

# **Energie efficiënte belichtingstechnieken in hogedraad komkommer – Teeltronde 2**

**Proefperiode: 29 oktober 2019 – 5 mei 2020**

**Proef uitgevoerd door:** Proefstation voor de Groenteteelt Sint-Katelijne-  
Waver

|                         |   |
|-------------------------|---|
| <b>Titel</b>            | Energie efficiënte belichtingstechnieken in hogedraad komkommer – Teeltronde 2  |
| <b>Proefperiode</b>     | 29 oktober 2019 – 5 mei 2020  |
| <b>Proefmedewerkers</b> | Jonas De Win<br>Jari Van Dam<br>Walter Leonard<br>Jasper Ingelbrecht<br>Kevin Van Puyvelde  |
| <b>Project</b>          | Dit onderzoek vond plaats binnen het project GLITCH. GLITCH zet in op de ontwikkeling van innovatieve energie-efficiënte en klimaat neutrale teelttechnieken en -systemen in de glastuinbouw. <a href="https://glitch-innovatie.eu/">https://glitch-innovatie.eu/</a>   |
| <b>Steunvermelding</b>  | Dit onderzoek wordt enerzijds mogelijk gemaakt met de steun van het Interreg V programma Vlaanderen-Nederland, het grensoverschrijdend samenwerkingsprogramma met financiële steun van het Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling. Anderzijds wordt het project ondersteund vanuit het Agentschap Innoveren en Ondernemen (VLAIO), de Provincie Antwerpen, Het Vlaams Kabinet Omgeving, Natuur en landbouw, de provincie Limburg (NL) en het Nederlands Ministerie van Economische zaken.<br><br>Deze proef werd mogelijk gemaakt met de ondersteuning van Nunhems, Gavita, Signify en Mechatronix. De proef kon rekenen op een zeer gewaardeerde begeleiding door een begeleidingscomité van aangesloten telers. |

## Samenvatting

Tot 20 jaar geleden was een komkommerteelt tijdens de wintermaanden in de Vlaamse- en Nederlandse glastuinbouw ondenkbaar. Omwille van het geringe licht in deze periode kan het gewas niet optimaal groeien, waardoor de productie en de kwaliteit van de vruchten ondermaats blijven. Om jaarrond hoogkwalitatieve komkommers aan te bieden aan de consument is assimilatiebelichting in de meest donkere periode van het jaar noodzakelijk. Dit onderzoeksproject heeft als doel de teler te ondersteunen bij de keuze van, de transitie naar en/of de toepassing van energie-efficiënte artificiële belichtingssystemen, zodat de opzet van een duurzame, lokale jaarrond teelt van komkommer wordt versneld en verankerd. In deze proef wordt gebruik gemaakt van HPS-, hybride- en led-lampen die een instraling hebben van respectievelijk  $180 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ;  $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  en  $190 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . De led-lampen stralen zes verschillende spectra uit waarbij de spectrale verhoudingen blauw-, rood-, en verrood licht van elkaar variëren alsook de belichtingsmomenten. Dit resulteert in de volgende spectra: basisspectrum, ochtendblauw, continu verrood, avond verrood, ochtendblauw met continu verrood en ochtendblauw met avond verrood. Ochtendblauw betekende een verhoogd aandeel blauw in de belichting uren tijdens de nacht vanuit de hypothese dat de activatie van de huidmondjes de sapstroom zou stimuleren. De toevoeging van verrood als stuurlicht volgt vanuit het idee dat verrood plantarchitectuur, bloei-inductie en assimilantentransport positief kan beïnvloeden om de lichtefficiëntie van led te verhogen.

Gedurende de teelt traden heel wat verschillen op met betrekking tot de plantontwikkeling. Het gewas onder ochtendblauw kende bijvoorbeeld de vlotste plantontwikkeling, maar plantkwaliteit volgde die groei niet. Uiteindelijk kon tijdens de proef geen meerwaarde van het hogere percentage blauw worden aangetoond. Verrood gaf een duidelijk effect op plantontwikkeling, plantkwaliteit en productie. De plantontwikkeling werd beïnvloed door een tragere lengtetoeename, minder bladontwikkeling, kleiner blad, minder abortie en een hogere bloem in de plant. Een betere plantkwaliteit uitte zich door een horizontaal vlakker blad met langere bladsteel, waardoor het bladoppervlak beter georiënteerd stond ten opzichte van de lampen. De productie was met verrood ook hoger, wat resulteerde in een betere lichtefficiëntie t.o.v. een full led-spectrum zonder verrood. De lichtefficiëntie lijkt gemiddeld beter dan bij de planten onder SON-T, maar dit was niet significant. Avond verrood volgde die lijn van continu verrood, maar in mindere mate

De plantkwaliteit onder continu verrood werd ook als beter beoordeeld (visuele beoordeling). Door het begeleidingscomité werd aangegeven dat er potentieel was om hogere opbrengsten te behalen, als er afzonderlijk kon worden gestuurd. Een beeld dat ook bij de planten onder de hybride belichting werd gezien. Die laatste scoorde gelijklopend met SON-T, maar had meer overschot. Hybride belichting is efficiënter dan SON-T, maar behoudt deels de karakteristieken van SON-T en vormt daardoor een mogelijke tussenstap in de transitie naar full led.

Er werd onder het hybride belichtingssysteem ook een teelttechniekproef aangelegd, waarbij zowel strategieën met hogere stengeldichtheden als oogsten op verschillend vruchtgewicht werden geëvalueerd. Deze proef leert dat optimalisatie van de lichtefficiëntie in het voorjaar mogelijk is door een toename van het aantal stengels bij toenemend natuurlijk licht. Oogsten moet gebeuren in functie van de plant én niet in functie van het oogstgewicht om een goede balans en vlotte productie te behouden. Daarbij blijft het belangrijk om steeds te vertrekken vanuit het beschikbare licht, de bladafplitsing en de vruchtdunning.

# Inhoudstafel

|   |    |
|---|----|
| Samenvatting .....                                  | 3  |
| Inleiding .....                                     | 5  |
| A. Proefopzet .....                                 | 6  |
| 1. Teeltgegevens .....                              | 7  |
| 2. Beoordelingen .....                              | 8  |
| 3. Statistische verwerking.....                     | 8  |
| B. Resultaten en bespreking spectrumproef .....     | 9  |
| 1. Plantontwikkeling.....                           | 9  |
| 1.1 Lengtegroei.....                                | 9  |
| 1.2 Stengeldiameter .....                           | 12 |
| 1.3 Bladafsplitsing .....                           | 14 |
| 1.4 Bladoppervlakte.....                            | 17 |
| 2. Plantbalans .....                                | 19 |
| 2.1 Bladeren boven open bloem .....                 | 19 |
| 2.2 Vruchten vanaf open bloem .....                 | 21 |
| 2.3 Bladeren onder open bloem.....                  | 23 |
| 3. Biomassa bladeren.....                           | 25 |
| 4. Opbrengst.....                                   | 27 |
| 4.1 Effect van verrood licht .....                  | 27 |
| 4.2 Effect van extra blauw licht in de ochtend..... | 32 |
| 4.3 Vruchtgewicht .....                             | 35 |
| 5. Lichtefficiëntie .....                           | 37 |
| C. Resultaten en bespreking teelttechnieken .....   | 41 |
| 1. Extra stengels aanhouden .....                   | 41 |
| 2. Verschillende doelooftgewichten aanhouden .....  | 42 |
| D. Conclusies .....                                 | 47 |
| 1. Effect van het belichtingsspectrum .....         | 47 |
| 2. Effect van de teelttechniek .....                | 51 |
| Referenties .....                                   | 52 |
| Bijlage 1 .....                                     | 53 |

## Inleiding

Tot 20 jaar geleden was een komkommerteelt tijdens de wintermaanden in de Vlaamse- en Nederlandse glastuinbouw ondenkbaar. Omwille van het geringe licht in deze periode kan het gewas niet optimaal groeien, waardoor de productie en de kwaliteit van de vruchten ondermaats blijven. Om jaarrond hoogkwalitatieve komkommers aan te bieden aan handelaars en grootwarenhuizen is assimilatiebelichting in de meest donkere periode van het jaar noodzakelijk. In de eerste belichtingsproeven werden Hogedruk Natriumlampen (HPS; 'High Pressure Sodium'), type SON-T gebruikt. Doordat de SON-T-lampen radiatiewarmte uitzenden, is het noodzakelijk dat deze lampen op voldoende afstand boven het gewas worden opgehangen om schade aan de plant en aan de vruchten te voorkomen (Hovi *et al.*, 2004, Hovi-Pekkanen & Tahvonen, 2008). Omwille van deze radiatiewarmte zijn SON-T-lampen begrensd inzake lichtintensiteit. Bovendien dooft, door de SON-T-lampen boven het gewas te hangen, het assimilatielicht snel uit in het gewas (vergelijkbaar met natuurlijk daglicht).

Een alternatief voor deze SON-T-lampen vindt men terug in led-lampen. In het verleden werden in de komkommerteelt hiermee reeds verschillende onderzoeken uitgevoerd, maar pas vanaf 2018 nam de ontwikkeling sterk toe. De keuze valt op led doordat de belichtingsefficiëntie vele malen hoger is dan deze van SON-T-lampen ( $\mu\text{mol PAR J}^{-1}$  elektriciteit). Daarnaast kan deze efficiëntie nog steeds verbeterd worden (Ouzonis *et al.*, 2015). Tot slot zenden led-lampen minder radiatiewarmte uit, waardoor de intensiteit van de lampen verhoogd kan worden zonder schade toe te brengen aan de plant of vrucht. Ook kunnen led-lampen hierdoor gebruikt worden als tussenbelichting in dichte gewassen.

Uit recent onderzoek is reeds gebleken dat de warmteproductie van led-lampen op een andere manier verdeeld is ten opzichte van de warmteproductie afkomstig van SON-T-lampen. Led-lampen stralen dubbel zo veel convectiewarmte uit en de helft minder radiatiewarmte (Philips, 2015). Dit zorgt ervoor dat het merendeel van de warmte, geproduceerd door led naar boven wordt uitgezonden, terwijl het merendeel van de warmte, geproduceerd door SON-T naar beneden richting het gewas wordt gestuurd. Hierdoor wordt een lagere kop- en bladtemperatuur waargenomen onder led-verlichting, waardoor het noodzakelijk is om de buistemperatuur te verhogen (Jokinen *et al.*, 2011). Led-lampen zorgen met hun belichtingsefficiëntie dus voor een verlaging van het elektriciteitsverbruik, al gaat een deel van deze besparing verloren aan de productie van extra warmte.

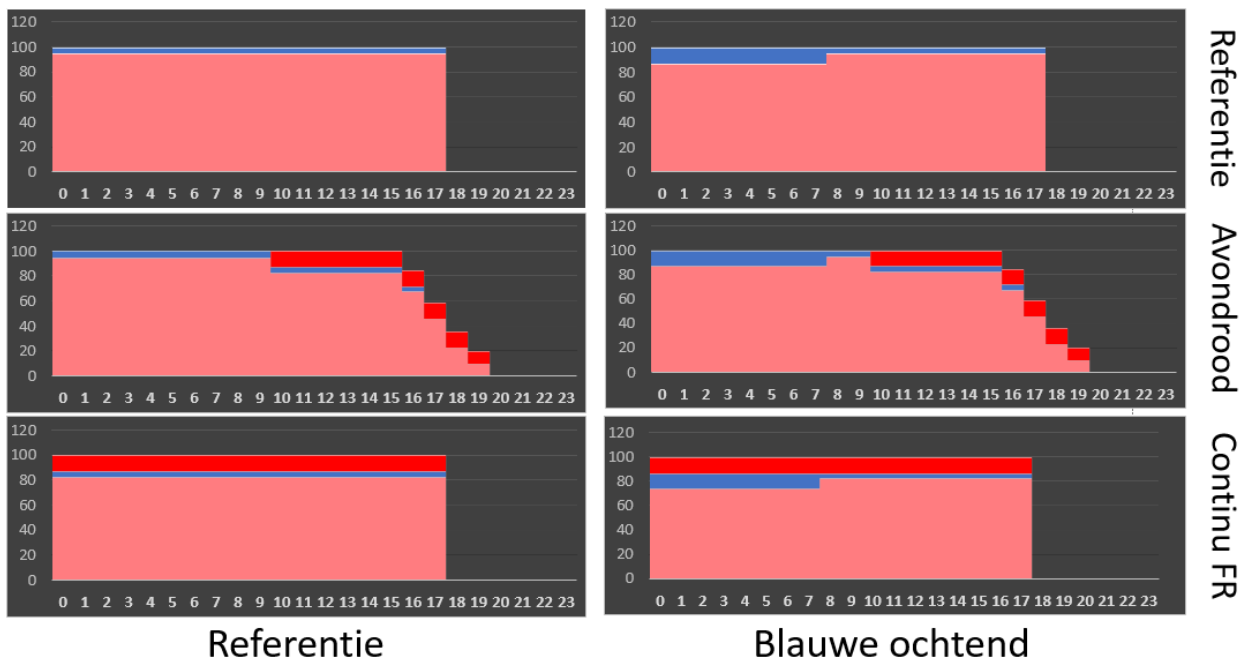
Op dit moment staat de vergelijking van SON-T-belichting met led-belichting alsook het effect op plantgroei, plantontwikkeling, productie en energie-efficiëntie nog in zijn kinderschoenen. Daarnaast bleek het kopiëren van het reguliere tomatenrecept (95% rood en 5% blauw) niet succesvol voor de komkommerteelt, waardoor meer onderzoek nodig is naar het vinden van het optimale komkommerspectrum (De Win, 2019).

Dankzij het Interreg-project GLITCH kon dit jaar verder onderzoek uitgevoerd worden naar een duurzame en kwaliteitsvolle komkommerteelt gedurende de meest donkere periode van het jaar. Hierbij werd de invloed van verschillende spectra full led-toplight op plantkwaliteit en opbrengst in komkommer vergeleken met een SON-T- of een hybridebelichtingssysteem. In totaal werden zes verschillende spectra getest op het gewas waarbij het basisspectrum, bestaande uit 95% rood licht en 5% blauw licht gekozen werd als referentie. De vijf andere spectra zijn steeds een afgeleide van het basisspectrum, waarbij enerzijds het percentage blauw-, rood- en verrood licht varieert en anderzijds het belichtingsmoment. Onder het hybridebelichtingssysteem werd nog een bijkomende proef met teelttechnieken uitgevoerd, waarbij telkens de plantdensiteit alsook het streefoogstgewicht verschilde. De gehele belichtingsproef werd uitgevoerd op een hogedraadsysteem.

## A. Proefopzet

Voor dit onderzoek is kasafdeling 25 met een afmeting van 24 m breedte op 35 m lengte (840 m<sup>2</sup>) gebruikt. De proef werd uitgevoerd op het ras Hi Power (Zaadhuis Nunhems), dat geplant werd aan 2,5 planten per m<sup>2</sup>. In het linkse deel van de serre werd belicht met SON-T, in het midden met een hybridebelichtingssysteem en in het rechtse deel werd belicht met full led-lampen. De lampen hangen op 4,5 meter boven de goot. De SON-T-lampen (Gavita) hebben een belichting van 180  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . De hybride- en led-belichting werd ingesteld op 200  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , maar in de praktijk zijn de gemeten waarden bij de leds verschillend aan de theoretische waarde. Het verschil in intensiteit is minimaal en verwaarloosbaar, waardoor de belichtingssystemen nog steeds met elkaar vergeleken kunnen worden aan de hand van de lichtefficiëntie. De hybride lampen bestaan voor 55% uit led (Signify) en 45% uit SON-T en hebben een totale belichting van 200  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Hier werden twee oogststrategieën getoetst volgens beoogd oogstgewicht: 400 gram voor 'hybride 400+' en 350 gram voor 'hybride 350+'. Tot slot hebben de full led-lampen (Mechatronix) een effectieve straling van 190  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . De lampen branden 18 uur per etmaal en gaan automatisch uit wanneer de invallende straling van de zon meer dan 350 W m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> bedraagt.

De full led-lampen hebben zes diverse spectra, deze worden teruggevonden in figuur 1.



