	262	247	218	192	170	187	192	230	258	279	279	253	222	193
175	200	223	241	244	228	202	183	151	155	186	218	240	262	264	240	209	185
144	169	184	197	204	190	170	155	140	127	162	184	200	216	220	199	182	156
118	133	141	145	151	140	131	115	98.3	108	120	141	151	157	161	156	144	142
1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
gemiddelde van tafel						178 µmol			gemiddelde van tafel						182 µmol		
hoogste intensiteit						261 µmol			hoogste intensiteit						278 µmol		
laagste intensiteit						98 µmol			laagste intensiteit						107 µmol		
hoogte lampen						155 cm			hoogte lampen						150 cm		
spectrum%									spectrum%								
		b	g	r	fr							b	g	r	fr		
gewenst		22	26	26	26							20	31	15	37		
resultaat		21	29	25	25							18	29	19	34		





# Bijlage 2 Statistiek destructieve metingen

Teelt 1 (12 uur daglengte)	Summary of SPSS tests/ results			
	Normality Test (Shapiro-Wilk)	Test of Homogeneity (Levene Statistic)	Anova (parametric)/ Kruskal-Wallis (non-parametric)	Conclusion
Plantkenmerken einde teelt				
Versgewicht Bloemen (g)	Pass	Pass	ANOVA	NO SIGNIFICANT difference between average fresh weights of flowers under different light treatments.
Versgewicht Bladeren (g)	Pass	Pass	ANOVA	NO SIGNIFICANT difference between average fresh weights of leaves under different light treatments.
Versgewicht internodiën (g)	Fail	Fail	Kruskal-Wallis & Dunn-Bonferroni Post-hoc test	NO SIGNIFICANT difference between the average fresh weights of the Remaining Parts of pot Anthuriums (after removing leaves & flowers) under different light treatments
Versgewicht Hele Plant (g)	Fail	Pass	Kruskal-Wallis	NO SIGNIFICANT difference between average fresh weights of the whole Anthurium plant under different light treatments tested for this experiment.
Drooggewicht Bloemen (g)	Fail	Pass	Kruskal-Wallis	NO SIGNIFICANT difference between average dry weights of the flowers of Anthurium plant under different light treatments tested for this experiment.
Drooggewicht Bladeren (g)	Fail	Fail	Kruskal-Wallis	NO SIGNIFICANT difference between average dry weights of the leaves of Anthurium plant under different light treatments tested for this experiment.
Drooggewicht internodiën (g)	Fail	Pass	Kruskal-Wallis	NO SIGNIFICANT difference between average dry weights of the remaining part of Anthurium plant under different light treatments tested for this experiment.
Drooggewicht Hele Plant (g)	Fail	Fail	Kruskal-Wallis	NO SIGNIFICANT difference between total dry weights of Anthurium plant under different light treatments tested for this experiment.
Bladoppervlakte totaal (cm <sup>2</sup> )	Pass	Pass	ANOVA	NO SIGNIFICANT difference in the average surface area of leaves of pot Anthuriums under different light treatments.
Bloemoppervlakte totaal (cm <sup>2</sup> )	Pass	Fail	Kruskal-Wallis	NO SIGNIFICANT difference in the average surface area of flowers of pot Anthuriums under different light treatments.
# bladeren	Fail	Pass	Kruskal-Wallis	NO SIGNIFICANT difference between average number of leaves of Anthurium plant under different light treatments tested for this experiment.
# bloemen ind knoppen	Fail	Fail	Kruskal-Wallis	NO SIGNIFICANT difference between average on number of flowers incl. buds of Anthurium plant under different light treatments tested for this experiment.
lengte internodiën (mm)	Fail	Pass	Kruskal-Wallis	NO SIGNIFICANT difference between average internode length of Anthurium plant under different light treatments tested for this experiment.
diameter hoogste bloemsteel	Pass	Fail	Kruskal-Wallis	NO SIGNIFICANT difference in the average diameter of the tallest flower stem of Anthurium plant under different light treatments tested for this experiment.
dikte grootste blad	Fail	Pass	Kruskal-Wallis	NO SIGNIFICANT difference in the average thickness of the biggest leaf of Anthurium plant under different light treatments tested for this experiment.
hoogte hoogste bloem	Fail	Pass	Kruskal-Wallis & Dunn-Bonferroni Post-hoc test	Under Zeer Hoog Fbod light treatment, there was a significantly higher increase in height of the tallest flower compared to Laag Fbod and Zeer Laag Fbod, while it remained insignificant compared to Middel Fbod, Middel Laag Fbod & Hoog Fbod.
hoogte hoogste blad	Fail	Pass	Kruskal-Wallis & Dunn-Bonferroni Post-hoc test	Under Zeer Hoog Fbod light treatment, there was a significantly higher increase in height of the tallest leaf observed compared to Hoog Fbod and Laag Fbod, while it remained insignificant compared to Middel Fbod, Middel Laag Fbod & Zeer laag Fbod.
verschil bloem-blad	Fail	Pass	Kruskal-Wallis	NO SIGNIFICANT difference between the difference in height between the tallest flower & the tallest leaf under different light treatments tested for this trial.
Breedte grootste bloem	Fail	Pass	Kruskal-Wallis	NO SIGNIFICANT difference in the average breadth of the biggest flower of Anthurium plant under different light treatments tested for this experiment.
Lengte grootste bloem	Pass	Pass	ANOVA	NO SIGNIFICANT difference in the average length of the biggest flower of Anthurium plant under different light treatments tested for this experiment.
Breedte grootste blad	Fail	Fail	Kruskal-Wallis	NO SIGNIFICANT difference in the average breadth of the biggest leaf of Anthurium plant under different light treatments tested for this experiment.
Lengte grootste blad	Fail	Fail	Kruskal-Wallis	NO SIGNIFICANT difference in the average length of the biggest leaf of Anthurium plant under different light treatments tested for this experiment.

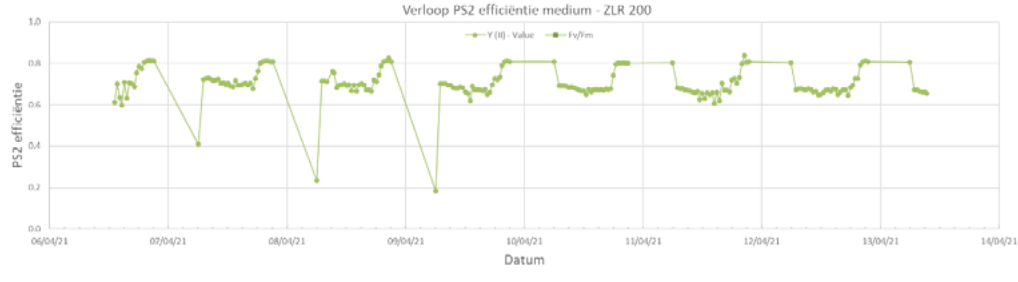
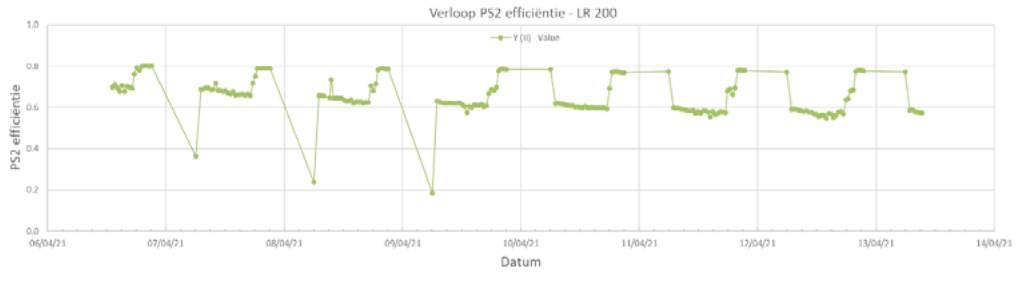
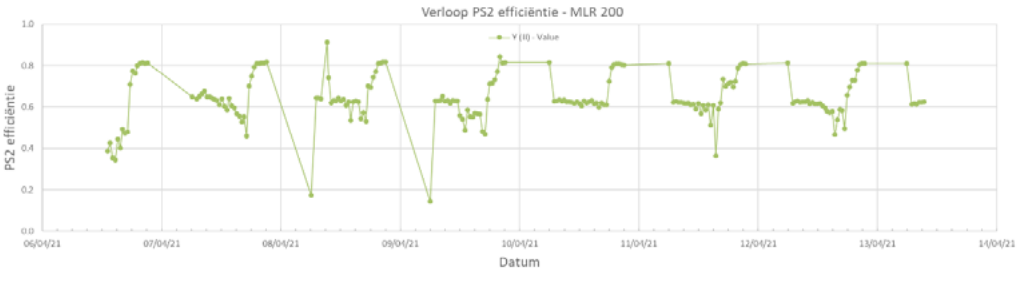
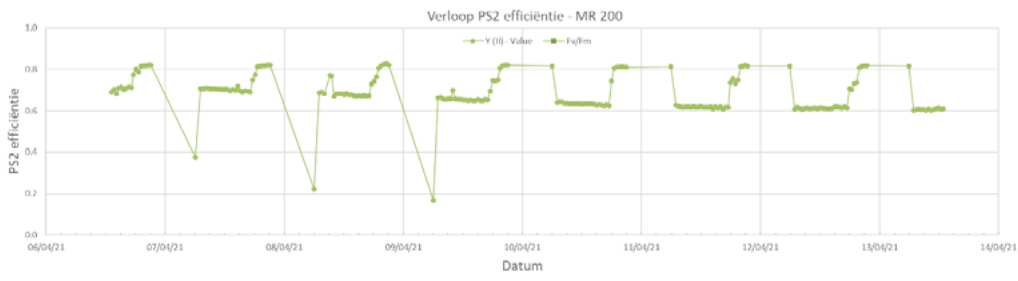
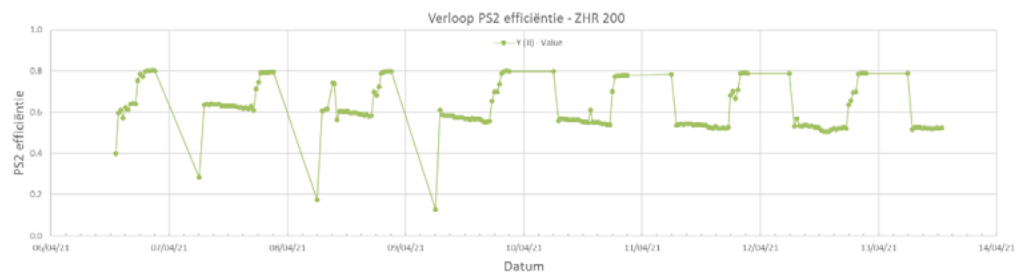
**Teelt 2 (16 uur daglengte)**

				Summary of SPSS tests/ results
	Normality Test (Shapiro-Wilk)	Test of Homogeneity (Levene Statistic)	Anova (parametric)/ Kruskal-Wallis (non-parametric)	Conclusion
Versgewicht Bloemen (g)	Pass	Pass	ANOVA	NO SIGNIFICANT difference between average fresh weights of flowers under different light treatments.
Versgewicht Bladeren (g)	Pass	Pass	ANOVA	NO SIGNIFICANT difference between average fresh weights of leaves under different light treatments.
Versgewicht internodiën (g)	Fail	Pass	Kruskal-Wallis & Dunn-Bonferroni Post-hoc test	Treatment Middel rood resulted in significantly higher average fresh weight of the Remaining Part of the plant compared to Laag rood treatment.
Versgewicht Hele Plant (g)	Pass	Fail	Kruskal-Wallis	NO SIGNIFICANT difference between average fresh weights of the whole Anthurium plant under different light treatments tested for this experiment.
Drooggewicht Bloemen (g)	Fail	Pass	Kruskal-Wallis	NO SIGNIFICANT difference between average dry weights of the flowers of Anthurium plant under different light treatments tested for this experiment.
Drooggewicht Bladeren (g)	Pass	Pass	ANOVA	NO SIGNIFICANT difference between average dry weights of the leaves of Anthurium plant under different light treatments tested for this experiment.
Drooggewicht internodiën (g)	Fail	Pass	Kruskal-Wallis & Dunn-Bonferroni Post-hoc test	Treatment Middel rood resulted in significantly higher average dry weight of the Remaining Part of the plant compared to Laag rood & Zeer laag rood treatments.
Drooggewicht Hele Plant (g)	Pass	Pass	ANOVA	NO SIGNIFICANT difference between total dry weights of Anthurium plant under different light treatments tested for this experiment.
Bladoppervlakte totaal (cm <sup>2</sup> )	Pass	Fail	Kruskal-Wallis	NO SIGNIFICANT difference in the average surface area of leaves of pot Anthuriums under different light treatments.
Bloemoppervlakte totaal (cm <sup>2</sup> )	Pass	Fail	Kruskal-Wallis	NO SIGNIFICANT difference in the average surface area of flowers of pot Anthuriums under different light treatments.
# bladeren	Fail	Pass	Kruskal-Wallis	NO SIGNIFICANT difference between average number of leaves of Anthurium plant under different light treatments tested for this experiment.
# bloemen ind knoppen	Fail	Pass	Kruskal-Wallis	NO SIGNIFICANT difference between average on number of flowers incl. buds of Anthurium plant under different light treatments tested for this experiment.
lengte internodiën (mm)	Pass	Pass	ANOVA	Treatment Zeer hoog rood resulted in significantly higher average internode length compared to light treatments Hoog rood, Middel rood and Laag Rood, while there was no significant difference from treatments Middel laag rood & Zeer laag rood.
diameter hoogste bloemsteel	Pass	Pass	ANOVA	NO SIGNIFICANT difference in the average diameter of the tallest flower stem of Anthurium plant under different light treatments tested for this experiment.
dikte grootste blad	Pass	Pass	ANOVA	NO SIGNIFICANT difference in the average thickness of the biggest leaf of Anthurium plant under different light treatments tested for this experiment.
hoogte hoogste bloem	Pass	Pass	ANOVA	Treatment Zeer hoog rood and Hoog Rood resulted in significantly higher average flower height of the tallest flower compared to the other 4 treatments.
hoogte hoogste blad	Fail	Fail	Kruskal-Wallis & Dunn-Bonferroni Post-hoc test	Under Zeer Hoog Rood light treatment, there was a significantly higher increase in height of the tallest leaf observed compared to all other treatments.
verschil bloem-blad	Fail	Fail	Kruskal-Wallis & Dunn-Bonferroni Post-hoc test	Both Hoog Rood & Middel Rood treatments resulted in significantly higher difference between the tallest flower and the tallest leaf compared to Laag Rood, while the difference from the other three treatments (Zeer Hoog Rood, Middel Laag Rood & Zeer Laag Rood) remained insignificant.
Breedte grootste bloem	Fail	Pass	Kruskal-Wallis	Zeer Hoog Rood Treatment resulted in significantly smaller flower breadth than under Middel Laag Rood, while the difference from the other treatments remained insignificant.
Lengte grootste bloem	Pass	Pass	ANOVA	Zeer Hoog Rood resulted in significantly lower flower length compared to all other treatments except Laag Rood.
Breedte grootste blad	Fail	Pass	Kruskal-Wallis	NO SIGNIFICANT difference in the average breadth of the biggest leaf of Anthurium plant under different light treatments tested for this experiment.
Lengte grootste blad	Fail	Pass	Kruskal-Wallis	NO SIGNIFICANT difference in the average length of the biggest leaf of Anthurium plant under different light treatments tested for this experiment.