**Figuur 1:** Schematische weergave van de verschillende lichtspectra

Het basisspectrum, bestaande uit 95% rood licht en 5% blauw licht wordt als referentie genomen. In het rood licht bevindt zich ook nog een beetje blauw- en wit licht, maar deze hoeveelheid is verwaarloosbaar. Het tweede spectrum krijgt de naam 'avond verrood' (FR; 'far red') en heeft voor een groot deel van de dag hetzelfde spectrum als het basisspectrum. De laatste acht belichtingsuren van de dag wordt 13% verrood licht toegediend. Naarmate het einde van belichtingstijd nadert, neemt de hoeveelheid licht af met de intentie om een avond na te bootsen, waarbij de ratio rood en verrood nadert naar 1. De totale intensiteit blijft steeds dezelfde. Het derde spectrum wordt 'continu FR' genoemd. De spectrale verhoudingen van dit spectrum zijn opgedeeld in 83% rood licht, 4% blauw licht en 13% verrood licht. Het vierde spectrum bestaat uit het referentiespectrum waaraan dagelijks tijdens de eerste acht belichtingsuren 13% blauw licht wordt toegevoegd. Dit spectrum wordt 'ochtendblauw (OB)' genoemd. Het vijfde spectrum krijgt de naam 'OB + avond FR' en is een combinatie van extra blauw licht gedurende de eerste acht belichtingsuren en afbouwend extra verrood licht gedurende de laatste acht belichtingsuren. Tot slot is het zesde

spectrum een combinatie van het continu FR-spectrum, aangevuld met 13% blauw licht gedurende de eerste acht belichtingsuren. Dit spectrum krijgt de naam 'OB + continu FR'.

Hoewel de spectrale verhoudingen van elkaar, alsook de belichtingsmomenten variëren, zal de totale instraling per dag van de verschillende belichtingsystemen aan elkaar gelijk zijn. Ook werd de kop van de planten allemaal op eenzelfde hoogte gehouden, zodanig dat het aanbod licht voor elke plant evenveel was.

Naast de belichtingsproef werd onder het hybridebelichtingssysteem twee teelttechnieken onderzocht. In tabel 1 wordt een samenvatting van de teelttechnieken weergegeven. Enerzijds werden extra stengels aangehouden om de invloed van stengeldichtheid te bepalen, anderzijds werden twee verschillende gewichtsklassen geoogst. In teelttechniek 2, 4 en 5 werd per vier planten één extra stengel aangehouden, dus van 2,5 naar 3,125 stengels per m<sup>2</sup>. In teelttechniek 6 werden per vier planten twee extra stengels aangehouden (=3,75 stengels per m<sup>2</sup>). In teelttechnieken 1 en 3 bleef de dichtheid behouden op 2,5 planten per m<sup>2</sup>. Daarnaast werd een onderscheid gemaakt in het beoogde oogstgewicht. In technieken 1 en 2 werden vruchten geoogst als ze minstens 400 gram wogen. Bij de andere teelttechnieken werd bij minimum 350 gram geoogst. Technieken 4 en 5 hebben dezelfde behandeling gekregen.

**Tabel 1:** Proefopzet teelttechnieken

| <b>Behandeling</b> | Oogstgewicht | Extra stengel per vier planten | Plantdichtheid (stengels/m <sup>2</sup> ) |
|--------------------|--------------|--------------------------------|---|
| Teelttech 1        | 400+         | 0:4                            | 2,500                                     |
| Teelttech 2        | 400+         | 1:4                            | 3,125                                     |
| Teelttech 3        | 350+         | 0:4                            | 2,500                                     |
| Teelttech 4        | 350+         | 1:4                            | 3,125                                     |
| Teelttech 5        | 350+         | 1:4                            | 3,125                                     |
| Teelttech 6        | 350+         | 2:4                            | 3,750                                     |

## 1. Teeltgegevens

Komkommerplanten (*Cucumis sativus*) van variëteit Hi Power werden gezaaid bij een externe plantenkweker. Op 29 oktober zijn de planten op de steenwolmatten geplaatst. Hierbij werd voor een plantdichtheid van 2,5 planten per m<sup>2</sup> gekozen.

Gedurende deze proef werd een nacht van zes uur aangehouden, waarbij in de donkerste wintermaanden etmalen net onder 21°C werden gerealiseerd. De lichten werden gedoofd omstreeks 18 uur, waarna de temperatuur werd teruggebracht naar 17,5°C. Vanaf 22 uur werd de temperatuur terug opgebouwd naar 19 à 19,5°C bij de start van de assimilatiebelichting om middernacht. Van zodra de zon opkwam, steeg de temperatuur geleidelijk naar 23,5°C, waarbij verluchting op +0,5°C en instraling op +3,0°C werden ingesteld. Tijdens de assimilatie-uren werd de CO<sub>2</sub>-dosering voorzien aan 600 ppm, tijdens de dag op 800 ppm. Er werd een druppel-EC van 3,3 gegeven om een mat-EC van 4,4 te bekomen. Tijdens de assimilatie-uren werden drie gietbeurten gerealiseerd. De belichting werd vanaf 21 november 2019 gefaseerd opgebouwd –later dan voorzien door de opbouw van een nieuwe serre- en vanaf eind maart uitgedoofd. Vanaf een instraling van 350 W werd de belichting uitgeschakeld. In bijlage 1 worden de behaalde lichtsommen en branduren weergegeven.

Vanaf eind januari vallen planten in de afdeling uit door een ziekte op de stengels. Na uitplanting blijkt het om een infectie van *Acremonium sclerotigenum* te gaan. Deze *A. sclerotigenum* is nog niet beschreven op komkommer, maar

wel op komkommerachtigen. In de eerste helft van februari kregen we de schimmel onder controle. Naast *A. sclerotigenum* bleken planten gevoelig voor *Pythium spp.* en witziekte. Om deze ziekten onder controle te houden werd meermaals een behandeling uitgevoerd.



**Figuur 2:** een stengel aangetast met *Acremonium sclerotigenum*. De stengel verkurkte onder het snijoppervlak en de plant stierf af. Infecties ontstonden op slecht afgesneden knopen. Bij uitplating bleken vaak meerdere secundaire schimmels aanwezig.

## 2. Beoordelingen

Tijdens dit onderzoek werd de plantontwikkeling (lengtegroei, stengeldiameter, bladafsplitsing en bladoppervlakte), plantbalans (bladeren boven en onder open bloem en vruchten vanaf open bloem) en opbrengst (kg/m<sup>2</sup>, aantal vruchten/m<sup>2</sup> en vruchtgewicht) gemeten. De plantmetingen onder HPS en hybride werden opgestart op 5 november 2019. De plantmetingen onder full led werden opgestart in het kader van een bachelorproef met start op 11 februari 2020. Echter, de producties van de hele proef, met uitzondering van de objecten onder SON-T, werden pas bijgehouden vanaf 7 januari 2020 omdat dan pas alle lampen volledig functioneel waren. Daarnaast werd het vers- en drooggewicht van enkele bladeren per behandelingen bepaald en werd de lichtefficiëntie van de verschillende belichtingssystemen in kaart gebracht.

## 3. Statistische verwerking

Statistische verwerking gebeurde met een One-way ANOVA test op invloed van de behandeling met betrouwbaarheidsinterval 0,95. Als er verschillen aangetoond werden, volgde een Tukey multiple comparison test met betrouwbaarheidsniveau van 95%. Resultaten waar dezelfde letter in voorkomen zijn niet significant verschillend. Resultaten met verschillende letters mogen als significant verschillend worden beschouwd. Bij niet normaal verdeelde data werd een Kruskal-Wallis test gebruikt, aangevuld met een Pairwise-Wilcoxon test. Dit wordt in de tabellen telkens aangeduid met een '\*\*'.



## B. Resultaten en bespreking spectrumproef

### 1. Plantontwikkeling

De plantontwikkeling werd opgevolgd door tweewekelijkse metingen van de lengtetoeename van de stengel, het aantal afgesplitste bladeren, de stengeldiameter en de oppervlakte van de uitgegroeide bladeren. De resultaten worden hieronder besproken.

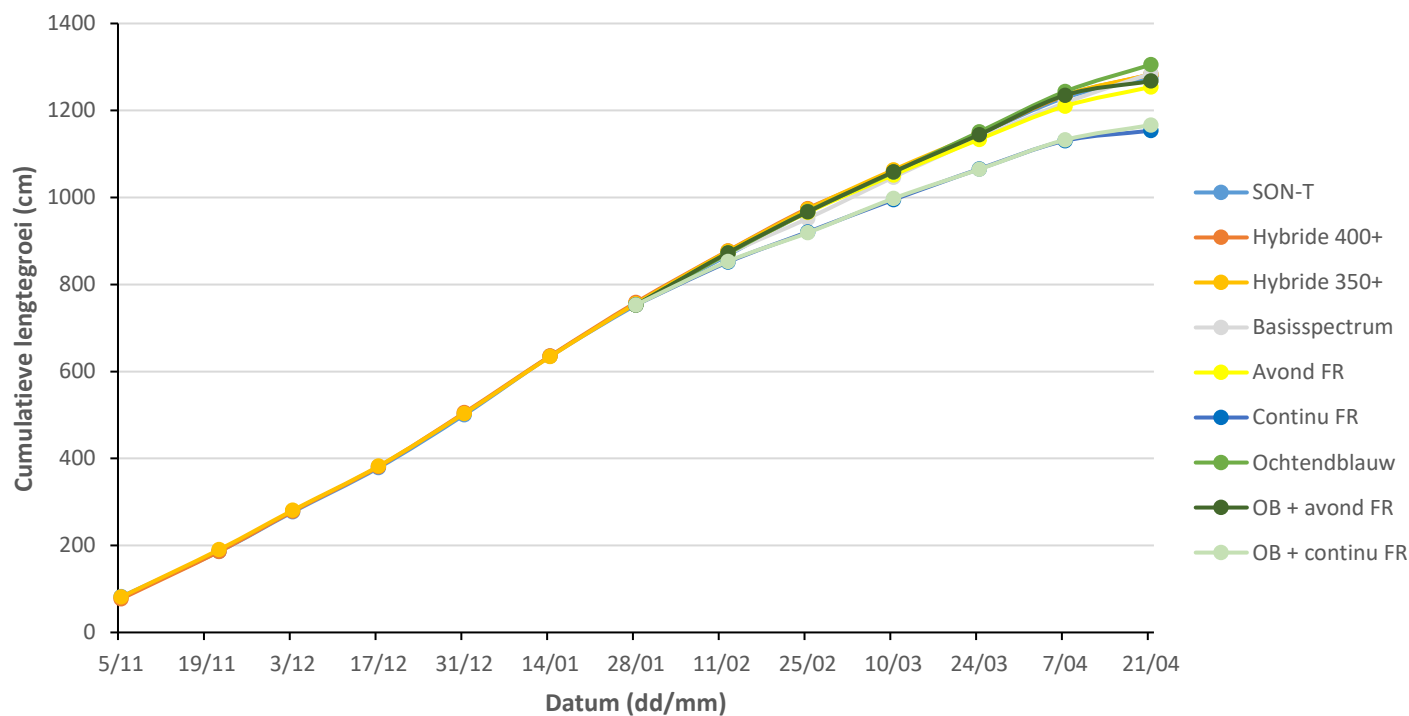
#### 1.1 Lengtegroei

De lengtegroei werd opgevolgd door een tweewekelijkse meting van de lengtetoeename. Op het einde van de teelt worden verschillen tot 1,5 meter tussen de gemiddelden van de objecten vastgesteld tussen de kortste en langste planten. De langste planten bevinden zich onder ochtendblauw en OB + avond FR. Deze plantlengtes zijn significant langer dan de beide objecten met continu FR. In gemiddelde wekelijkse toename geeft dat een verschil van 51,4 cm (OB + avond FR) t.o.v. 44,9 cm (continu FR), of 6,5 cm groeiverschil per week. De andere objecten kennen een lengte die tussenin ligt en opvallend vlak bij elkaar liggen rond 12,8 meter. Deze lengte zijn niet significant langer of kleiner dan de bovengenoemden. De totale lengten eindigden dus voor de meeste planten ruim boven de 12 meter. De lengte van 12 meter wordt in de praktijk beschouwd als lengtegrens; bij verdere toename zal de productie wegzakken. Meer onderzoek naar het effect van plantlengte op de productie is echter nog nodig.

Wanneer dieper wordt ingegaan op de tweewekelijkse toenames, valt op dat het verschil in lengtetoeename al vanaf het begin aanwezig is en steeds wordt uitgebreid. Vooral de zwakke groei van de objecten onder continu FR vallen op. Een deel van die zwakkere groei onder continu FR valt te verklaren door de lagere bladafplitsing over de totale lengte. Bij continu verrood werden er gemiddeld 146,0 bladeren afgesplitst t.o.v. 156,6 bladeren voor de objecten onder het basisspectrum en 153,9 voor de objecten onder avond FR, of zo'n 10 tot 8 bladeren minder. Dat in rekening gebracht, brengt de gemiddelde internodiën lengte op 8,25 voor basisspectrum, 8,43 voor avond FR en 7,96 voor continu FR. Er blijft dus een lengteverschil aanwezig van 0,3 tot 0,5 cm per blad, of 30 tot 50 cm per 100 bladeren. Op zich is een kortere internodiën lengte niet verkeerd, al hadden we hier een ander resultaat verwacht. Verrood werkt namelijk op de strekking van de plant (Drumm-Herrel *et al.*, 1991; Schrager-Lavelle *et al.*, 2016). Omgekeerd lijkt er een effect van het ochtendblauw die een grotere lengtetoeename stimuleert. Voor de volledigheid; de internodiën lengte van de planten onder SON-T was 8,02 cm en onder hybride 8,07 cm.

**Tabel 2:** Effect van het lichtspectrum op de cumulatieve lengtegroei (cm)

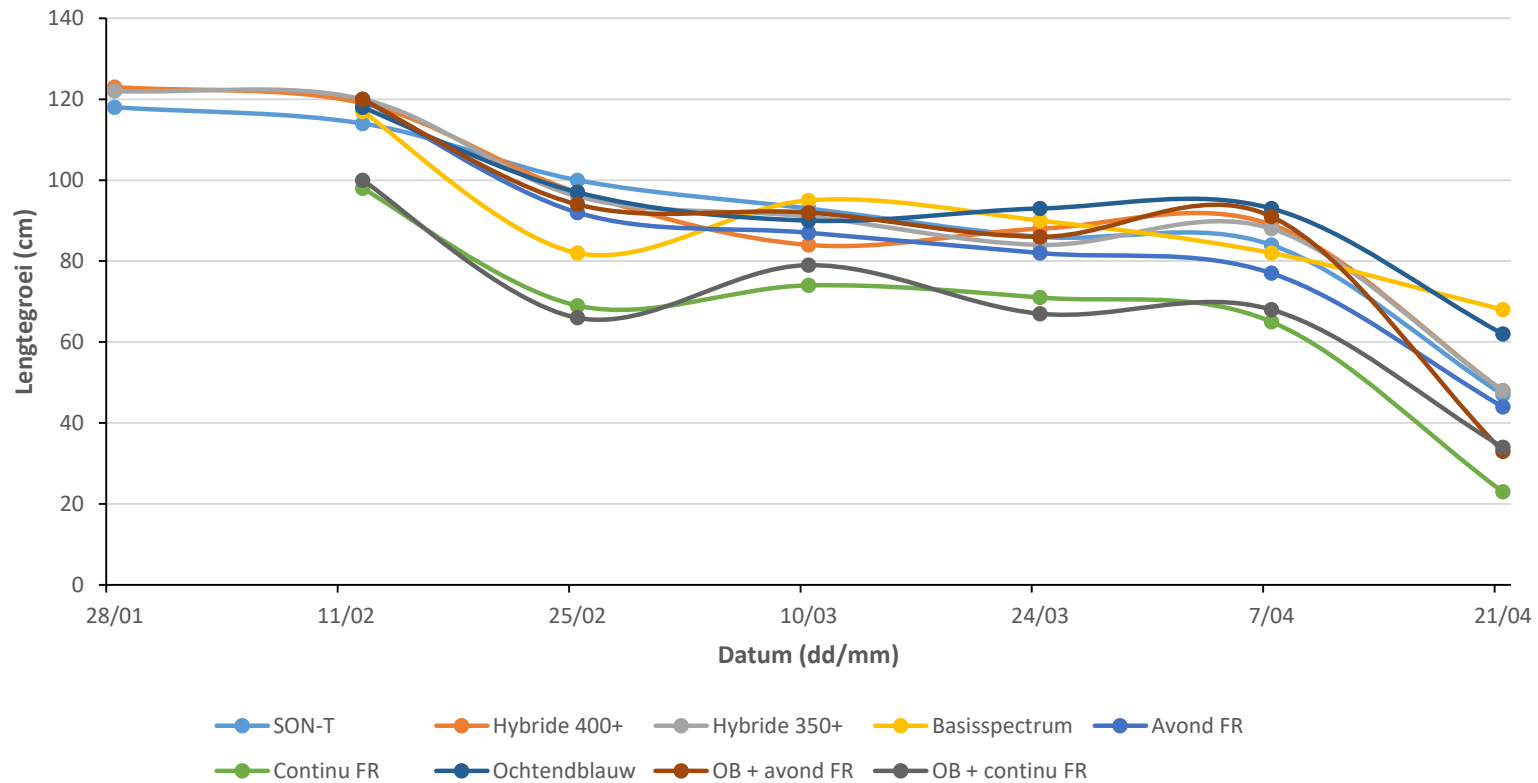
| Behandeling     | Meetdatum | 5-11-19 | 21-11-19 | 3-12-19 | 17-12-19 | 31-12-19 | 14-01-20 | 28-01-20 | 12-02-20 | 25-02-20 | 10-03-20 | 24-03-20 | 7-04-20 | 21-04-20 |
|-----------------|-----------|---------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|----------|
|                 |           | 45      | 47       | 49      | 51       | 1        | 3        | 5        | 7        | 9        | 11       | 13       | 15*     | 17*      |
| SON-T           |           | 82 a    | 186 a    | 277 a   | 379 a    | 501 a    | 635 a    | 753 a    | 867 a    | 967 ab   | 1060 ab  | 1146 a   | 1229 ab | 1276 ab  |
| Hybride 400+    |           | 77 a    | 186 a    | 279 a   | 381 a    | 505 a    | 636 a    | 759 a    | 877 a    | 975 ab   | 1058 ab  | 1146 a   | 1234 ab | 1283 ab  |
| Hybride 350+    |           | 81 a    | 191 a    | 281 a   | 382 a    | 504 a    | 634 a    | 756 a    | 876 a    | 973 ab   | 1063 ab  | 1148 a   | 1235 ab | 1283 ab  |
| Basisspectrum   |           |         |          |         |          |          |          | 749 a    | 866 a    | 948 ab   | 1043 ab  | 1132 ab  | 1214 ab | 1281 ab  |
| Avond FR        |           |         |          |         |          |          |          | 781 a    | 901 a    | 994 ab   | 1080 a   | 1162 a   | 1238 ab | 1282 ab  |
| Continu FR      |           |         |          |         |          |          |          | 757 a    | 855 a    | 925 b    | 999 b    | 1070 b   | 1134 b  | 1158 b   |
| Ochtendblauw    |           |         |          |         |          |          |          | 750 a    | 868 a    | 964 ab   | 1055 ab  | 1148 a   | 1240 ab | 1302 a   |
| OB + avond FR   |           |         |          |         |          |          |          | 798 a    | 918 a    | 1012 a   | 1104 a   | 1190 a   | 1280 a  | 1313 a   |
| OB + continu FR |           |         |          |         |          |          |          | 754 a    | 854 a    | 919 b    | 998 b    | 1065 b   | 1133 b  | 1167 b   |