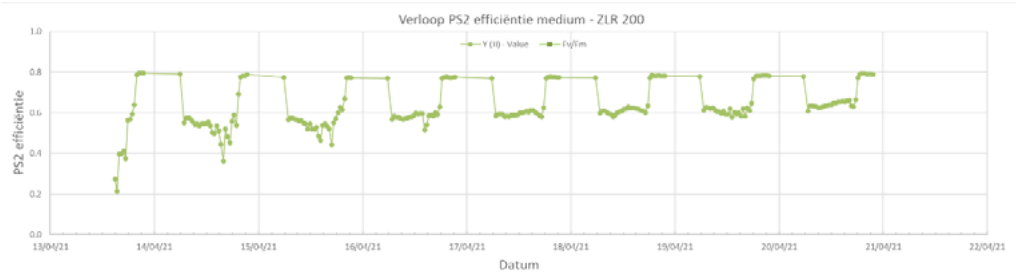
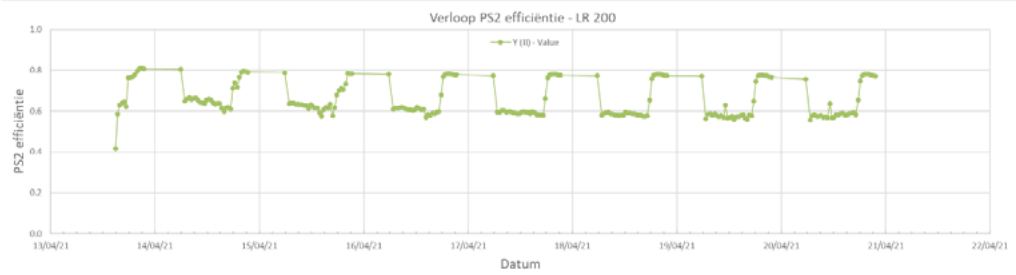
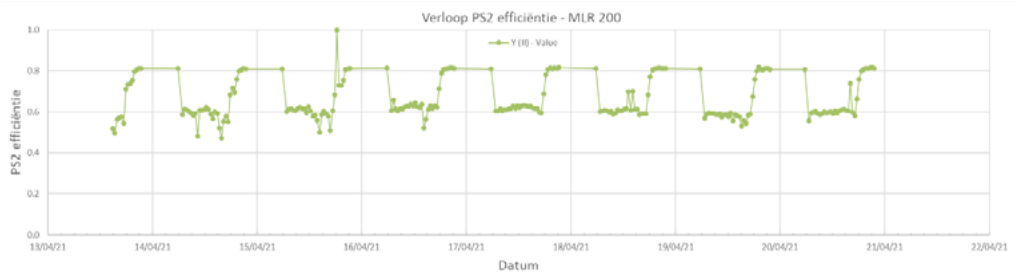
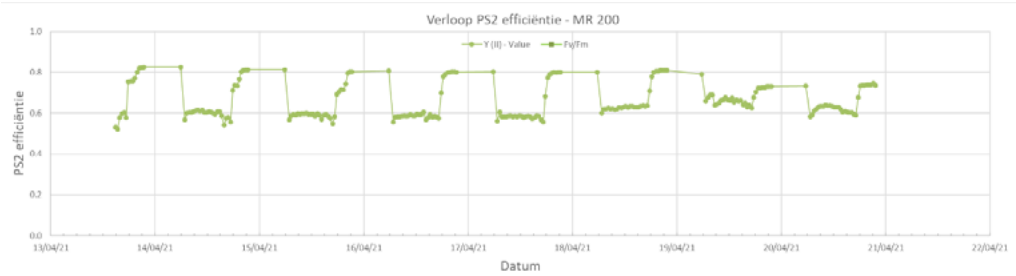
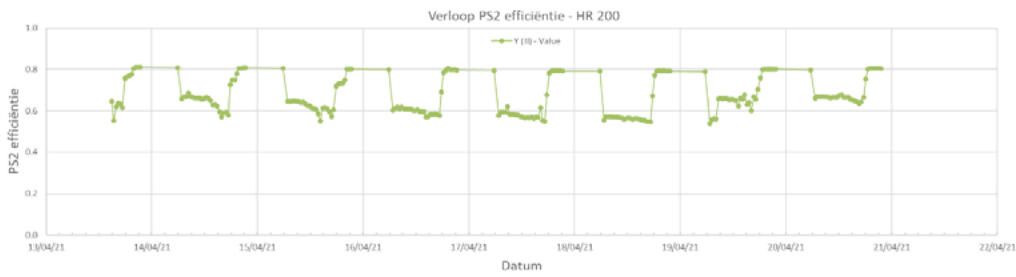
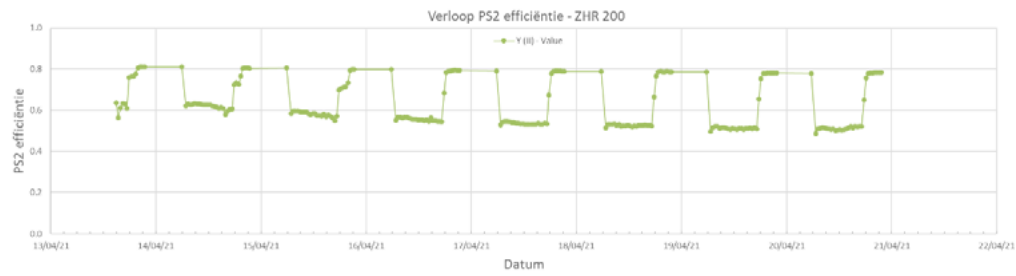
# Bijlage 3 Verloop efficiëntie PS2



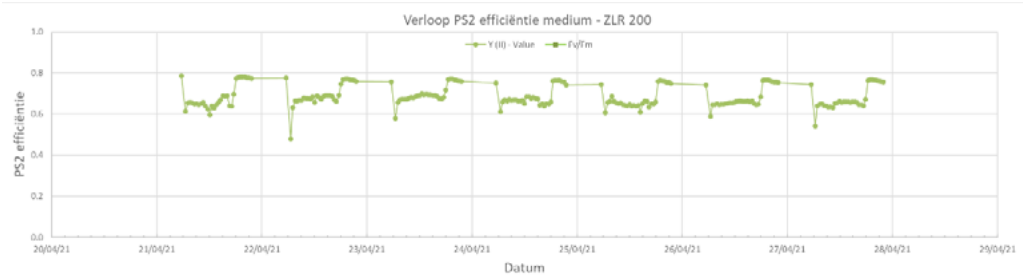
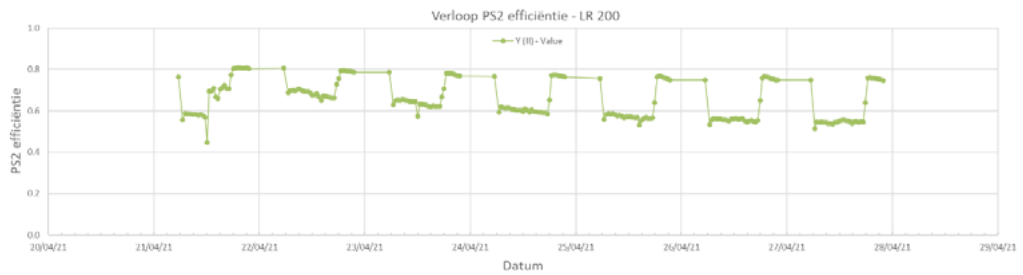
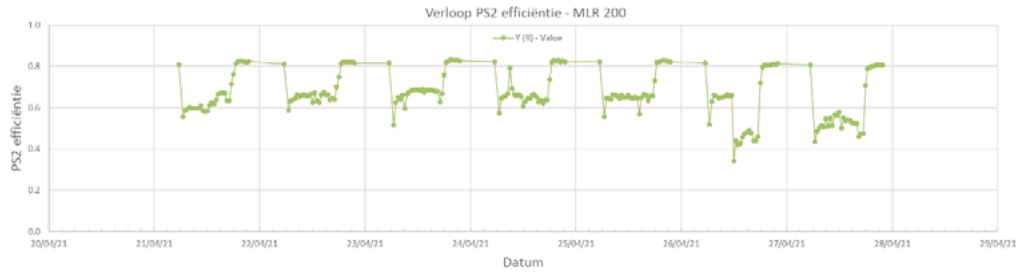
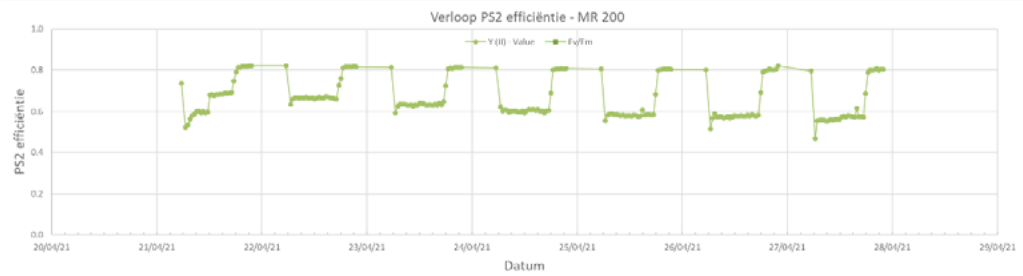
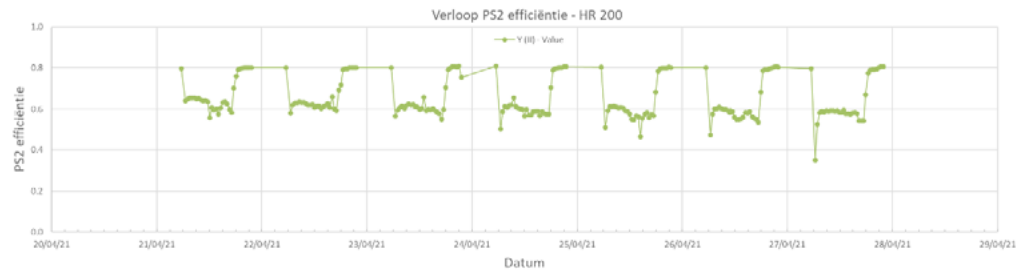
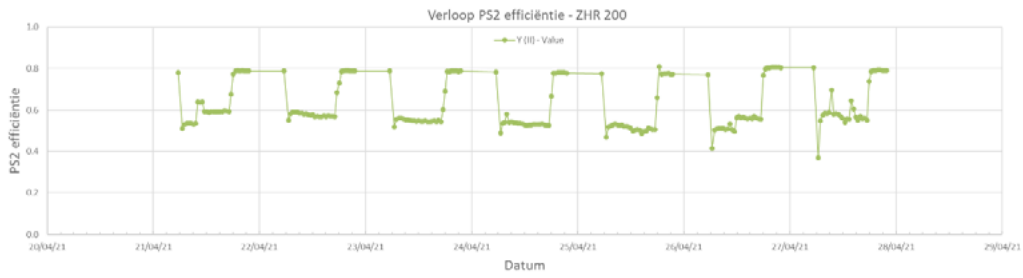
**Figuur B3.1** PS2 efficiëntie bij 12 uur belichting in week 30 maart t/m 6 april.



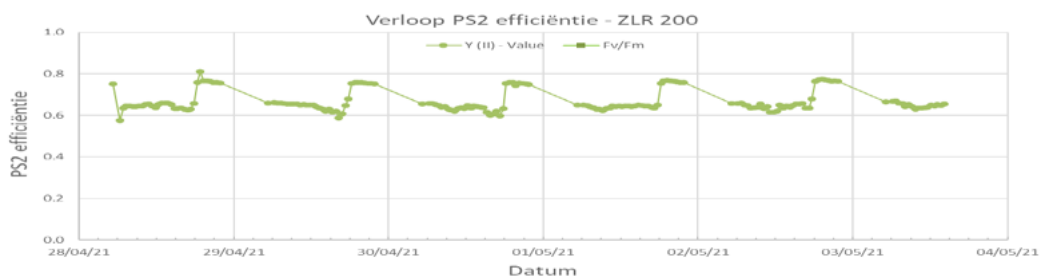
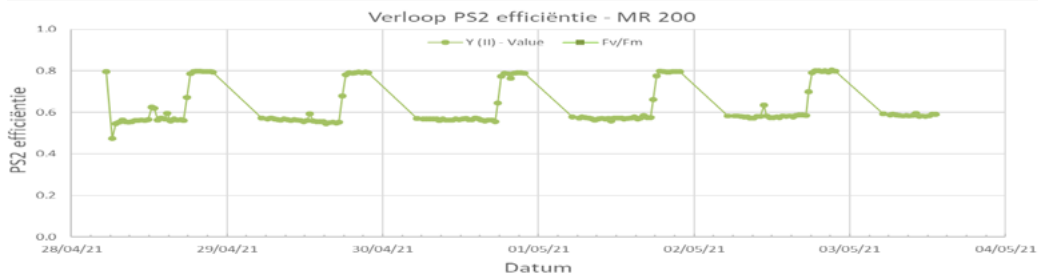
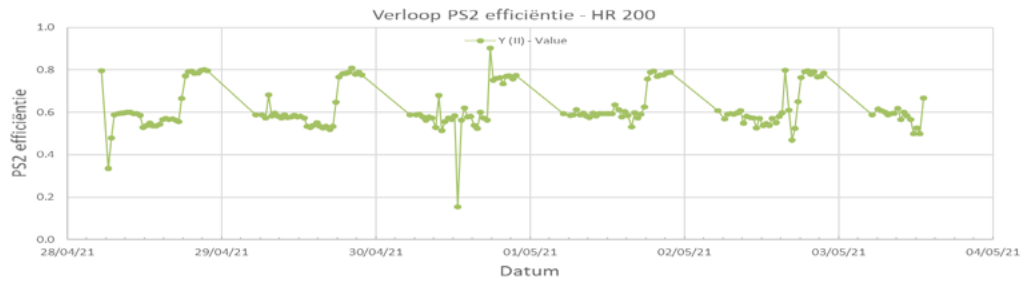
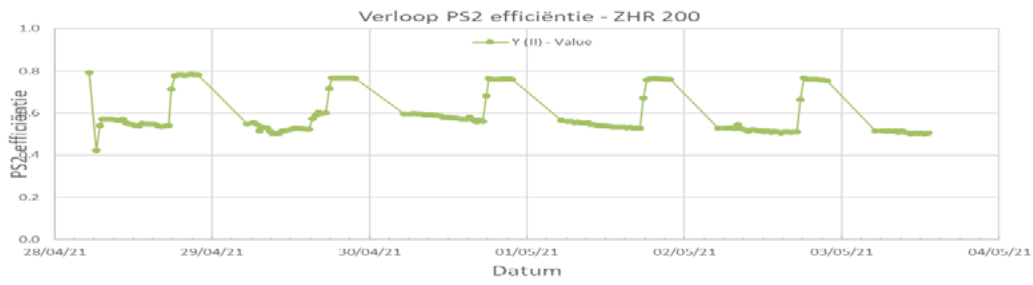
**Figuur B3.2** PS2 efficiëntie bij 12 uur belichting in week 6 t/m 13 april.



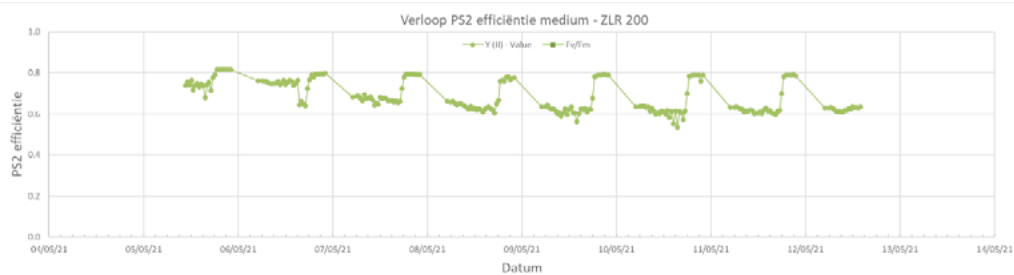
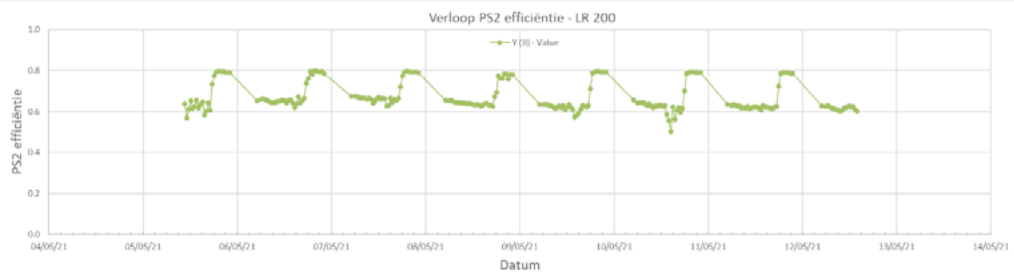
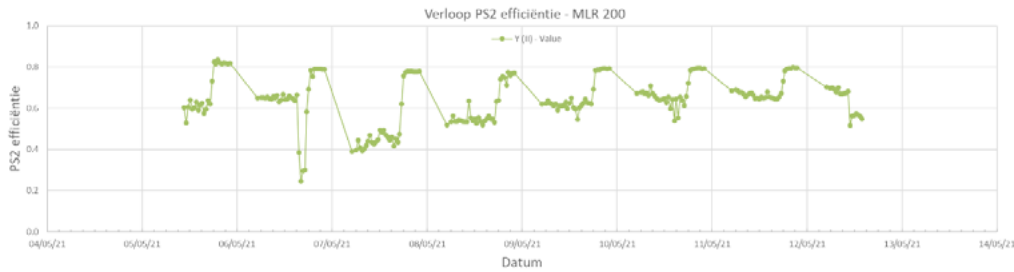
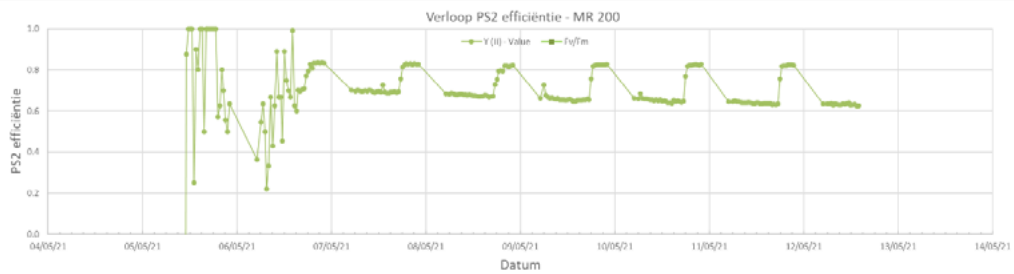
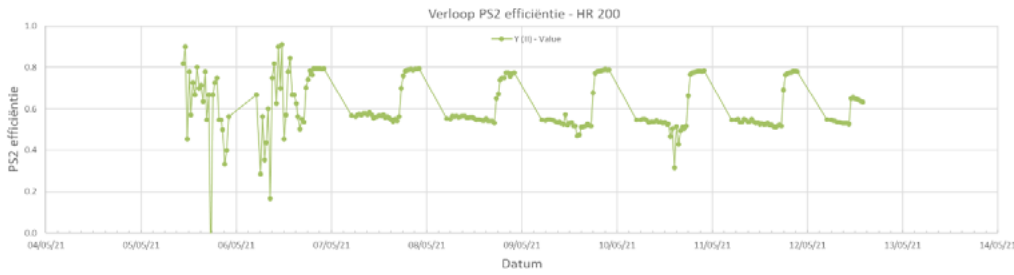
**Figuur B3.3** PS2 efficiëntie bij 12 uur belichting in week 13 t/m 20 april.