**Figuur 3:** Grafische weergave van het effect van verschillende lichtspectra op de cumulatieve lengtegroei

**Tabel 3:** Effect van het lichtspectrum op de tweewekelijkse lengtegroei (cm)

| Behandeling \ Meetdatum | 5-11-19 | 21-11-19 | 3-12-19 | 17-12-19 | 31-12-19 | 14-01-20 | 28-01-20 | 12-02-20 | 25-02-20 | 10-03-20 | 24-03-20 | 7-04-20 | 21-04-20 |
|-------------------------|---------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|----------|
|                         | 45      | 47       | 49      | 51       | 1        | 3        | 5        | 7 *      | 9        | 11       | 13       | 15*     | 17*      |
| SON-T                   | 82 a    | 104 a    | 91 a    | 102 a    | 122 a    | 134 a    | 118 a    | 114 ab   | 100 a    | 93 ab    | 86 ab    | 84 ab   | 47 abc   |
| Hybride 400+            | 77 a    | 109 a    | 93 a    | 103 a    | 124 a    | 130 a    | 123 a    | 119 a    | 97 a     | 84 abc   | 88 ab    | 89 a    | 48 abc   |
| Hybride 350+            | 81 a    | 109 a    | 90 a    | 102 a    | 121 a    | 131 a    | 122 a    | 120 a    | 96 a     | 91 ab    | 84 abc   | 88 a    | 48 abc   |
| Basisspectrum           |         |          |         |          |          |          |          | 117 ab   | 82 abc   | 95 a     | 90 ab    | 82 ab   | 68 a     |
| Avond FR                |         |          |         |          |          |          |          | 120 a    | 92 ab    | 87 abc   | 82 bc    | 77 ab   | 44 abc   |
| Continu FR              |         |          |         |          |          |          |          | 98 b     | 69 bc    | 74 c     | 71 c     | 65 b    | 23 c     |
| Ochtendblauw            |         |          |         |          |          |          |          | 118 ab   | 97 a     | 90 abc   | 93 a     | 93 a    | 62 ab    |
| OB + avond FR           |         |          |         |          |          |          |          | 120 a    | 94 ab    | 92 abc   | 86 abc   | 91 a    | 33 c     |
| OB + continu FR         |         |          |         |          |          |          |          | 100 b    | 66 c     | 79 bc    | 67 c     | 68 b    | 34 bc    |



**Figuur 4:** Grafische weergave van het effect van verschillende lichtspectra op de tweewekelijkse lengtegroei

## 1.2 Stengeldiameter

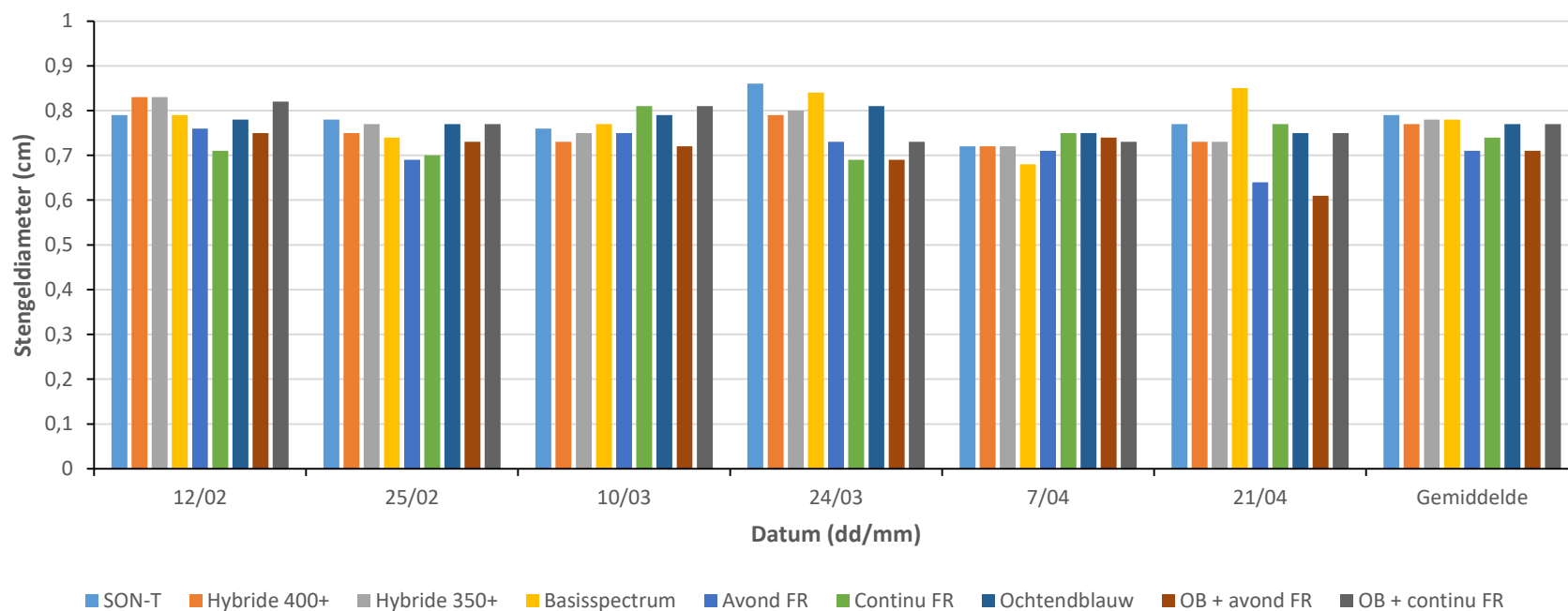
De stengeldiameter werd op ongeveer 20 cm van de kop gemeten. Deze meting werd vanaf week 7 bijgehouden.

In de gemeten stengeldiameters waren enkele significante verschillen waar te nemen. Zo was in week 7 de stengeldiameter van de planten onder de hybridebelichting significant dikker ten opzichte van deze onder het continu FR-spectrum. Dit effect zette zich niet voort tijdens de daaropvolgende weken. Tijdens de 13de week bleek de stengeldiameter van de objecten onder continu FR- en OB + avond FR-belichting significant dunner dan deze onder het basisspectrum en onder SON-T. Ook was de stengeldiameter onder het avond FR- en OB + continu FR-spectrum beduidend smaller dan deze onder SON-T-belichting. Deze vaststelling werd niet meer waargenomen in week 15, waar geen significante verschillen werden aangetoond. Tot slot was de stengeldiameter van de planten onder de twee spectra met avond FR significant verschillend van deze onder SON-T en het basisspectrum.

In het algemeen hadden de planten onder de objecten met avond FR de dunste stengeldiameter. Dit was significant verschillend van alle andere spectra, met uitzondering op het continu FR-spectrum. De planten onder SON-T en hybride 350+ beschikten dan weer over de dikste stengels.

**Tabel 4:** Effect van het lichtspectrum op de stengeldiameter (cm)

| Behandeling     | 12-02-2020<br>7 | 25-02-2020<br>9 | 10-03-2020<br>11* | 24-03-2020<br>13 | 7-04-2020<br>15 | 21-04-2020<br>17* | Gemiddelde |
|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|------------------|-----------------|-------------------|------------|
| SON-T           | 0,79 ab         | 0,78 a          | 0,76 a            | 0,86 a           | 0,72 a          | 0,77 a            | 0,79 a     |
| Hybride 400+    | 0,83 a          | 0,75 a          | 0,73 a            | 0,79 abc         | 0,72 a          | 0,73 ab           | 0,77 ab    |
| Hybride 350+    | 0,83 a          | 0,77 a          | 0,75 a            | 0,80 abc         | 0,72 a          | 0,73 ab           | 0,78 a     |
| Basisspectrum   | 0,79 ab         | 0,74 a          | 0,77 a            | 0,84 ab          | 0,68 a          | 0,85 a            | 0,78 ab    |
| Avond FR        | 0,76 ab         | 0,69 a          | 0,75 a            | 0,73 bc          | 0,71 a          | 0,64 b            | 0,71 c     |
| Continu FR      | 0,71 b          | 0,70 a          | 0,81 a            | 0,69 c           | 0,75 a          | 0,77 ab           | 0,74 bc    |
| Ochtendblauw    | 0,78 ab         | 0,77 a          | 0,79 a            | 0,81 abc         | 0,75 a          | 0,75 ab           | 0,77 ab    |
| OB + avond FR   | 0,75 ab         | 0,73 a          | 0,72 a            | 0,69 c           | 0,74 a          | 0,61 b            | 0,71 c     |
| OB + continu FR | 0,82 ab         | 0,77 a          | 0,81 a            | 0,73 bc          | 0,73 a          | 0,75 ab           | 0,77 ab    |



**Figuur 5:** Grafische weergave van het effect van verschillende lichtspectra op stengeldiameter

### 1.3 Bladafsplitsing

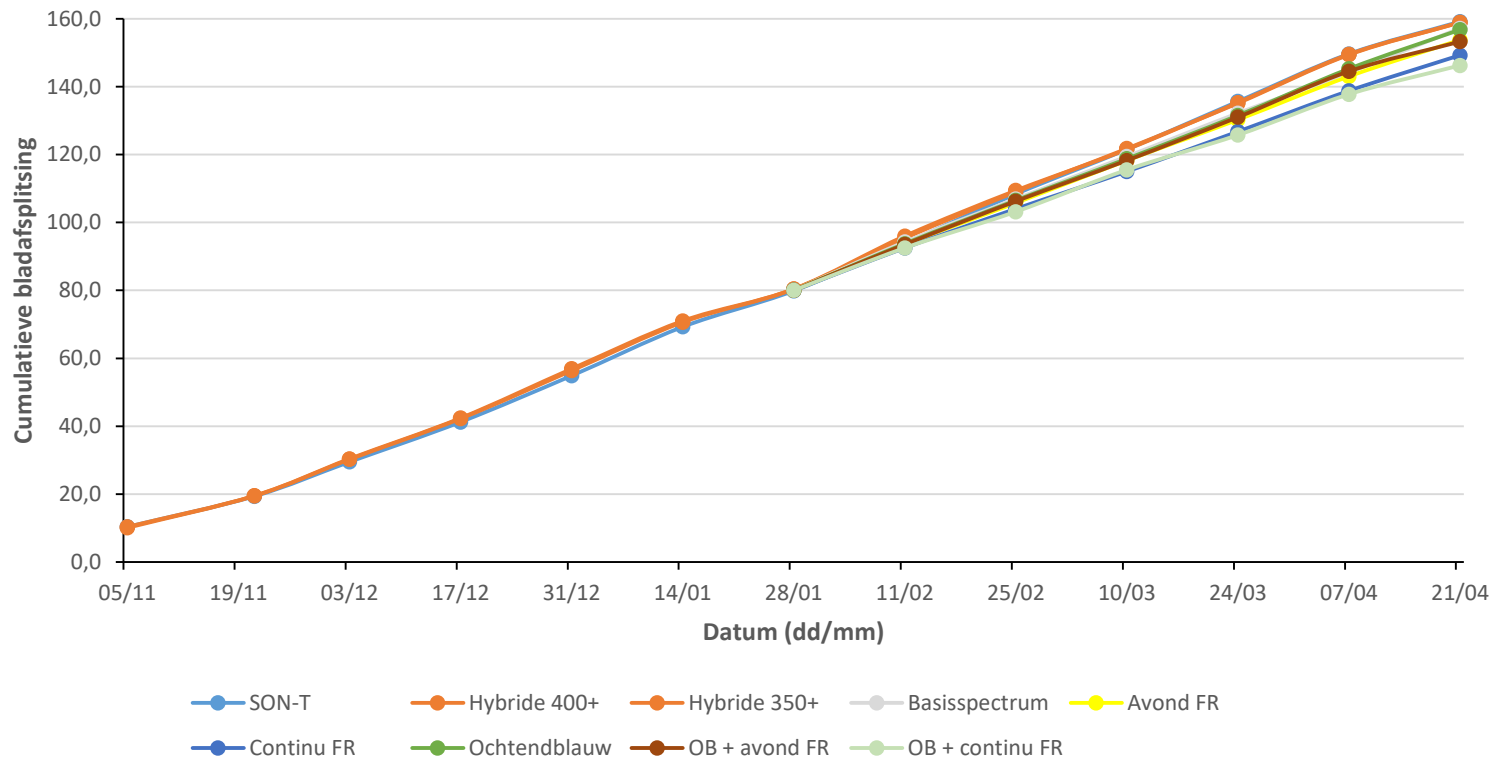
Aangezien de metingen onder full led pas later startten, werd het gemiddelde van het aantal bladeren bij SON-T en hybride genomen om de cumulatieve waarde op week 5 van full led te berekenen. Mogelijke verschillen die op dat moment aanwezig waren, zijn daarom niet zichtbaar. Het is ook niet uit te sluiten dat latere verschillen in werkelijkheid groter waren.

De verschillen inzake cumulatieve bladafsplitsing tussen de behandelingen liggen in dezelfde lijn als deze bij lengtegroei. Net zoals bij de lengtegroei zijn geen verschillen waar te nemen tussen SON-T- en hybridebelichting. Op 28 januari (week 5) is onder SON-T en hybride een sterke daling inzake bladafsplitsing te zien. Deze week was een vrij donkere periode. Daarnaast hing een te zware vruchtbalans aan de planten. Deze twee redenen verklaren de lage bladafsplitsing in week 5. Op zijn beurt wordt de productiedaling in week 9, weergegeven in figuur 13, verklaard door de lage bladafsplitsing in week 5. In week 9 verschilt het cumulatief aantal afgesplitste bladeren onder hybride significant van de objecten met continu FR. Dit verschil blijft tot het einde van de teelt aanhouden. Ook is het cumulatief aantal afgesplitste bladeren in week 9 beduidend hoger onder SON-T ten opzichte van deze onder OB + continu FR. In week 11 ligt het cumulatief aantal afgesplitste bladeren onder SON-T ook significant hoger dan deze onder het continu FR-spectrum. Dit verschil zet zich voort tot het einde van de teelt. Op 17 april werden de planten getopt. Dit verklaart de daling van gemiddelde afsplitsing in de periode tussen 7 en 21 april.

Algemeen: De planten onder de objecten met continu FR hadden het laagst aantal afgesplitste bladeren, weliswaar niet significant verschillend van de andere led-spectra maar wel van de SON-T- en hybridebelichting.