**Figuur B3.4** PS2 efficiëntie bij 12 uur belichting in week 21 t/m 28 april.

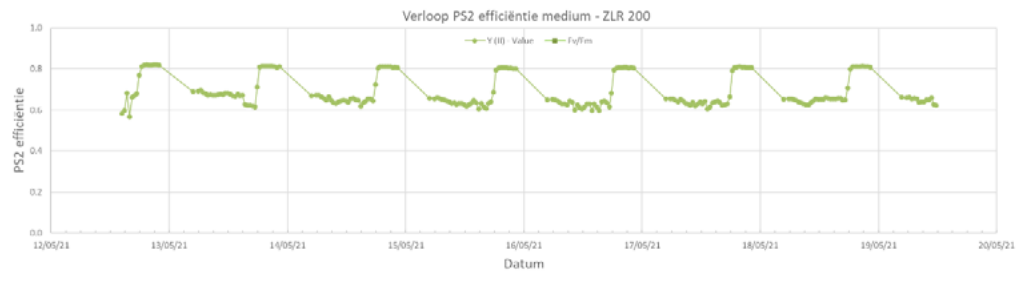
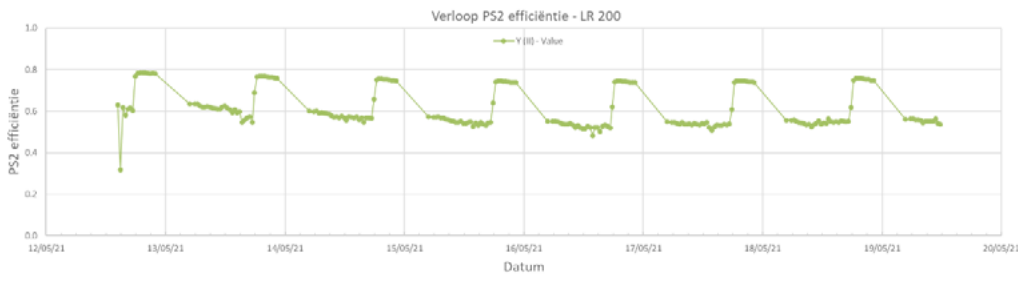
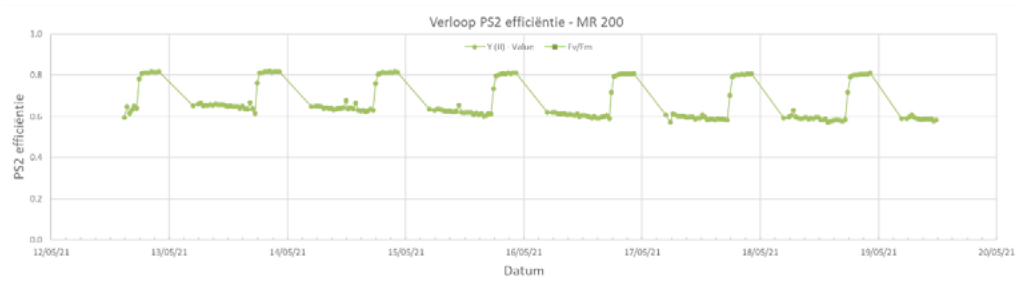
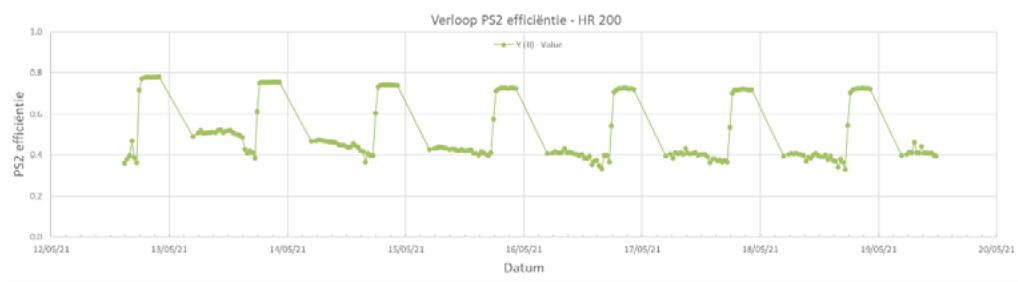


**Figuur B3.5** PS2 efficiëntie bij 12 uur belichting in week 28 april t/m 3 mei.

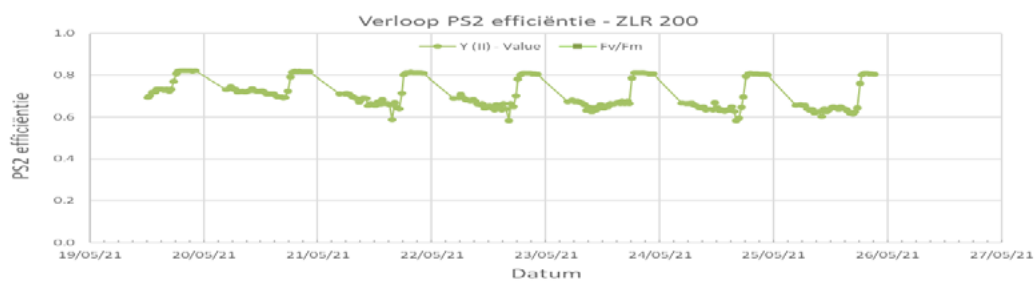
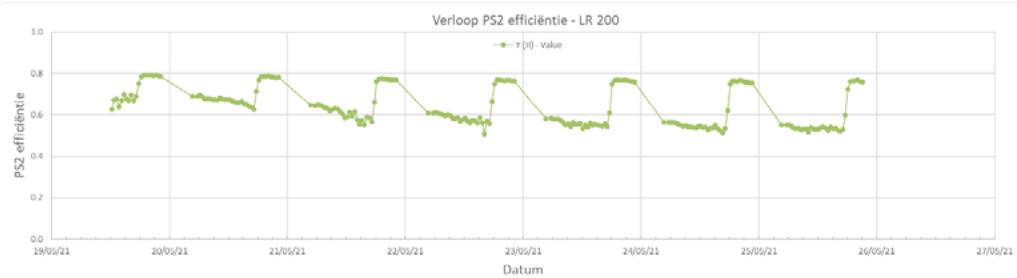
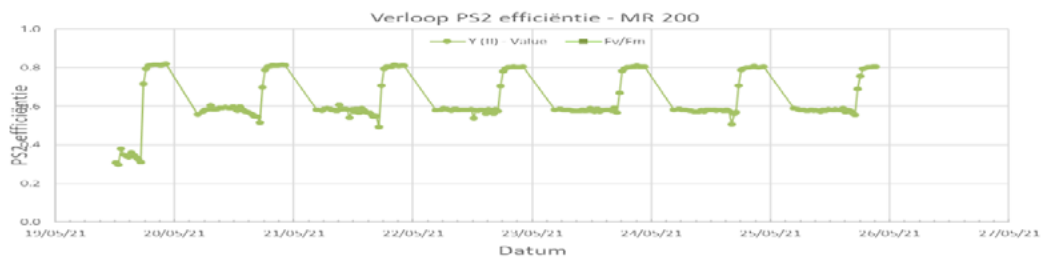
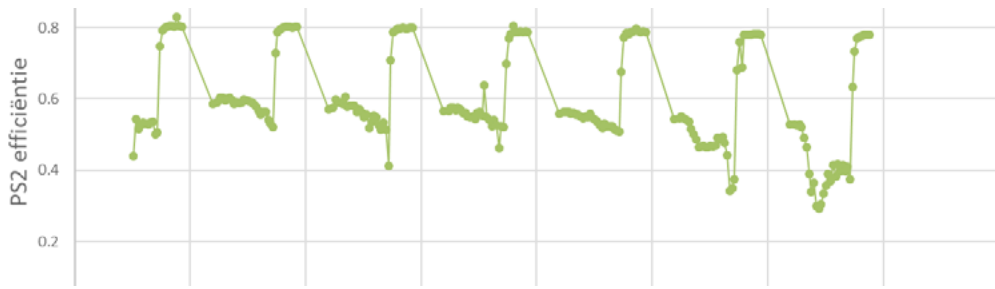


**Figuur B3.6** PS2 efficiëntie bij 16 uur belichting in week 4 t/m 12 mei.

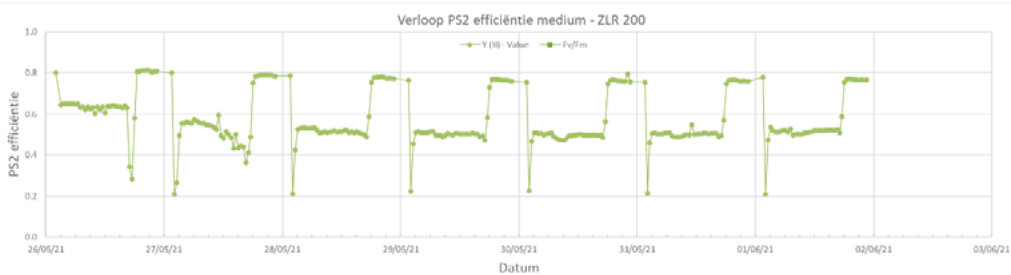
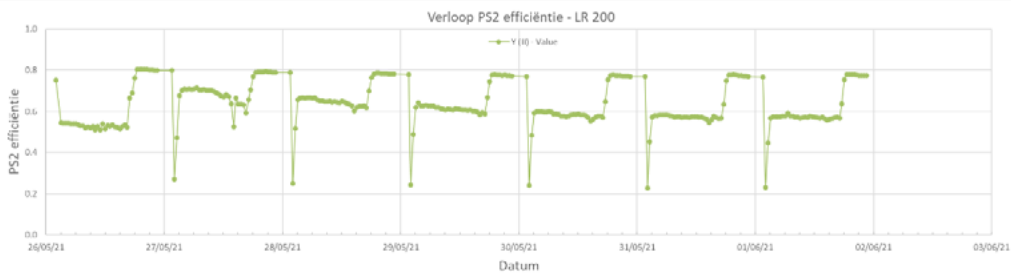
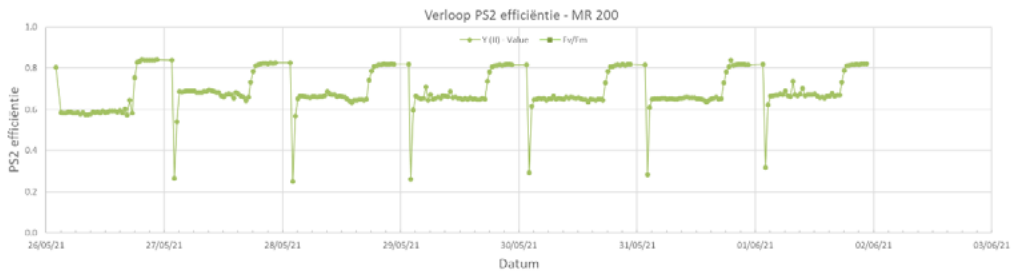
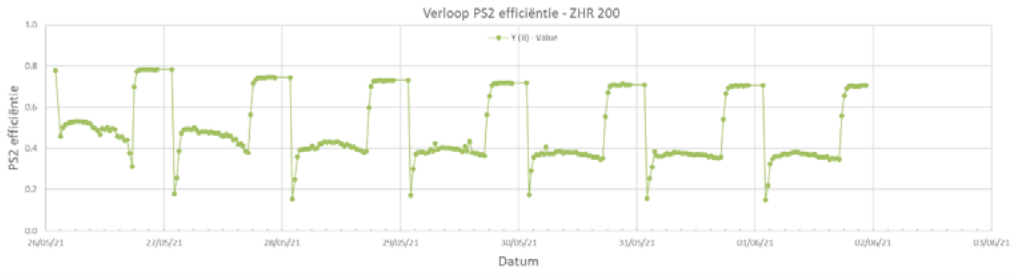