**Tabel 5:** Effect van het lichtspectrum op het cumulatief aantal afgesplitste bladeren

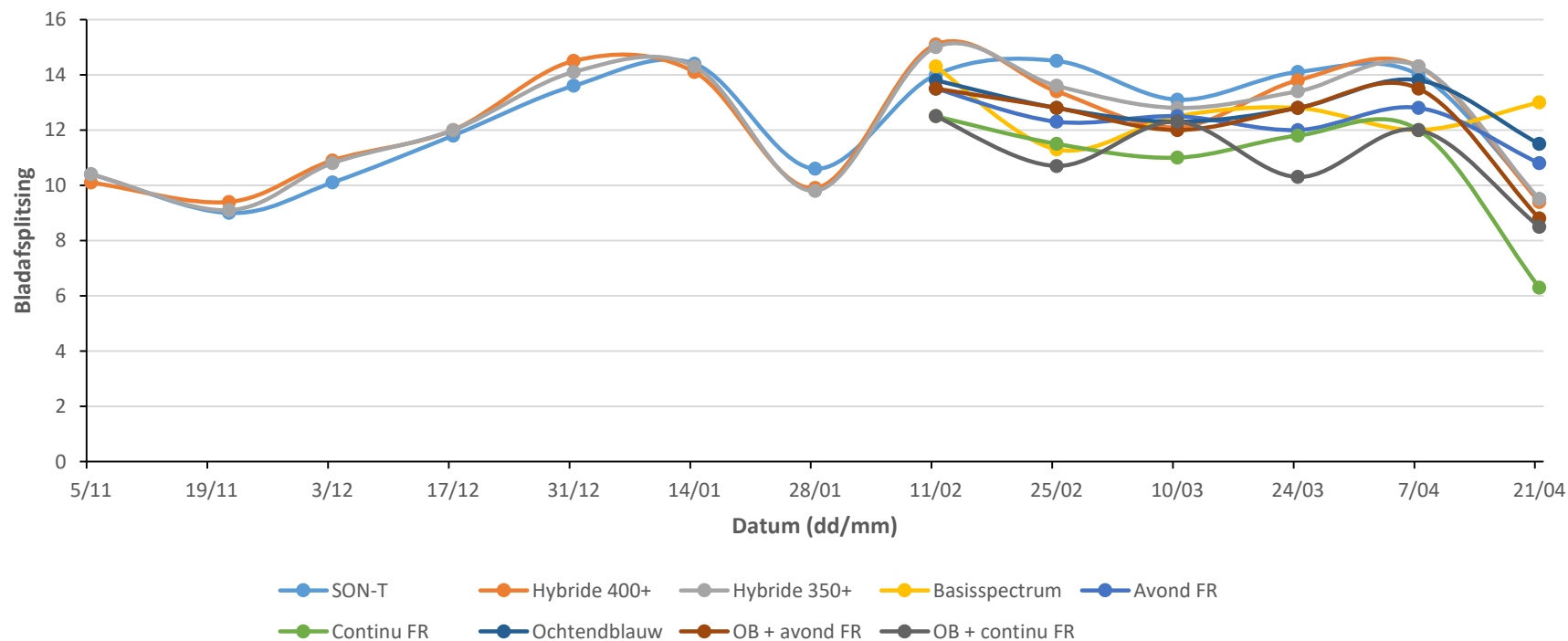
| Meetdatum          | 05-11-19 | 21-11-19 | 3-12-19 | 17-12-19 | 31-12-19 | 14-01-20 | 28-01-20 | 11-02-20 | 25-02-20  | 10-03-20  | 24-03-20 | 7-04-20  | 21-04-20 |
|--------------------|----------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|
| <b>Behandeling</b> | 45*      | 47*      | 49*     | 51*      | 1*       | 3*       | 5*       | 7*       | 9*        | 11*       | 13*      | 15*      | 17*      |
| SON-T              | 10,4 a   | 19,4 a   | 29,5 a  | 41,3 a   | 54,9 a   | 69,3 a   | 79,9 a   | 93,9 a   | 108,4 ab  | 121,5 a   | 135,6 a  | 149,6 a  | 159,1 a  |
| Hybride 400+       | 10,1 a   | 19,5 a   | 30,4 a  | 42,4 a   | 56,9 a   | 71,0 a   | 80,4 a   | 96,0 a   | 109,4 a   | 121,5 ab  | 135,3 a  | 149,5 a  | 158,9 a  |
| Hybride 350+       | 10,4 a   | 19,5 a   | 30,3 a  | 42,3 a   | 56,4 a   | 70,6 a   | 80,2 a   | 95,4 a   | 109,0 a   | 121,8 a   | 135,1 a  | 149,4 a  | 158,9 a  |
| Basisspectrum      |          |          |         |          |          |          | 80,0 a   | 94,6 a   | 105,9 abc | 118,4 abc | 131,1 ab | 143,1 ab | 156,1 ab |
| Avond FR           |          |          |         |          |          |          | 80,0 a   | 93,9 a   | 106,1 abc | 118,6 abc | 130,6 ab | 143,4 ab | 154,1 ab |
| Continu FR         |          |          |         |          |          |          | 80,0 a   | 92,9 a   | 104,4 bc  | 115,4 c   | 127,1 b  | 139,1 b  | 145,4 b  |
| Ochtendblauw       |          |          |         |          |          |          | 80,0 a   | 94,1 a   | 106,9 abc | 119,1 abc | 131,9 ab | 145,6 ab | 157,1 ab |
| OB + avond FR      |          |          |         |          |          |          | 80,0 a   | 93,9 a   | 106,6 abc | 118,6 abc | 131,4 ab | 144,9 ab | 153,6 ab |
| OB + continu FR    |          |          |         |          |          |          | 80,0 a   | 92,9 a   | 103,5 c   | 115,9 bc  | 126,1 b  | 138,1 b  | 146,6 b  |



**Figuur 6:** Grafische weergave van het effect van verschillende lichtspectra op het cumulatief aantal afgesplitste bladeren

**Tabel 6:** Effect van het lichtspectrum op het tweewekelijks aantal afgesplitste bladeren

| Meetdatum          | 05-11-19 | 21-11-19 | 3-12-19 | 17-12-19 | 31-12-19 | 14-01-20 | 28-01-20 | 11-02-20 | 25-02-20  | 10-03-20 | 24-03-20 | 7-04-20  | 21-04-20 |
|--------------------|----------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>Behandeling</b> | 45*      | 47*      | 49*     | 51*      | 1*       | 3*       | 5*       | 7*       | 9*        | 11*      | 13*      | 15*      | 17*      |
| SON-T              | 10,4 a   | 9,0 a    | 10,1 a  | 11,8 a   | 13,6 a   | 14,4 a   | 10,6 a   | 14,0 ab  | 14,5 a    | 13,1 a   | 14,1 a   | 14,0 ab  | 9,5 b    |
| Hybride 400+       | 10,1 a   | 9,4 a    | 10,9 a  | 12,0 a   | 14,5 a   | 14,1 a   | 9,9 a    | 15,1 a   | 13,4 abc  | 12,1 ab  | 13,8 a   | 14,3 a   | 9,4 b    |
| Hybride 350+       | 10,4 a   | 9,1 a    | 10,8 a  | 12,0 a   | 14,1 a   | 14,3 a   | 9,8 a    | 15,0 a   | 13,6 ab   | 12,8 ab  | 13,4 ab  | 14,3 ab  | 9,5 b    |
| Basisspectrum      |          |          |         |          |          |          |          | 14,3 ab  | 11,3 bcd  | 12,5 ab  | 12,8 abc | 12,0 bc  | 13,0 a   |
| Avond FR           |          |          |         |          |          |          |          | 13,5 b   | 12,3 bcd  | 12,5 ab  | 12,0 bc  | 12,8 abc | 10,8 ab  |
| Continu FR         |          |          |         |          |          |          |          | 12,5 b   | 11,5 cd   | 11,0 b   | 11,8 bc  | 12,0 c   | 6,3 b    |
| Ochtendblauw       |          |          |         |          |          |          |          | 13,8 ab  | 12,8 bcd  | 12,3 ab  | 12,8 abc | 13,8 abc | 11,5 ab  |
| OB + avond FR      |          |          |         |          |          |          |          | 13,5 b   | 12,8 abcd | 12,0 ab  | 12,8 abc | 13,5 abc | 8,8 ab   |
| OB + continu FR    |          |          |         |          |          |          |          | 12,5 b   | 10,7 d    | 12,3 ab  | 10,3 c   | 12,0 c   | 8,5 b    |



**Figuur 6:** Grafische weergave van het effect van het lichtspectrum op het tweewekelijks aantal afgesplitste bladeren



## 1.4 Bladoppervlakte

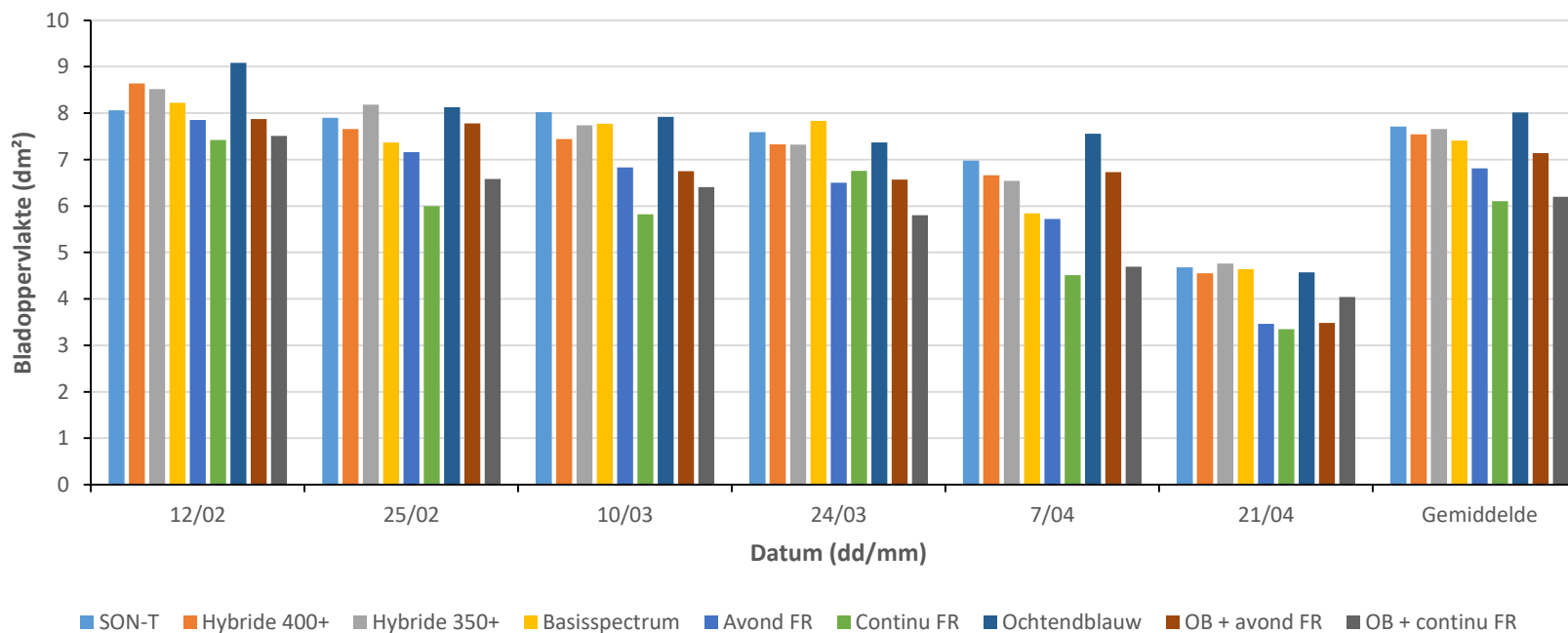
Vanaf week 7 werden van de bladeren die twee weken eerder afgesplitst waren de lengte en breedte gemeten. Deze worden vermenigvuldigd als maat voor de bladoppervlakte, hierbij wordt een abstractie gemaakt van de vorm van het blad. De bladoppervlaktes bij de laatste meting hadden een beduidend lagere waarde, zoals te zien is in tabel 7. Dit is te verklaren doordat enerzijds de planten werden getopt op 17 april, anderzijds was de natuurlijke lichtinstraling in deze periode relatief hoog, waardoor de plant geen groot blad moest aanmaken om voldoende licht te kunnen opvangen. Aangezien deze meting het eindresultaat negatief zou beïnvloeden, werden ze niet meegenomen in de eindberekening.

Vanaf week 9 traden significante verschillen op inzake bladoppervlakte. Het blad onder continu FR was beduidend kleiner ten opzichte van het blad onder SON-T, hybride en onder de led-spectra ochtendblauw en OB + avond FR. Het blad onder hybride 350+ was in week 9 ook significant groter dan het blad onder OB + continu FR. In week 11 bleek zowel het bladoppervlak onder SON-T als het bladoppervlak onder het ochtendblauw-spectrum significant te verschillen van het blad onder continu FR. Daarnaast was het blad onder SON-T ook significant groter dan het blad onder OB + continu FR. In week 13 verschilden enkel het bladoppervlak onder continu FR significant met de bladeren onder SON-T en het basisspectrum. Tijdens week 15 traden enkele significante verschillen op. Zo was het blad onder het spectrum ochtendblauw beduidend groter dan de bladeren onder de spectra avond FR, continu FR, OB + continu FR en het basisspectrum. Voorts waren ook de bladeren onder de objecten met continu FR significant kleiner in vergelijking met de bladeren onder SON-T en hybride.

Algemeen stonden de bladeren aan het gewas onder ochtendblauw gedurende deze teeltperiode het meest gekrompen. Door de stand van het blad kon de plant onvoldoende licht opnemen om aan een goede fotosynthese te doen. De plant compenseerde dit door grotere bladeren aan te maken zodanig dat een groter oppervlak beschikbaar werd voor lichtopname. Het gewas onder ochtendblauw had dan ook gemiddeld het grootste blad, 8,01 dm<sup>2</sup>. In tegenstelling tot het gewas onder ochtendblauw stonden de bladeren van de planten onder de objecten met continu FR meer horizontaal gestrekt, waardoor het dus aan een betere lichtonderschepping kon doen. Dit resulteerde in bladeren met gemiddeld de kleinste bladoppervlakten, 6,10 dm<sup>2</sup> en 6,20 dm<sup>2</sup>. De planten onder de objecten met avond FR stonden iets minder vlak met een iets groter bladoppervlak als gevolg. Verder geldt hier dezelfde verklaring, met name dat een optimalere lichtonderschepping een groter blad overbodig maakt. De planten onder SON-T- en hybridebelichting hadden een relatief groot bladoppervlak, die beduidend groter waren dan de planten onder de beide objecten met continu verrood.

**Tabel 4:** Effect van het lichtspectrum op het bladoppervlakte (dm<sup>2</sup>)

| Behandeling     | Meetdatum | 11-02-20 | 25-02-20 | 10-03-20 | 24-03-20 | 7-04-20 | 21-04-20 | Gemiddelde* |
|-----------------|-----------|----------|----------|----------|----------|---------|----------|-------------|
|                 | 7*        | 9        | 11       | 13       | 15       | 17      |          |             |
| SON-T           | 8,06 a    | 7,90 ab  | 8,02 a   | 7,59 a   | 6,98 ab  | 4,68 a  |          | 7,71 a      |
| Hybride 400+    | 8,64 a    | 7,66 ab  | 7,44 ab  | 7,33 ab  | 6,66 ab  | 4,55 a  |          | 7,55 ab     |
| Hybride 350+    | 8,52 a    | 8,18 a   | 7,74 ab  | 7,32 ab  | 6,54 ab  | 4,76 a  |          | 7,66 ab     |
| Basisspectrum   | 8,22 a    | 7,37 abc | 7,77 ab  | 7,83 a   | 5,84 bc  | 4,64 a  |          | 7,41 ab     |
| Avond FR        | 7,85 a    | 7,16 abc | 6,83 abc | 6,50 ab  | 5,72 bc  | 3,46 a  |          | 6,81 bcd    |
| Continu FR      | 7,42 a    | 6,00 c   | 5,82 c   | 6,76 ab  | 4,51 c   | 3,35 a  |          | 6,10 d      |
| Ochtendblauw    | 9,08 a    | 8,13 ab  | 7,92 ab  | 7,37 ab  | 7,56 a   | 4,57 a  |          | 8,01 a      |
| OB + avond FR   | 7,87 a    | 7,78 ab  | 6,75 abc | 6,57 ab  | 6,73 ab  | 3,48 a  |          | 7,14 abc    |
| OB + continu FR | 7,51 a    | 6,58 bc  | 6,41 bc  | 5,80 b   | 4,69 c   | 4,04 a  |          | 6,20 cd     |



**Figuur 8:** Grafische weergave het effect van verschillende lichtspectra op het bladoppervlak

## 2. Plantbalans

Om de groeibalans van de planten onder de verschillende belichtingssystemen met elkaar te kunnen vergelijken, werden naast visuele controle ook enkele parameters opgevolgd. Een eerste belangrijke parameter is de hoogte van de open bloem. Te veel bladeren boven de open bloem geeft aan dat de plant vegetatief groeit, weinig bladeren duidt dan weer op generatieve groei. Op een zelfde manier is het aantal bladeren van de bloem tot de laatste vrucht tweewekelijks geteld, wat een indicatie geeft van de tijd die nodig is om een oogstrijpe vrucht te vormen. Beide parameters samen geven het totale bladbehang van de plant weer. Daarnaast werd ook het aantal vruchten onder de open bloem geteld. Idealiter hangen zes à zeven vruchten aan de plant. Te weinig vruchten wijst op abortie of onevenwichtige groei, terwijl te veel vruchten wijst op opstapeling en/of het selectief uitgroeien van de vruchten.

### 2.1 Bladeren boven open bloem

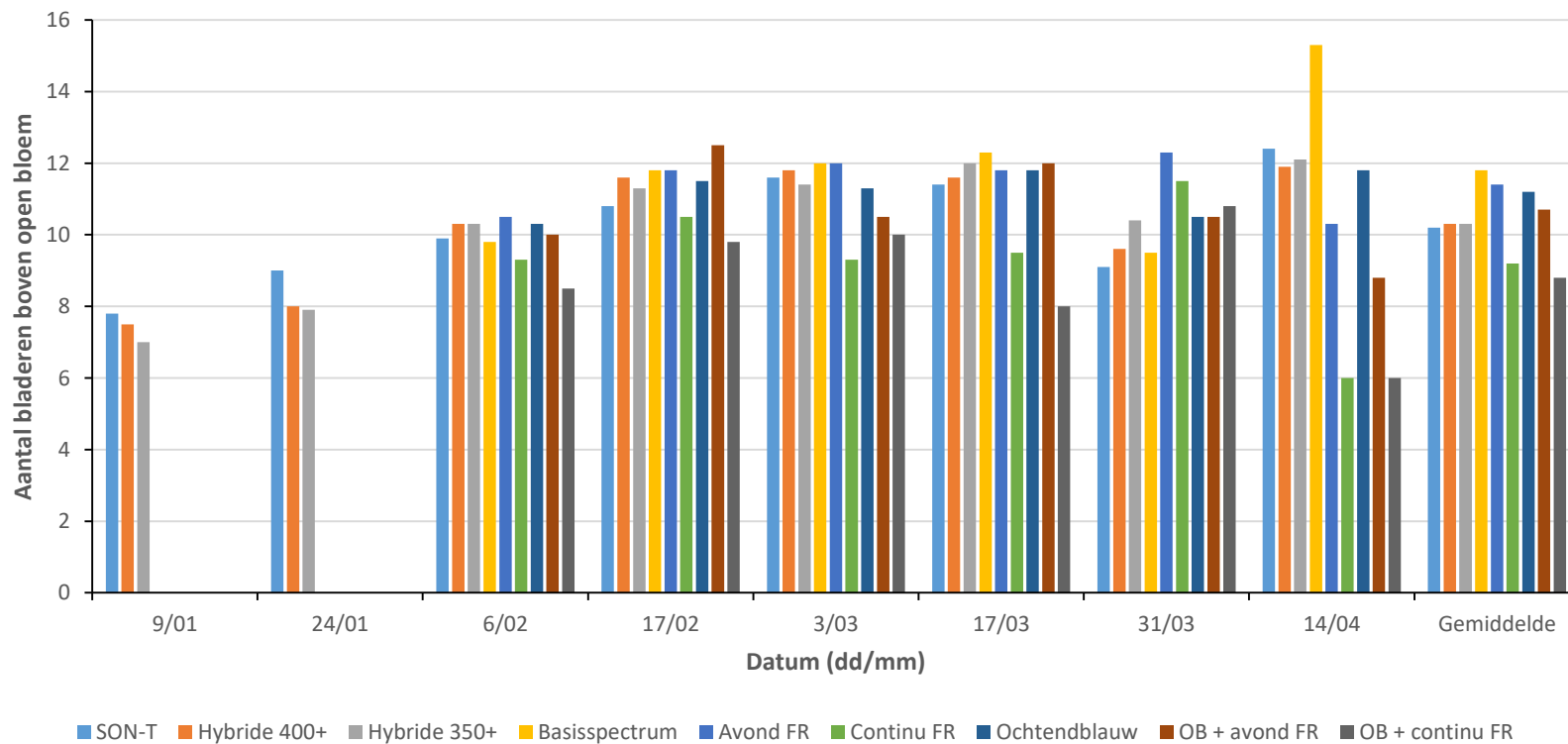
Vanaf de start van de telling tot week 10 traden nauwelijks significante verschillen op. Alleen in week 4 bevatten de planten onder SON-T beduidend meer bladeren boven de open bloem in vergelijking met de planten onder de hybridebelichting. De planten onder hybride waren op dat moment dus generatiever te noemen. In week 12 werden de eerste verschillen zichtbaar tussen de diverse led-spectra. De planten onder de objecten met continu FR telden significant minder bladeren boven de open bloem en stonden dus generatiever ten opzichte van de planten onder OB + avond FR-spectrum, basisspectrum en hybride. De planten vertoonden dit verschil niet meer in week 14. In week 16 werden wel nog verschillen gevonden. Zo bevatten de planten onder de objecten met continu FR opnieuw significant minder aantal bladeren boven de open bloem tegenover de planten belicht met SON-T en het basisspectrum. Daarnaast stonden ook de planten onder OB + avond FR generatiever vergeleken met de planten onder SON-T.

De bloem zat gedurende heel de proef vrij laag in het gewas. Idealer was geweest als de bloem ter hoogte van het 6<sup>e</sup> tot 8<sup>e</sup> blad bevond. De planten stonden vrij vol van blad, wat een hoge LAI betekent. Vanaf de winter van 2020-2021 is er daarom gekozen om periodiek blad bovenaan weg te halen, waardoor de bloem automatisch hoger komt te liggen en de plant iets generatiever wordt.

Algemeen kan gesteld worden dat een toevoeging van verrood licht aan het spectrum een vroege bloei induceert, wat overeenkomt met de literatuur. Echter, verrood licht pas in de avond toevoegen, blijkt geen verschil te geven. Voorts groeiden de planten onder het basisspectrum en ochtendblauw-spectrum gemiddeld meer vegetatief vergeleken met de planten onder de objecten met continu FR. Over de gehele teelt treedt er gemiddeld geen verschil op in generatieve/vegetatieve groei tussen de planten onder SON-T en het hybridebelichtingssysteem.

**Tabel 5:** Effect van het lichtspectrum op de ontwikkeling van de bloem, uitgedrukt in aantal bladeren boven de eerste open bloem

| Behandeling     | Meetdatum | 9-01-20<br>2* | 24-01-20<br>4* | 6-02-20<br>6* | 17-02-20<br>8* | 3-03-20<br>10* | 17-03-20<br>12* | 31-03-20<br>14* | 14-04-20<br>16* | Gemiddelde* |
|-----------------|-----------|---------------|----------------|---------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------|
| SON-T           |           | 7,8 a         | 9,0 a          | 9,9 a         | 10,8 a         | 11,6 a         | 11,4 ab         | 9,1 a           | 12,4 ab         | 10,2 bcd    |
| Hybride 400+    |           | 7,5 a         | 8,0 b          | 10,3 a        | 11,6 a         | 11,8 a         | 11,6 a          | 9,6 a           | 11,9 abc        | 10,3 abc    |
| Hybride 350+    |           | 7,0 a         | 7,9 b          | 10,3 a        | 11,3 a         | 11,4 a         | 12,0 a          | 10,4 a          | 12,1 abc        | 10,3 abc    |
| Basisspectrum   |           |               |                | 9,8 a         | 11,8 a         | 12,0 a         | 12,3 a          | 9,5 a           | 15,3 a          | 11,8 a      |
| Avond FR        |           |               |                | 10,5 a        | 11,8 a         | 12,0 a         | 11,8 ab         | 12,3 a          | 10,3 abc        | 11,4 ab     |
| Continu FR      |           |               |                | 9,3 a         | 10,5 a         | 9,3 a          | 9,5 b           | 11,5 a          | 6,0 c           | 9,2 cd      |
| Ochtendblauw    |           |               |                | 10,3 a        | 11,5 a         | 11,3 a         | 11,8 ab         | 10,5 a          | 11,8 abc        | 11,2 ab     |
| OB + avond FR   |           |               |                | 10,0 a        | 12,5 a         | 10,5 a         | 12,0 a          | 10,5 a          | 8,8 bc          | 10,7 abc    |
| OB + continu FR |           |               |                | 8,5 a         | 9,8 a          | 10,0 a         | 8,0 b           | 10,8 a          | 6,0 c           | 8,8 d       |



**Figuur 9:** Grafische weergave van het effect van verschillende lichtspectra op de ontwikkeling van de bloem, uitgedrukt in aantal bladeren boven de open bloem

## 2.2 Vruchten vanaf open bloem

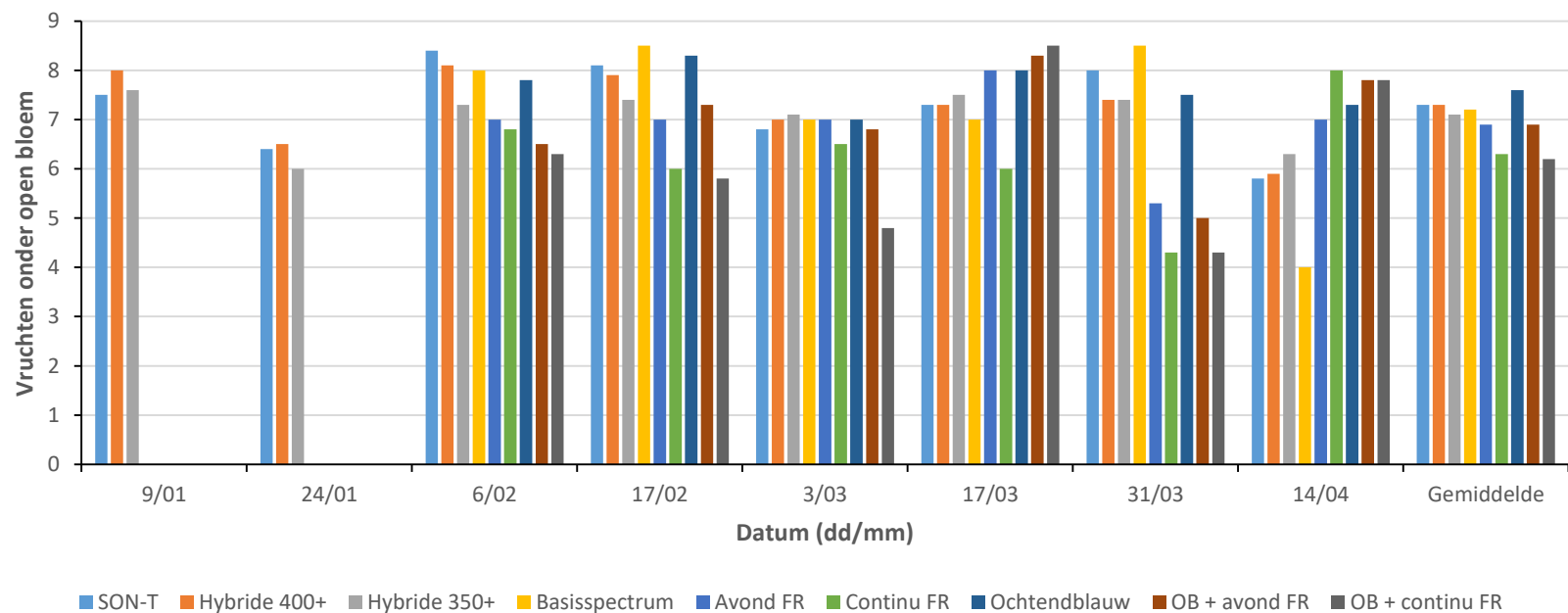
Het aantal vruchten per plant werd geteld om de vruchtuigroei in kaart te brengen. Idealiter hangen in onze opstelling zes à zeven vruchten aan de plant. Dit optimaal vruchtbehang, bekomen we bij de streefwaarde van 6,5 afgesplitste bladeren per week, bij om-en-om-vruchtdunning en beoogde vruchtuigroei duur van veertien dagen.

Gedurende de gehele teelt treden enkel in week 6 en week 14 significante verschillen op tussen de lichtbehandelingen. In week 6 werden significant minder vruchten geteld aan de planten onder OB + avond FR en OB + continu FR in vergelijking met het aantal vruchten geteld aan de planten onder SON-T en hybride 400+. Dit verschil ebt weg in de volgende weken, maar verschijnt terug in week 14. Op dat moment hangen opnieuw significant minder vruchten aan de plant onder OB + continu FR en OB + avond FR tegenover de vruchten aan de planten onder SON-T en onder het basisspectrum. Voorts telden de planten onder continu FR significant minder vruchten dan de planten onder het basisspectrum.

Algemeen worden het minst aantal vruchten teruggevonden onder de objecten met continu FR. Tijdens de teelt werd geen abortie waargenomen onder deze spectra. Integendeel, de vruchten onder de spectra met verrood groeiden erg snel uit. Hierdoor lijkt bevestigd te worden dat het verrood licht een positieve stimulans is voor de uitgroei van de vruchten. Hetzelfde effect werd ook waargenomen bij de objecten met avond FR, al blijkt dit niet significant te zijn. Onder het ochtendblauw-spectrum (zonder verrood) hingen gemiddeld de meeste vruchten aan de plant, maar dit is enkel significant hoger dan onder de full led-objecten met continu verrood. Gesteld kan worden dat verrood noodzakelijk is voor een snelle uitgroei van de vruchten. Ontbreekt dat verrood, dan neemt het aantal vruchten aan de plant toe en ontstaat er stapeling. De vruchtuigroei onder SON-T en hybride verschillen nauwelijks van elkaar. Wel hadden de vruchten onder hybride een mooiere kleur (groener), glans en vorm ten opzichte van de vruchten onder SON-T.

**Tabel 6:** Effect van het belichtingsspectrum op het vruchtbehang uitgedrukt in aantal aanwezige vruchten vanaf open bloem

| Behandeling \ Meetdatum | 9-01-20<br>2* | 24-01-20<br>4* | 6-02-20<br>6* | 17-02-20<br>8* | 3-03-20<br>10* | 17-03-20<br>12* | 31-03-20<br>14* | 14-04-20<br>16* | Gemiddelde* |
|-------------------------|---------------|----------------|---------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------|
| SON-T                   | 7,5 a         | 6,4 a          | 8,4 a         | 8,1 a          | 6,8 a          | 7,3 a           | 8,0 ab          | 5,8 a           | 7,3 ab      |
| Hybride 400+            | 8,0 a         | 6,5 a          | 8,1 a         | 7,9 a          | 7,0 a          | 7,3 a           | 7,4 abc         | 5,9 a           | 7,3 ab      |
| Hybride 350+            | 7,6 a         | 6,0 a          | 7,3 ab        | 7,4 a          | 7,1 a          | 7,5 a           | 7,4 abc         | 6,3 a           | 7,1 ab      |
| Basisspectrum           |               |                | 8,0 ab        | 8,5 a          | 7,0 a          | 7,0 a           | 8,5 a           | 4,0 a           | 7,2 ab      |
| Avond FR                |               |                | 7,0 ab        | 7,0 a          | 7,0 a          | 8,0 a           | 5,3 abc         | 7,0 a           | 6,9 ab      |
| Continu FR              |               |                | 6,8 ab        | 6,0 a          | 6,5 a          | 6,0 a           | 4,3 bc          | 8,0 a           | 6,3 b       |
| Ochtendblauw            |               |                | 7,8 ab        | 8,3 a          | 7,0 a          | 8,0 a           | 7,5 abc         | 7,3 a           | 7,6 a       |
| OB + avond FR           |               |                | 6,5 b         | 7,3 a          | 6,8 a          | 8,3 a           | 5,0 c           | 7,8 a           | 6,9 ab      |
| OB + continu FR         |               |                | 6,3 b         | 5,8 a          | 4,8 a          | 8,5 a           | 4,3 c           | 7,8 a           | 6,2 b       |



**Figuur 10:** Grafische weergave van het effect van verschillende lichtspectra op het vruchtbehang uitgedrukt in aantal aanwezige vruchten vanaf open bloem

## 2.3 Bladeren onder open bloem

Het aantal bladeren onder de open bloem werd geteld ter indicatie voor de vrucht:blad-ratio. Indien de ratio te sterk afwijkt van wat we zouden verwachten, namelijk 0,5 bij alternerend dunnen, dan wijst dit op abortie en dus op een zwakke opvolging, groeikracht. Gedurende de gehele teelt traden significante verschillen op.