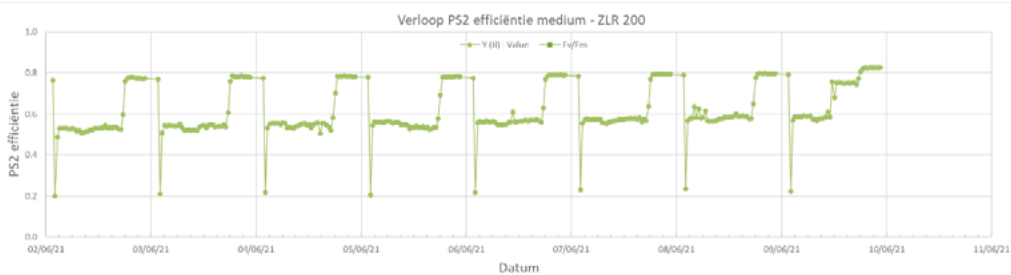
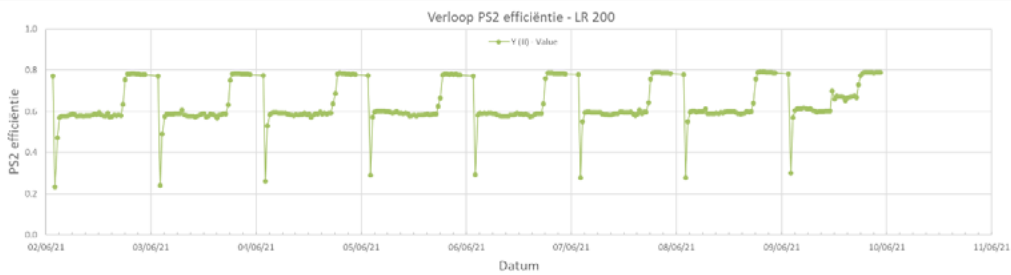
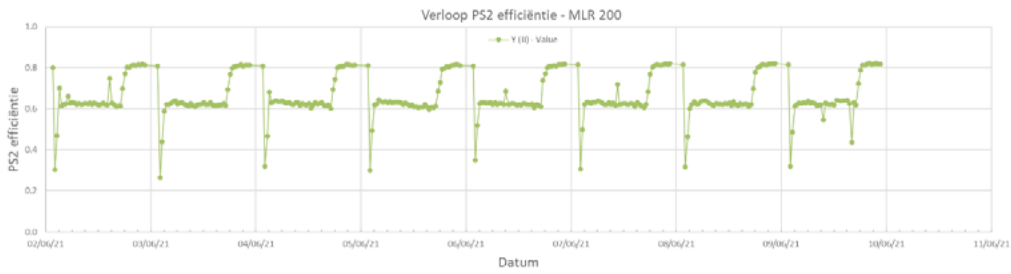
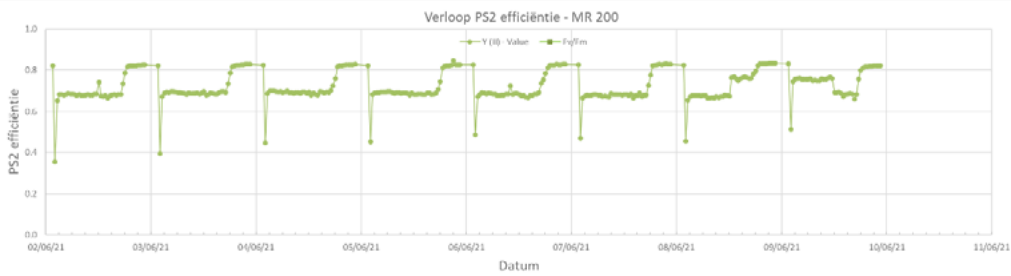
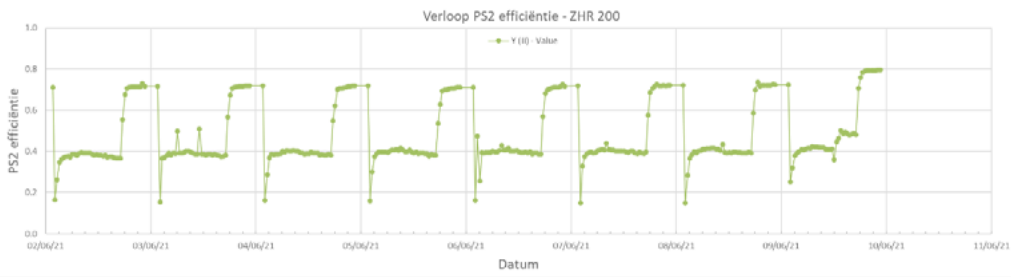
**Figuur B3.7** PS2 efficiëntie bij 16 uur belichting in week 12 t/m 19 mei.



**Figuur B3.8** PS2 efficiëntie bij 16 uur belichting in week 19 t/m 25 mei.



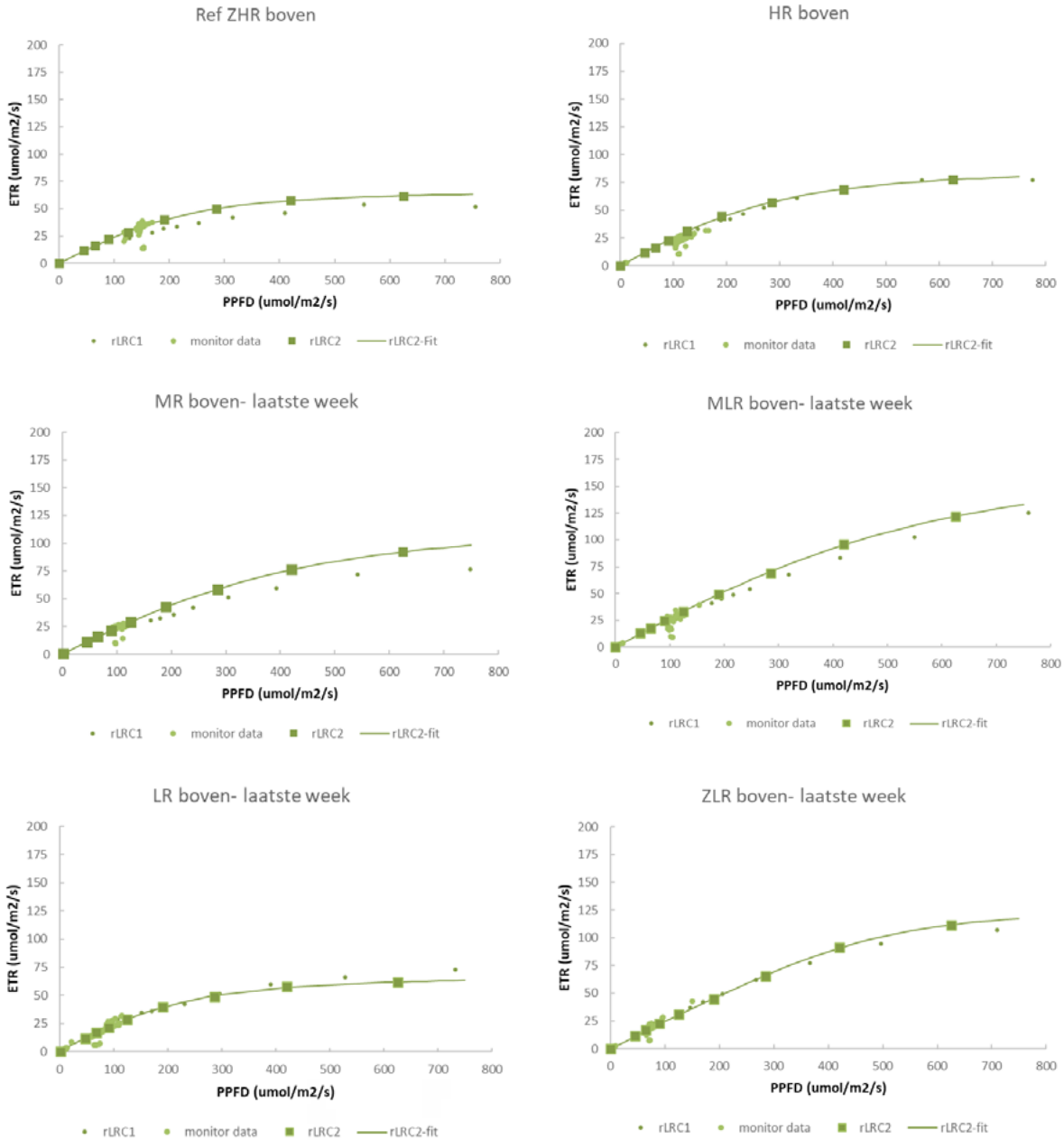
**Figuur B3.9** PS2 efficiëntie bij 16 uur belichting in week 26 mei t/m 1 juni.