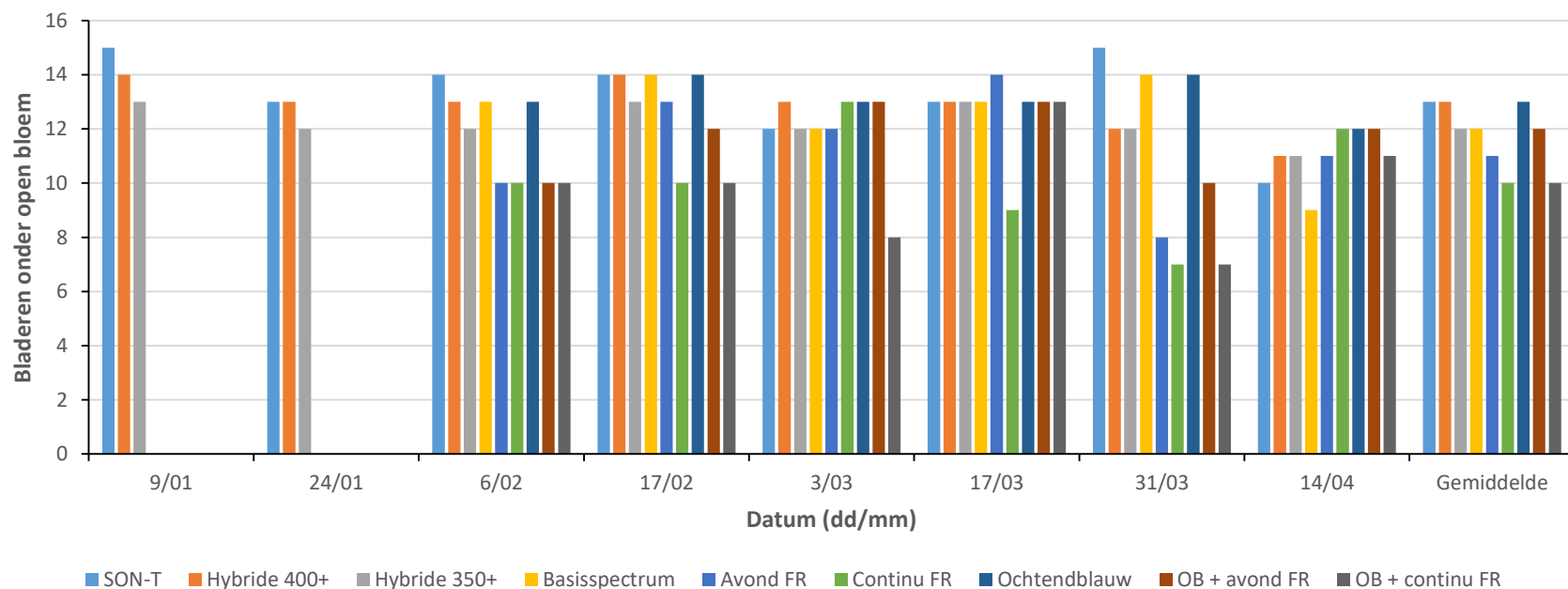
Als we terugkijken naar het aantal vruchten per plant, verwachten we in week 6 tot en met week 14 het minst aantal bladeren onder de open bloem te vinden bij het de full led-objecten met verrood. Dit blijkt ook zo uit onderstaande resultaten.

Algemeen komen de minste bladeren onder de open bloem voor bij de objecten met continu FR, wat te verwachten was doordat aan de planten onder de objecten met continu FR telkens het minst aantal komkommers hingen, er een hogere uitgroeisnelheid was en geen abortie werd vastgesteld. Deze waarneming bevestigt dat verrood licht zorgt voor een snellere vruchtgroei, wat reeds bij tomaat is aangetoond (zie verder). De objecten met avond FR hadden gemiddeld iets meer bladeren onder de open bloem in vergelijking bij de objecten met continu FR, maar nog steeds significant minder dan het aantal bladeren onder de open bloem bij SON-T-belichting.

Een vlottere afoogst van de vruchten onder de hybride belichting resulteert in een korter vruchtbehang. Gemiddeld is het gewas een blad korter bij doeloogst op 350 gram ten opzichte van doeloogst op 400 gram. Het verschil is wel (net) niet significant.

**Tabel 7:** Effect van het belichtingsspectrum op de vruchtrijping uitgedrukt in aantal bladeren van de open bloem tot de laatste vrucht.

| Meetdatum \ Behandeling | 9-01-20 | 24-01-20 | 6-02-20 | 17-02-20 | 3-03-20 | 17-03-20 | 31-03-20 | 14-04-20 | Gemiddelde* |
|-------------------------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|----------|----------|-------------|
|                         | 2       | 4        | 6*      | 8*       | 10*     | 12*      | 14*      | 16*      |             |
| SON-T                   | 15 a    | 13 a     | 14 a    | 14 a     | 12 ab   | 13 a     | 15 a     | 10 a     | 13 a        |
| Hybride 400+            | 14 a    | 13 a     | 13 a    | 14 a     | 13 a    | 13 a     | 12 abc   | 11 a     | 13 ab       |
| Hybride 350+            | 13 a    | 12 a     | 12 ab   | 13 ab    | 12 ab   | 13 a     | 12 abc   | 11 a     | 12 b        |
| Basisspectrum           |         |          | 13 a    | 14 a     | 12 ab   | 13 a     | 14 ab    | 9 a      | 12 ab       |
| Avond FR                |         |          | 10 b    | 13 ab    | 12 ab   | 14 a     | 8 cd     | 11 a     | 11 bc       |
| Continu FR              |         |          | 10 b    | 10 b     | 13 ab   | 9 a      | 7 d      | 12 a     | 10 c        |
| Ochtendblauw            |         |          | 13 a    | 14 a     | 13 ab   | 13 a     | 14 ab    | 12 a     | 13 ab       |
| OB + avond FR           |         |          | 10 b    | 12 ab    | 13 a    | 13 a     | 10 bcd   | 12 a     | 12 bc       |
| OB + continu FR         |         |          | 10 b    | 10 b     | 8 b     | 13 a     | 7 d      | 11 a     | 10 c        |



**Figuur 11:** Grafische weergave van het effect van verschillende lichtspectra op de vruchtrijping uitgedrukt in aantal bladeren van de open bloem tot de laatste vrucht



### 3. Biomassa bladeren

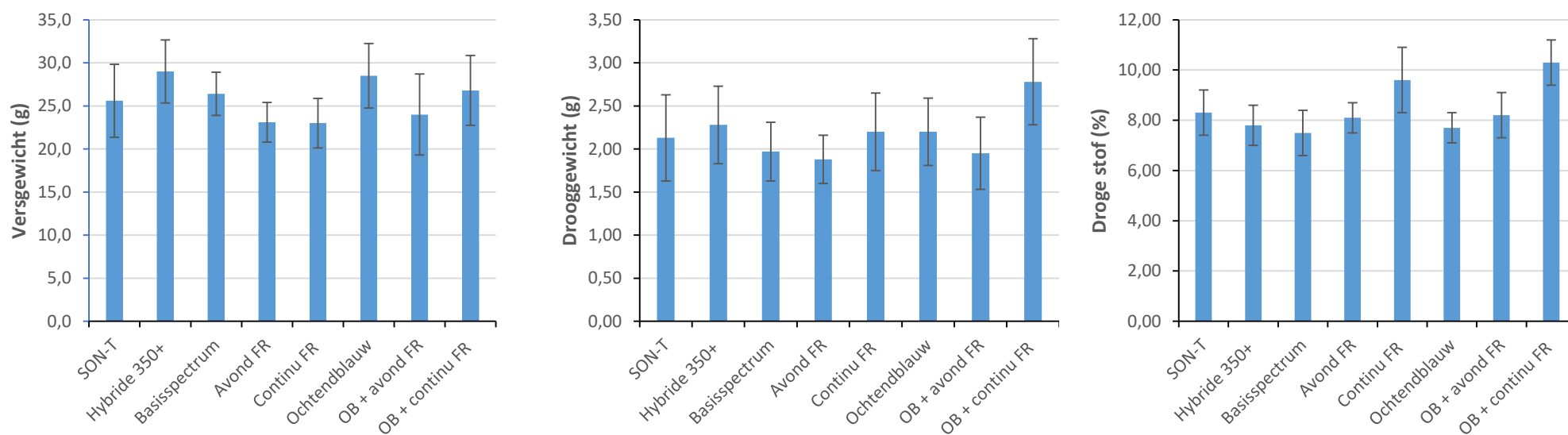
Gedurende de teelt werd het effect van de verschillende belichtingssystemen onderzocht op de biomassa van de bladeren. Hiervoor werden op vier momenten tijdens de teelt het versgewicht, het drooggewicht en het drogestofgehalte van de onderste bladeren van het gewas bepaald. Significante verschillen zijn zichtbaar tussen de behandelingen. Zo ligt het versgewicht van de bladeren onder continu FR en avond FR beduidend lager ten opzichte van de andere belichtingssystemen, met uitzondering van de bladeren onder OB + avond FR. OB + avond FR heeft op zijn beurt een significant lichter blad vergeleken met het ochtendblauw-spectrum, OB + continu FR en hybride 350+ belichting. Daarnaast hebben de bladeren onder het ochtendblauw-spectrum en hybride 350+ belichting een significant groter versgewicht in vergelijking met deze onder SON-T. Daar waar verrood licht voor een lager versgewicht van het blad lijkt te zorgen, zorgt extra blauw licht in de ochtend voor een hoger versgewicht, waardoor het effect bij OB + continu FR en OB + avond FR teniet wordt gedaan.

Als we naar het drooggewicht van de bladeren kijken, wordt een heel ander beeld verkregen. De bladeren onder OB + continu FR hebben een significant hoger drooggewicht ten opzichte van alle andere belichtingssystemen. Voorts wegen de bladeren van onder het hybridesysteem na drogen significant meer ten opzichte van de gedroogde bladeren onder SON-T, basisspectrum, avond FR en OB + avond FR. Tot slot bevatten de bladeren van onder SON-T, continu FR en ochtendblauw beduidend meer droge stof dan deze onder avond FR.

Door de verhouding te nemen tussen het droog- en het versgewicht wordt het procentuele drogestofgehalte in de bladeren bepaald. Het drogestofgehalte van de bladeren onder de objecten met continu FR is beduidend hoger in vergelijking met de andere belichtingssystemen. Van verrood is aangetoond dat het een stimulerend effect heeft op de assimilatenstroom in de plant (Li *et al.*, 2011; Xiong *et al.*, 2011), wat kan verklaren waarom er een hoger drogestofgehalte wordt teruggevonden in de bladeren. Toevoeging van avond FR geeft een minder uitgesproken effect. De bladeren onder het basisspectrum bevatten het laagste droge stof gehalte en verschillen significant van SON-T en de objecten onder ochtendblauw.

**Tabel 8:** Effect van het belichtingsspectrum op de op de biomassa van de bladeren over de hele teeltperiode

| Behandeling     | Versgewicht |      | Drooggewicht |      | Drogestofgehalte |      |
|-----------------|-------------|------|--------------|------|------------------|------|
|                 | (g)         | sd   | (g)          | sd   | (%)              | sd   |
| SON-T           | 25,6 cd     | 4,24 | 2,13 cd      | 0,50 | 8,30 c           | 0,90 |
| Hybride 350+    | 29,0 a      | 3,67 | 2,28 b       | 0,45 | 7,80 bcd         | 0,80 |
| Basisspectrum   | 26,4 bcd    | 2,51 | 1,97 cde     | 0,34 | 7,50 d           | 0,90 |
| Avond FR        | 23,1 e      | 2,31 | 1,88 e       | 0,28 | 8,10 bc          | 0,60 |
| Continu FR      | 23,0 e      | 2,87 | 2,20 bcd     | 0,45 | 9,60 a           | 1,30 |
| Ochtendblauw    | 28,5 ab     | 3,76 | 2,20 bcd     | 0,39 | 7,70 bcd         | 0,60 |
| OB + avond FR   | 24,0 de     | 4,71 | 1,95 ce      | 0,42 | 8,20 bc          | 0,90 |
| OB + continu FR | 26,8 abc    | 4,06 | 2,78 a       | 0,50 | 10,30 a          | 0,90 |



**Figuur 11:** Effect van verschillende lichtbehandelingen op de biomassa van het blad

## 4. Opbrengst

Om de opbrengst statistisch te kunnen verwerken, werden de belichtingssystemen gegroepeerd. Voor de analyse werd afzonderlijk gekeken naar de invloed van verrood licht en van extra blauw licht in de ochtend, telkens in vergelijking met de invloed van SON-T en het hybride licht op de opbrengst.

### 4.1 Effect van verrood licht

Gedurende de teeltperiode zijn significante verschillen waargenomen in productie en vruchtgewicht per week. We zien over de hele teeltperiode, met een betrouwbaarheidsinterval van 90% een significant hoger gemiddelde eindproductie in  $\text{kg/m}^2$  bij de objecten met continu FR en bij hybride-belichting. Het verschil in aantal vruchten tussen het sterkst producerende object (133 stuks/ $\text{m}^2$  bij avond verrood) en het laagst producerende object (125 stuks/ $\text{m}^2$  bij continu verrood) bedraagt 8 komkommers/ $\text{m}^2$ , maar de verschillen zijn niet significant. Dit valt te verklaren doordat er gekozen is voor een algemene vruchtdunningsstrategie, waarbij verschillen dus enkel kunnen gemaakt worden door vruchtabortie of –afstoting en een andere bladafspitsing. Het verschil in totale gemiddelde bladafplitsing tussen avond verrood (153,9 bladeren/plant) en continu verrood (146 bladeren/plant) bedraagt 19,6 bladeren per  $\text{m}^2$ . Het verschil tussen beide objecten is bij een alternerende dunning dus volledig te wijten aan de verschillende totale bladafplitsing en had bij een optimale uitgroei nog twee komkommers groter geweest. De verschillen in totaal oogstgewicht ( $\text{kg/m}^2$ ) zijn –voornamelijk- toe te schrijven aan het gemiddeld vruchtgewicht. Continu verrood geeft veruit het hoogste vruchtgewicht (466 g), 24 gram hoger dan de vruchten onder hybride. De vruchten onder hybride blijken nog steeds beduidend verschillend van alle andere objecten. Bij zowel continu verrood en hybride werd door het begeleidingscomité tijdens de teelt aangegeven dat er –indien er afzonderlijk gestuurd kon worden- meer vruchten aangehouden konden worden. Het verschil had dan van het vruchtgewicht naar het meer wenselijke aantal stuks verschoven.

De bekomen verschillen in opbrengst in  $\text{kg/m}^2$  vloeien relatief en significant gezien vooral uit de donkerste weken, in de maanden januari en februari. Toch blijft het verschil zich verder opbouwen in maart en april, al zijn er dan geen significante verschillen meer waargenomen. Bij het wekelijks geoogst aantal vruchten blijven de verschillen dus eerder beperkt. Opvallend is dat avond FR pas vanaf half maart echt een verschil begint op te bouwen met continu FR. Dit valt weer te verklaren door de verschillende bladafplitsing, die pas vanaf eind februari steeds verder uit elkaar begint te groeien. Die verschillende bladafplitsingsnelheid vloeit drie weken later bij een gelijklopende vruchtdunningspatroon uit tot een uiteenlopend oogstbare vruchten (met hier een verschillend gemiddeld vruchtgewicht).

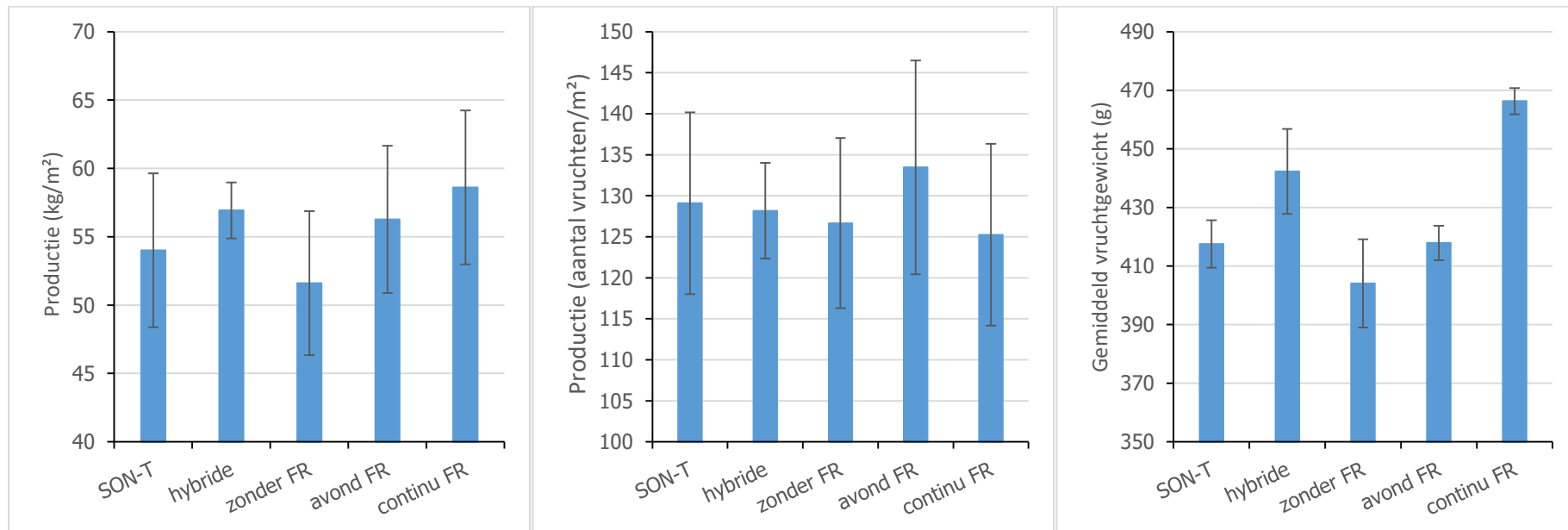
Opvallend is de productiedaling in week 9. Die productiedaling werd op meerdere bedrijven met een belichte wintersteelt komkommer vastgesteld. De productiedaling vloeit voort uit een mindere bladafplitsing in week 5, maar ook een dip in de natuurlijke instraling in week 9. De productie herstelde de daaropvolgende week.