**Figuur B3.10** PS2 efficiëntie bij 16 uur belichting in week 2 t/m 9 juni.

# Bijlage 4 Licht Response curves (CF)

De onderstaande curves zijn gemaakt met het lichtbron van de CF apparatuur (Hex PAM) op de laatste dag van de tweede teelt (16 uur).



**Figuur B4.1** Licht response Curves, gemeten als ETR van het Fotosysteem 2 op 20-6 (7 weken na de start van de behandelingen bij daglengte 16 uur). In legende: Monitor data is de meting bij de heersende LED licht; rLRC1 en rLRC2 zijn de lichtresponse curves verkregen door de PAR intensiteit met de lichtbron te variëren. rLRC2 is de gefitte curve.

Uit deze curves volgt dat het bovenblad van planten uit de verschillende behandelingen afwijkend snelheid van Elektronen transport snelheid (ETR) hebben bij gelijke PAR. Om ze met elkaar te kunnen vergelijken hebben wij ETR waarden voor de lichtintensiteiten 100, 150, 200 en 300  $\mu\text{mol PAR}$  in Tabel 7 weergegeven. De linker kolommen geven de ETR voor een boven blad in de plant (een blad die direct onder de belichting staat). De rechterkolommen de ETR als gemeten op een onderblad (een blad die dieper staat in het gewas en normaal gesproken minder PAR ontvangt). De laagste waarden voor ETR worden bij de heersende lichtintensiteiten van 150 -300  $\mu\text{mol PAR}$  licht behaald bij de behandelingen "Zeer Hoog Rood" zonder FR, en "Laag Rood" met het hoogste aandeel blauw licht.

Het ETR van het blad dieper in het gewas is voor alle behandelingen zeer vergelijkbaar (met een onverklaarbare uitschieter bij 300  $\mu\text{mol PAR}$  in de behandeling Laag Rood).

Deze lichtresponse curves vragen om meer onderzoek naar de fotosynthese capaciteit van het gewas bij toenemend licht nadat ze ontwikkeld zijn onder verschillende spectra.

Opgemerkt dient tevens te worden dat, zoals eerder gezegd, zijn deze curves gemaakt na zeven weken bij 16 uur belichting. Als de lange belichting tot schade leidt aan het fotosynthese apparaat, dan zijn de waargenomen Licht Response reacties mogelijk daaruit verklaarbaar. Aanbevolen wordt om dit soort LR curves ook te maken bij belichting 12 uur.

Tabel B4.1

*Het elektronen transport van een volwassen bovenblad en een volwassen blad dieper in het gewas (onderblad) na 7 weken teelt bij 16 uur daglengte, bij gelijke PAR licht, gemeten als een Licht response curve met CF apparatuur.*

Behandeling	ETR (Bovenblad) bij $\mu\text{mol PAR}$				ETR (onderblad) bij $\mu\text{mol PAR}$			
	100 $\mu\text{mol}$	150 $\mu\text{mol}$	200 $\mu\text{mol}$	300 $\mu\text{mol}$	100 $\mu\text{mol}$	150 $\mu\text{mol}$	200 $\mu\text{mol}$	300 $\mu\text{mol}$
Zeer hoog rood	21	14	32	42	14	21	24	27
Hoog rood	10	32	42	57	17	22	26	30
Medium rood	10	30	42	51	17	19	27	31
Medium laag rood	10	<b>40</b>	<b>59</b>	<b>68</b>	16	25	26	29
Laag rood	22	25	39	49	18	27	28	65
Zeer laag rood	23	33	45	65	13	20	17	20

## Bijlage 5 24 uurs fotosynthese metingen

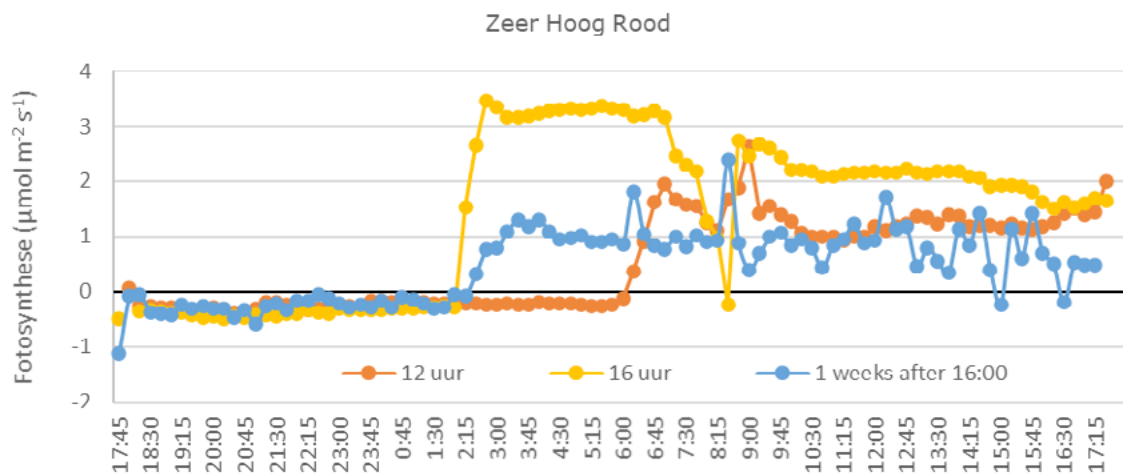
In deze Bijlage worden de aanvullende 24-uurs metingen van de fotosynthese en huidmondjes opening getoond en besproken. De metingen zijn verricht met de fotosynthese meter (Li-Cor) in de overgang naar de langere daglengte van 12 naar 16 uur.

Dit zijn beperkte metingen geweest aan 4 planten en slechts 2 van de 6 behandelingen.

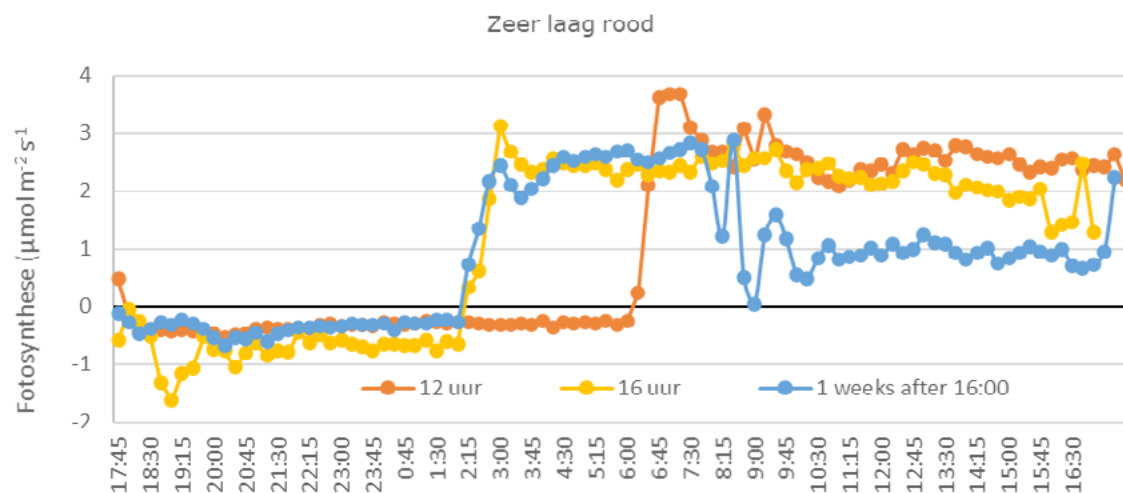
### Verloop fotosynthese

Het 24-uurs verloop van de fotosynthese is weergegeven in de twee grafieken hieronder als tijdsverloop van de fotosynthese (A-max) bij de twee behandelingen "Zeer Hoog Rood", R:FR = 85 en schaduw behandeling "ZLR", R:FR=0.6. In elke grafiek is te zien:

- Het verloop van de fotosynthese bij een daglengte van 12 uur.
- Het verloop van de fotosynthese bij een daglengte van 16 uur (direct na de daglengte verandering van 12 naar 16 uur; de lampen gingen aan om 2 uur in plaats van om 6 uur).
- Het verloop van de fotosynthese één week na het verlengen van de dag van 12 naar 16 uur.