Samenvattend kunnen we met deze resultaten bevestigen dat verrood een positief effect heeft op de opbrengst. Er werd een meeropbrengst van meer dan 13% bekomen bij continu verrood ten opzichte van een full led-spectrum zonder verrood. Verrood hoeft niet continu aangeboden te worden om resultaat te tonen, want ook avond verrood vertoont een hogere opbrengst, al is deze niet significant verschillend. Wanneer men in een spectrum verrood dynamisch wil inzetten, zijn er waarschijnlijk optimalere strategieën uit te werken dan deze uitgewerkte simulatie van de ondergaande zon. Continu verrood en hybride gaven de hoogste vruchtgewichten, die hoger dan het beoogde oogstgewicht waren (400>420 gram). Zoals gesteld, had een andere, minder

intensieve vruchtdunning, het vruchtgewicht naar een meer optimaal oogsgewicht kunnen laten zakken, zonder afbreuk te doen aan de opbrengst in kg/m<sup>2</sup>.

**Tabel 9:** Effect van het van verrood (FR) in het belichtingsspectrum op de productie en vruchtgewicht over de hele teeltperiode. P= 0,90

| Behandeling | Productie (kg/m <sup>2</sup> ) |     | Productie (vruchten/m <sup>2</sup> ) |      | Vruchtgewicht (g) |      |
|-------------|--------------------------------|-----|--------------------------------------|------|-------------------|------|
|             | kg/m <sup>2</sup>              | sd  | vruchten/m <sup>2</sup>              | sd   | g                 | sd   |
| SON-T       | 54 ab                          | 5,6 | 129 a                                | 11,1 | 418 cd            | 8,1  |
| Hybride     | 57 a                           | 2,1 | 128 a                                | 5,8  | 442 b             | 14,5 |
| Zonder FR   | 52 b                           | 5,3 | 127 a                                | 10,4 | 404 d             | 15,1 |
| Avond FR    | 56 ab                          | 5,6 | 133 a                                | 13,0 | 418 c             | 5,9  |
| Continu FR  | 59 a                           | 5,3 | 125 a                                | 11,1 | 466 a             | 4,5  |



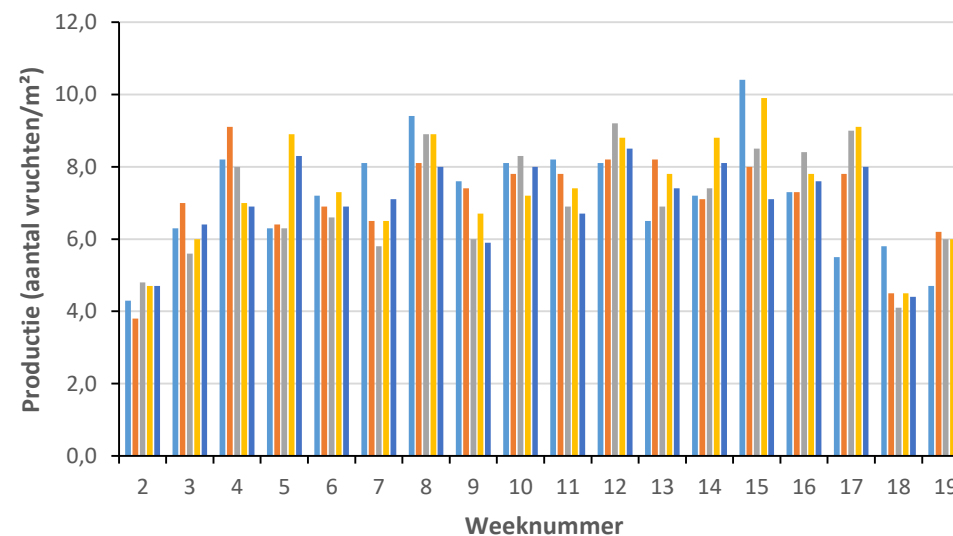
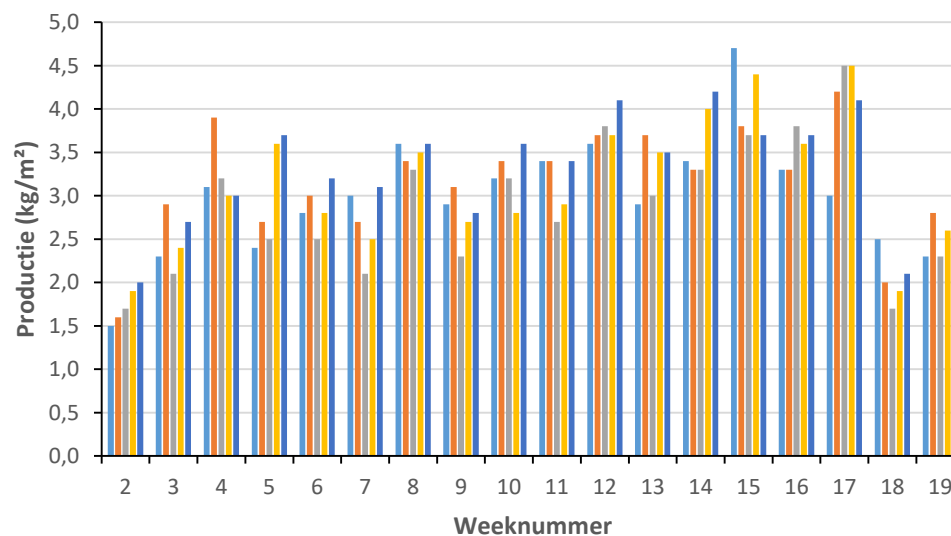
**Figuur 12:** Grafische weergave van het effect van verrood licht op productie in kg/m<sup>2</sup> (links), in aantal vruchten/m<sup>2</sup> (midden) en op het vruchtgewicht (rechts)

**Tabel 10:** Effect van het van verroid (FR) in het belichtingsspectrum op de weekproductie in kg/m<sup>2</sup> (bovenste tabel) en weekproductie in aantal vruchten/m<sup>2</sup> (onderste tabel)

| Behandeling \ Oogstweek |  | Oogstweek |        |       |       |       |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
|-------------------------|--|-----------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
|                         |  | 2         | 3      | 4*    | 5     | 6*    | 7      | 8     | 9     | 10*   | 11    | 12    | 13*   | 14*   | 15*   | 16    | 17*   | 18*   | 19    |  |
| SON-T                   |  | 1,5 a     | 2,3 ab | 3,1 a | 2,4 b | 2,8 a | 3,0 a  | 3,6 a | 2,9 a | 3,2 a | 3,4 a | 3,6 a | 2,9 a | 3,4 a | 4,7 a | 3,3 a | 3,0 a | 2,5 a | 2,3 a |  |
| Hybride                 |  | 1,6 a     | 2,9 a  | 3,9 a | 2,7 b | 3,0 a | 2,7 ab | 3,4 a | 3,1 a | 3,4 a | 3,4 a | 3,7 a | 3,7 a | 3,3 a | 3,8 a | 3,3 a | 4,2 a | 2,0 a | 2,8 a |  |
| Zonder FR               |  | 1,7 a     | 2,1 b  | 3,2 a | 2,5 b | 2,5 a | 2,1 b  | 3,3 a | 2,3 a | 3,2 a | 2,7 a | 3,8 a | 3,0 a | 3,3 a | 3,7 a | 3,8 a | 4,5 a | 1,7 a | 2,3 a |  |
| Avond FR                |  | 1,9 a     | 2,4 ab | 3,0 a | 3,6 a | 2,8 a | 2,5 ab | 3,5 a | 2,7 a | 2,8 a | 2,9 a | 3,7 a | 3,5 a | 4,0 a | 4,4 a | 3,6 a | 4,5 a | 1,9 a | 2,6 a |  |
| Continu FR              |  | 2,0 a     | 2,7 ab | 3,0 a | 3,7 a | 3,2 a | 3,1 a  | 3,6 a | 2,8 a | 3,6 a | 3,4 a | 4,1 a | 3,5 a | 4,2 a | 3,7 a | 3,7 a | 4,1 a | 2,1 a | 2,2 a |  |

| Behandeling \ Oogstweek |  | Oogstweek |       |       |       |       |        |       |       |       |       |       |       |       |        |       |       |       |       |  |
|-------------------------|--|-----------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|--|
|                         |  | 2*        | 3*    | 4     | 5     | 6     | 7      | 8*    | 9     | 10*   | 11    | 12    | 13*   | 14*   | 15*    | 16    | 17*   | 18*   | 19    |  |
| SON-T                   |  | 4,3 a     | 6,3 a | 8,2 a | 6,3 b | 7,2 a | 8,1 a  | 9,4 a | 7,6 a | 8,1 a | 8,2 a | 8,1 a | 6,5 a | 7,2 a | 10,4 a | 7,3 a | 5,5 a | 5,8 a | 4,7 a |  |
| Hybride                 |  | 3,8 a     | 7,0 a | 9,1 a | 6,4 b | 6,9 a | 6,5 ab | 8,1 a | 7,4 a | 7,8 a | 7,8 a | 8,2 a | 8,2 a | 7,1 a | 8,0 a  | 7,3 a | 7,8 a | 4,5 a | 6,2 a |  |
| Zonder FR               |  | 4,8 a     | 5,6 a | 8,0 a | 6,3 b | 6,6 a | 5,8 b  | 8,9 a | 6,0 a | 8,3 a | 6,9 a | 9,2 a | 6,9 a | 7,4 a | 8,5 a  | 8,4 a | 9,0 a | 4,1 a | 6,0 a |  |
| Avond FR                |  | 4,7 a     | 6,0 a | 7,0 a | 8,9 a | 7,3 a | 6,5 ab | 8,9 a | 6,7 a | 7,2 a | 7,4 a | 8,8 a | 7,8 a | 8,8 a | 9,9 a  | 7,8 a | 9,1 a | 4,5 a | 6,0 a |  |
| Continu FR              |  | 4,7 a     | 6,4 a | 6,9 a | 8,3 a | 6,9 a | 7,1 ab | 8,0 a | 5,9 a | 8,0 a | 6,7 a | 8,5 a | 7,4 a | 8,1 a | 7,1 a  | 7,6 a | 8,0 a | 4,4 a | 5,3 a |  |



■ SON-T ■ Hybride ■ Zonder FR ■ Avond FR ■ Continu FR

■ SON-T ■ Hybride ■ Zonder FR ■ Avond FR ■ Continu FR

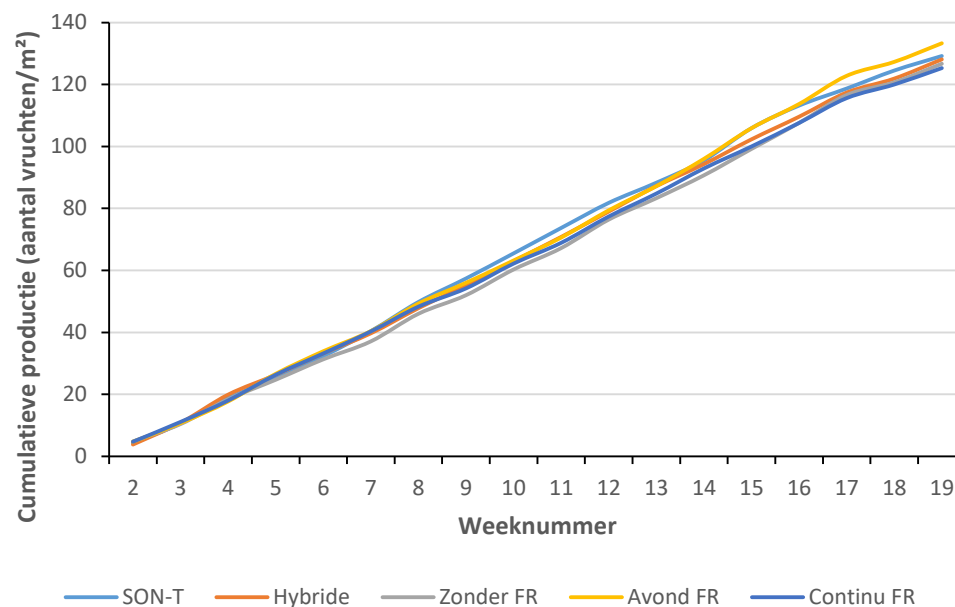
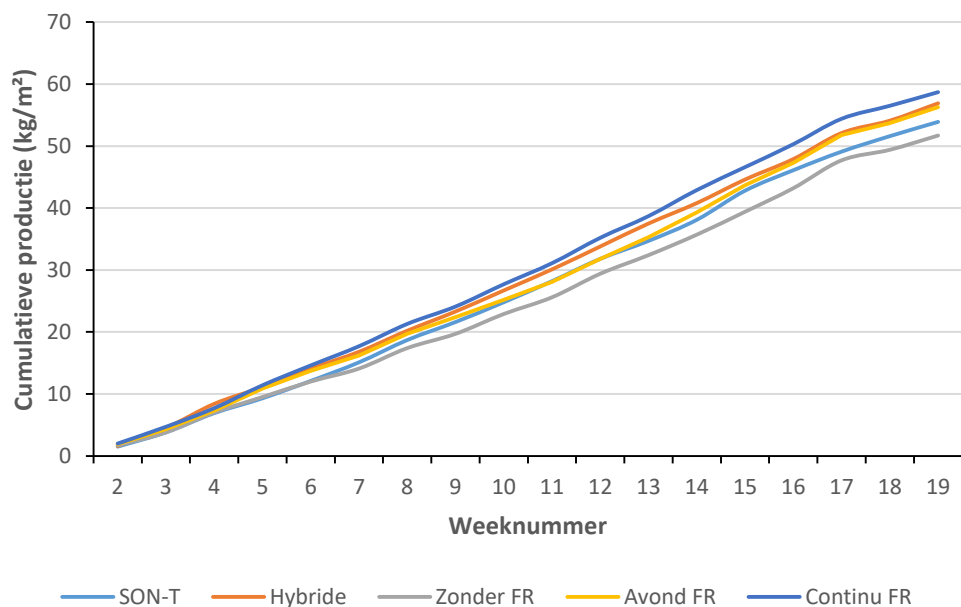
**Figuur 13:** Grafische weergave van het effect van verroid (FR) op de weekproductie in kg/m<sup>2</sup> (links) en weekproductie in aantal vruchten/m<sup>2</sup> (rechts)

**Tabel 14:** Effect van het van verrood (FR) in het belichtingsspectrum op de cumulatieve weekproductie in kg/m<sup>2</sup> (bovenste tabel) en cumulatieve weekproductie in aantal vruchten/m<sup>2</sup> (onderste tabel)

| Behandeling \ Oogstweek | 2   | 3   | 4 *  | 5    | 6    | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    | 16*  | 17   | 18   | 19    |
|-------------------------|-----|-----|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|
| SON-T                   | 2 a | 4 a | 8 ab | 10 a | 13 a | 16 ab | 19 ab | 22 ab | 26 ab | 29 ab | 33 ab | 35 ab | 39 ab | 44 ab | 47 a | 50 a | 52 a | 54 ab |
| Hybride                 | 2 a | 4 a | 8 a  | 11 a | 14 a | 17 a  | 20 ab | 23 a  | 27 ab | 30 a  | 34 a  | 37 a  | 41 ab | 45 ab | 48 a | 52 a | 54 a | 57 a  |
| Zonder FR               | 2 a | 4 a | 7 b  | 10 a | 12 a | 14 b  | 17 b  | 20 b  | 23 b  | 26 b  | 29 b  | 32 b  | 36 b  | 39 b  | 43 a | 48 a | 49 a | 52 b  |
| Avond FR                | 2 a | 4 a | 7 ab | 11 a | 14 a | 16 ab | 20 ab | 22 ab | 25 ab | 28 ab | 32 ab | 35 ab | 39 ab | 44 ab | 47 a | 52 a | 54 a | 56 ab |
| Continu FR              | 2 a | 5 a | 8 ab | 11 a | 15 a | 18 a  | 21 a  | 24 a  | 28 a  | 31 a  | 35 a  | 39 a  | 43 a  | 47 a  | 50 a | 54 a | 56 a | 59 a  |

| Behandeling \ Oogstweek | 2 * | 3 *  | 4 *  | 5    | 6 *  | 7 *  | 8    | 9     | 10   | 11    | 12   | 13   | 14 * | 15    | 16    | 17 *  | 18 *  | 19    |
|-------------------------|-----|------|------|------|------|------|------|-------|------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SON-T                   | 4 a | 12 a | 21 a | 27 a | 34 a | 42 a | 52 a | 59 a  | 67 a | 75 a  | 84 a | 90 a | 97 a | 108 a | 115 a | 120 a | 126 a | 129 a |
| Hybride                 | 4 a | 11 a | 20 a | 26 a | 33 a | 40 a | 48 a | 55 ab | 63 a | 71 ab | 79 a | 87 a | 94 a | 102 a | 110 a | 117 a | 122 a | 128 a |
| Zonder FR               | 5 a | 10 a | 18 a | 25 a | 31 a | 37 a | 46 a | 52 b  | 60 a | 67 b  | 76 a | 83 a | 91 a | 99 a  | 108 a | 117 a | 121 a | 127 a |
| Avond FR                | 5 a | 11 a | 18 a | 27 a | 34 a | 40 a | 49 a | 56 ab | 63 a | 71 ab | 79 a | 87 a | 96 a | 106 a | 114 a | 123 a | 127 a | 133 a |
| Continu FR              | 5 a | 11 a | 18 a | 26 a | 33 a | 40 a | 48 a | 54 ab | 62 a | 69 ab | 77 a | 85 a | 93 a | 100 a | 108 a | 116 a | 120 a | 125 a |



**Figuur 14:** Grafische weergave van het effect van verrood (FR) op de cumulatieve weekproductie in kg/m<sup>2</sup> (links) en cumulatieve weekproductie in aantal vruchten/m<sup>2</sup> (rechts)

## 4.2 Effect van extra blauw licht in de ochtend

Het al dan niet toevoegen van ochtendblauw gaf in deze proef geen aantoonbaar verschil. In afzonderlijke teeltweken zien we te weinig en niet consistente verschillen met betrouwbaarheidsinterval van 90%. We moeten hierbij onthouden dat de groep 'zonder OB' bestaat uit de spectra; basisspectrum, avond FR en continu FR, en dat de groep 'met OB' bestaat uit de spectra; ochtendblauw, OB + avond FR en OB + continu FR. De verschillen in verrood belichting binnen deze twee groepen veroorzaken veel variatie. Een mogelijke interactie tussen ochtendblauw en verrood zoals waargenomen bij de droge stof in de bladeren kunnen we hierdoor ook niet aantonen.