**Figuur B5.1** 24 uurs verloop van de fotosynthese bij de behandeling Zeer Hoog Rood (R:FR=85) bij 12 en 16 uur daglengte, en een week na de overgang van 12 naar 16 uur.



**Figuur B5.2** 24 uurs verloop van de fotosynthese bij de behandeling Zeer Laag Rood (R:FR=0.6) bij 12 en 16 uur daglengte, evenals een week na de overgang van 12 naar 16 uur.

Uit de grafieken is het volgende af te lezen:

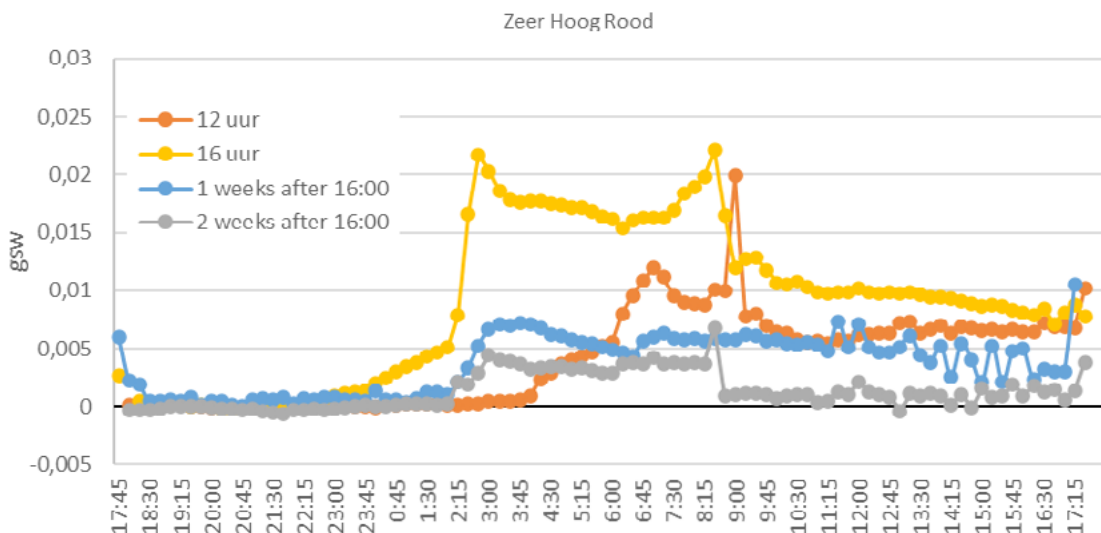
- Fotosynthese lichtperiode bij daglengte 12 uur is hoger in de behandeling Zeer Laag Rood dan in de behandeling Zeer Hoog Rood.
- In de eerste uren bij 16 uur in de Zeer Hoog Rood behandeling zie je hoge fotosynthese, maar na enkele uren daalt het tot het niveau van de Zeer Laag Rood behandeling.
- Verder zie je snellere adaptatie op verandering daglengte en hogere basisniveau fotosynthese. bij de behandeling "Zeer laag rood" dan bij behandeling "Zeer Hoog Rood".
- In de eerste uren na aangaan belichting is de fotosynthese hoger en constanter dan de rest van de dag.
- De dip in de fotosynthese rond 7 uur in de ochtend bij alle daglengte behandelingen is opvallend en heeft mogelijk iets te maken met de schermregeling en of de koeling en vernevelen acties in de kas.

Pot *et al.* 2015 zagen in fotosynthesemetingen over de dag (1:00 tot 16:00, totaal 15 uur) bij potanthuriumplanten dat er een patroon voor de vastlegging van CO<sub>2</sub> zichtbaar werd dat goed overeenkwam met de hoeveelheid PAR (bij 60-120 μmol/(m<sup>2</sup>.s), achtereenvolgend SON-T, SON-T plus kunstmatig daglicht). Op basis hiervan concludeerden ze dat voor de fotosynthese het niet nodig of nuttig was om de dag korter te houden. Uit deze metingen met constant licht over de dag lijkt het erop dat de fotosynthese inderdaad direct start op volle kracht zodra de lampen aangaan, maar dat het in afwezigheid van FR, ook eerder in de uren erop stopt. Deze waarnemingen vragen om verder onderzoek met meer metingen.

### Verloop huidmondjes opening

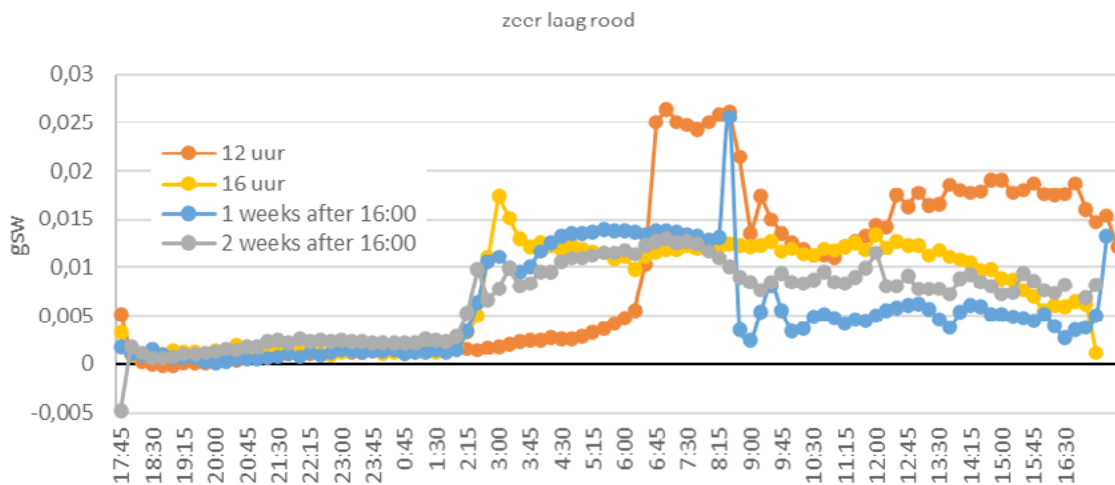
Wat van deze metingen is te verklaren aan de hand van de metingen van de doorlatendheid van de huidmondjes? De gemeten huidmondjes opening is in de volgende twee grafieken weergegeven, eveneens voor de twee behandelingen Zeer Hoog Rood (R:FR=85), en schaduw behandeling Zeer Laag Rood, (R:FR =0.6). In elke grafiek is te zien:

- Het verloop van de huidmondjes opening bij een daglengte van 12 uur (de dag voor de daglengte aanpassing).
- Het verloop van de huidmondjes opening bij een daglengte van 16 uur (dag na de aanpassing van de daglengte van 12 naar 16 uur (lampen aan om 2 uur in plaats van om 6 uur)).
- Het verloop van de huidmondjes opening één week na het verlengen van de dag van 12 naar 16 uur.
- Het verloop van de huidmondjes opening twee weken na het verlengen van de dag van 12 naar 16 uur.



**Figuur B5.3** 24 uren verloop van de huidmondjes opening bij de behandeling Zeer Hoog Rood bij 12 en 16 uur daglengte, evenals een en twee weken na de overgang van 12 naar 16 uur daglengte.





**Figuur B5.4** 24 uren verloop van de huidmondjes opening bij de behandeling Zeer Laag Rood bij 12 en 16 uur daglengte, evenals een en twee weken na de overgang van 12 naar 16 uur daglengte.

- Bij de Zeer Laag Rood behandeling zijn de huidmondjes maar heel kort helemaal dicht.
- Bij 12 uur daglengte zie je dat in de behandeling Zeer Laag Rood de huidmondjes geleidelijk beginnen te openen al voordat het licht aangaat om 6 uur in de ochtend.
- Bij de behandeling Zeer Hoog Rood gedurende 16 uur zijn de huidmondjes na de ochtend dip, nog lang dicht. Twee weken na de overgang naar 16 uur zijn de huidmondjes het grootste deel van de dag dicht, met uitzondering van de periode tussen 2:00 en 9:00 uur, als vooral met de lampen wordt belicht.

Vermeld mag worden dat de huidmondjes openingen zoals hier gemeten zeer laag zijn (maximaal 0.025 mol/(m<sup>2</sup>.s), in vergelijking met data berekend door Pot *et al.* 2015; deze auteurs geven aan dat bij 200 μmol PAR/(m<sup>2</sup>.s), er een minimale huidmondjesopening (Gs) van 0.05 mol/(m<sup>2</sup>.s) nodig is voor maximale CO<sub>2</sub>-opname.

Dit zijn waarnemingen die vragen om meer metingen, om te kunnen verklaren of het gaat om incidentele reacties op andere klimaatfactoren, of om een patroon dat zich dagelijks herhaalt en verklarend kan optreden voor de gemeten plantreacties.





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



Wageningen University & Research,  
BU Glastuinbouw  
Postbus 20  
2665 ZG Bleiswijk  
Violierenweg 1  
2665 MV Bleiswijk  
T +31 (0)317 48 56 06  
[www.wur.nl/glastuinbouw](http://www.wur.nl/glastuinbouw)

Rapport WPR-1084

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.800 medewerkers (6.000 fte) en 12.900 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.