Extra blauw in de nacht was als strategie toegevoegd door de hypothese dat het blauwe licht de huidmondjes zal activeren, zodat de sapstroom gestimuleerd zou worden. Indien deze hypothese zou gewerkt hebben in deze proef, was een meeropbrengst te verwachten. Samenvattend over de hele proef, kunnen we stellen dat het toevoegen van extra blauw tijdens de nacht geen positief effect heeft gehad op de opbrengst.

**Tabel 15:** Effect van het van ochtendblauw (OB) in het belichtingsspectrum op de productie vruchtgewicht over de hele teeltperiode. P= 0,90

| Behandeling | Productie (kg/m <sup>2</sup> )* |     | Productie (vruchten/m <sup>2</sup> )* |      | gemiddeld vruchtgewicht * |      |
|-------------|---------------------------------|-----|---------------------------------------|------|---------------------------|------|
|             | kg/m <sup>2</sup>               | sd  | vruchten/m <sup>2</sup>               | sd   | g                         | sd   |
| SON-T       | 54 a                            | 5,6 | 129 a                                 | 12,7 | 418 c                     | 8,1  |
| Hybride     | 57 a                            | 2,1 | 128 a                                 | 5,4  | 442 a                     | 14,5 |
| Zonder OB   | 56 a                            | 5,8 | 129 a                                 | 12,7 | 433 b                     | 30,2 |
| Met OB      | 55 a                            | 6,3 | 128 a                                 | 10,4 | 421 b                     | 28,1 |

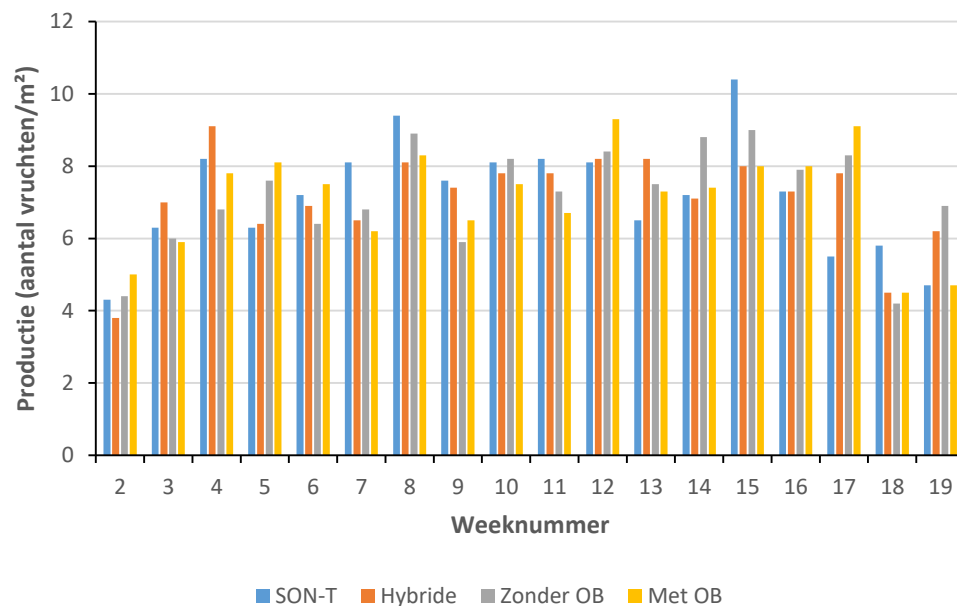
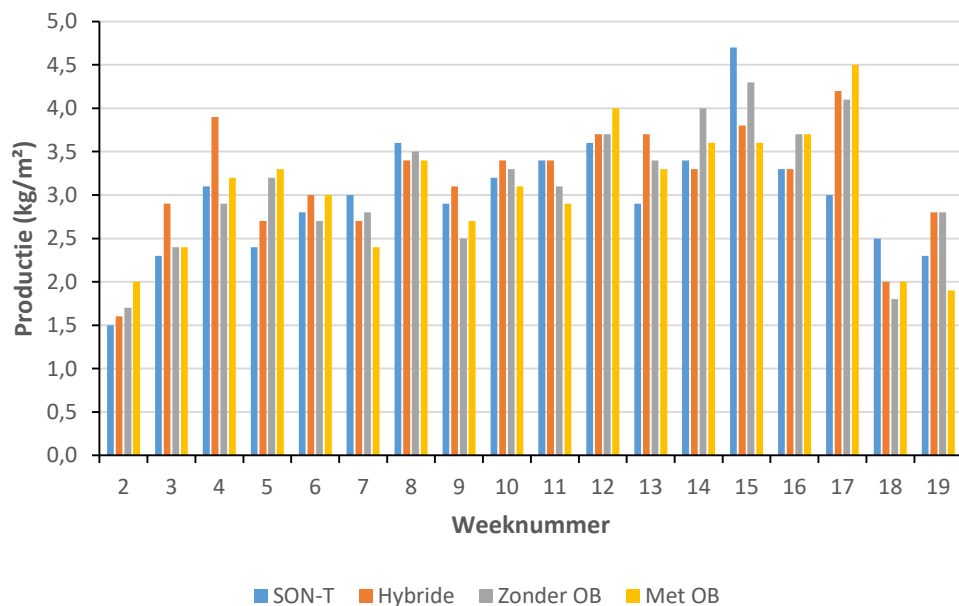


**Tabel 16:** Effect van het van ochtendblauw (OB) in het belichtingsspectrum op de weekproductie in kg/m<sup>2</sup> (bovenste tabel) en op de weekproductie in aantal vruchten/m<sup>2</sup> (onderste tabel)

| Oogstweek<br>Behandeling | 2 *   | 3 *    | 4 *    | 5 *    | 6 *   | 7     | 8     | 9     | 10 *  | 11 *  | 12    | 13 *  | 14    | 15 *  | 16    | 17     | 18 *  | 19 *   |
|--------------------------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|
| SON-T                    | 1,5 a | 2,3 ab | 3,1 ab | 2,4 b  | 2,8 a | 3,0 a | 3,6 a | 2,9 a | 3,2 a | 3,4 a | 3,6 a | 2,9 a | 3,4 a | 4,7 a | 3,3 a | 3,0 b  | 2,5 a | 2,3 ab |
| Hybride                  | 1,6 a | 2,9 a  | 3,9 a  | 2,7 ab | 3,0 a | 2,7 a | 3,4 a | 3,1 a | 3,4 a | 3,4 a | 3,7 a | 3,7 a | 3,3 a | 3,8 a | 3,3 a | 4,2 ab | 2,0 a | 2,8 a  |
| Zonder OB                | 1,7 a | 2,4 b  | 2,9 b  | 3,2 ab | 2,7 a | 2,8 a | 3,5 a | 2,5 a | 3,3 a | 3,1 a | 3,7 a | 3,4 a | 4,0 a | 4,3 a | 3,7 a | 4,1 ab | 1,8 a | 2,8 a  |
| Met OB                   | 2,0 a | 2,4 ab | 3,2 ab | 3,3 a  | 3,0 a | 2,4 a | 3,4 a | 2,7 a | 3,1 a | 2,9 a | 4,0 a | 3,3 a | 3,6 a | 3,6 a | 3,7 a | 4,5 a  | 2,0 a | 1,9 b  |

| Oogstweek<br>Behandeling | 2 *    | 3     | 4     | 5 *   | 6     | 7      | 8 *   | 9     | 10    | 11    | 12    | 13 *  | 14     | 15     | 16    | 17     | 18    | 19    |
|--------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|
| SON-T                    | 4,3 ab | 6,3 a | 8,2 a | 6,3 a | 7,2 a | 8,1 a  | 9,4 a | 7,6 a | 8,1 a | 8,2 a | 8,1 a | 6,5 a | 7,2 ab | 10,4 a | 7,3 a | 5,5 b  | 5,8 a | 4,7 a |
| Hybride                  | 3,8 b  | 7,0 a | 9,1 a | 6,4 a | 6,9 a | 6,5 b  | 8,1 a | 7,4 a | 7,8 a | 7,8 a | 8,2 a | 8,2 a | 7,1 b  | 8,0 a  | 7,3 a | 7,8 ab | 4,5 a | 6,2 a |
| Zonder OB                | 4,4 ab | 6,0 a | 6,8 a | 7,6 a | 6,4 a | 6,8 ab | 8,9 a | 5,9 a | 8,2 a | 7,3 a | 8,4 a | 7,5 a | 8,8 a  | 9,0 a  | 7,9 a | 8,3 a  | 4,2 a | 6,9 a |
| Met OB                   | 5,0 a  | 5,9 a | 7,8 a | 8,1 a | 7,5 a | 6,2 b  | 8,3 a | 6,5 a | 7,5 a | 6,7 a | 9,3 a | 7,3 a | 7,4 ab | 8,0 a  | 8,0 a | 9,1 a  | 4,5 a | 4,7 a |



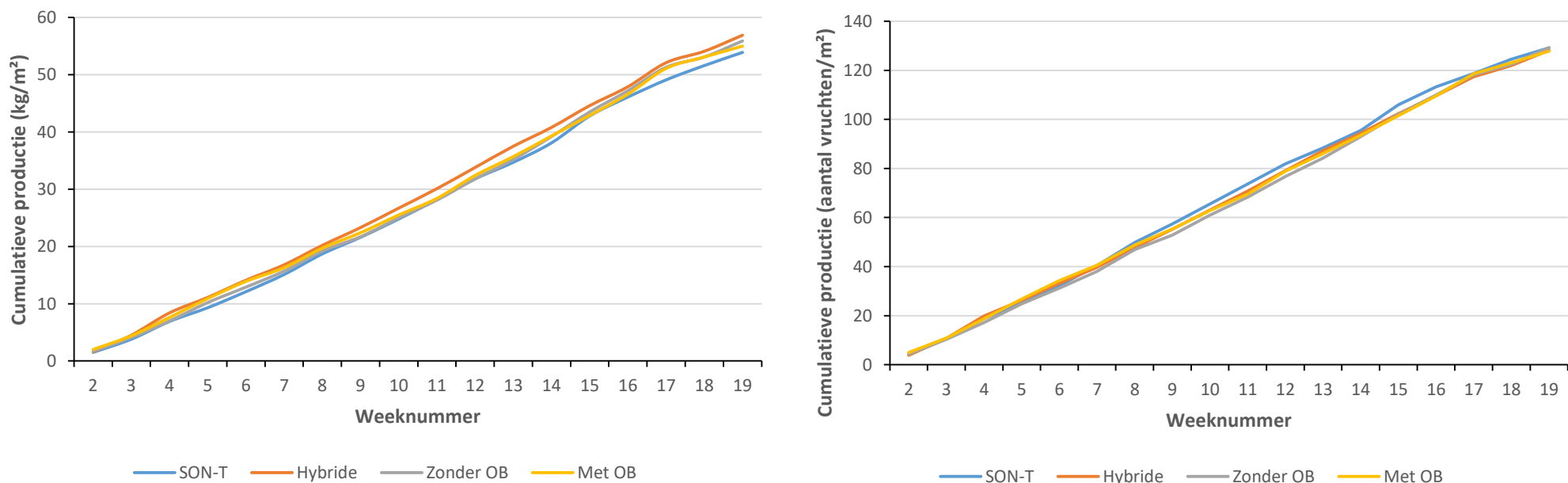
**Figuur 15:** Grafische weergave van het effect van ochtendblauw (OB) op de weekproductie in kg/m<sup>2</sup> (links) en weekproductie in aantal vruchten/m<sup>2</sup> (rechts)

**Tabel 17:** Effect van het van ochtendblauw (OB) in het belichtingsspectrum op de weekproductie in kg/m<sup>2</sup> (bovenste tabel) en op de weekproductie in aantal vruchten/m<sup>2</sup> (onderste tabel)

| Oogstweek          | 2 * | 3   | 4 * | 5     | 6     | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16 * | 17 * | 18 * | 19 * |
|--------------------|-----|-----|-----|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| <b>Behandeling</b> |     |     |     |       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| SON-T              | 2 a | 4 a | 8 b | 10 b  | 13 b  | 16 a | 19 a | 22 a | 26 a | 29 a | 33 a | 35 a | 39 a | 44 a | 4 a  | 50 a | 52 a | 54 a |
| Hybride            | 2 a | 4 a | 8 a | 11 a  | 14 a  | 17 a | 20 a | 23 a | 27 a | 30 a | 34 a | 37 a | 41 a | 45 a | 48 a | 52 a | 54 a | 57 a |
| Zonder OB          | 2 a | 4 a | 7 b | 10 ab | 13 ab | 16 a | 19 a | 22 a | 25 a | 28 a | 32 a | 35 a | 39 a | 44 a | 47 a | 51 a | 53 a | 56 a |
| Met OB             | 2 a | 4 a | 8 b | 11 ab | 14 ab | 16 a | 20 a | 22 a | 26 a | 28 a | 32 a | 36 a | 39 a | 43 a | 47 a | 51 a | 53 a | 55 a |

| Oogstweek          | 2 *  | 3    | 4 *   | 5    | 6    | 7 *  | 8 *   | 9    | 10   | 11 * | 12 * | 13 * | 14 * | 15 *  | 16 *  | 17 *  | 18 *  | 19 *  |
|--------------------|------|------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>Behandeling</b> |      |      |       |      |      |      |       |      |      |      |      |      |      |       |       |       |       |       |
| SON-T              | 4 ab | 11 a | 19 ab | 25 a | 32 a | 40 a | 50 a  | 58 a | 66 a | 74 a | 82 a | 88 a | 95 a | 106 a | 113 a | 119 a | 124 a | 129 a |
| Hybride            | 4 b  | 11 a | 20 a  | 26 a | 33 a | 40 a | 48 b  | 55 a | 63 a | 71 a | 79 a | 87 a | 94 a | 102 a | 110 a | 117 a | 122 a | 128 a |
| Zonder OB          | 4 ab | 10 a | 17 b  | 25 a | 31 a | 38 a | 47 ab | 53 a | 61 a | 68 a | 77 a | 84 a | 93 a | 102 a | 110 a | 118 a | 122 a | 129 a |
| Met OB             | 5 a  | 11 a | 19 ab | 27 a | 34 a | 40 a | 49 b  | 55 a | 63 a | 69 a | 79 a | 86 a | 93 a | 101 a | 109 a | 118 a | 123 a | 128 a |



**Figuur 16:** Grafische weergave van het effect van ochtendblauw (OB) op de cumulatieve weekproductie in kg/m<sup>2</sup> (links) en cumulatieve weekproductie in aantal vruchten/m<sup>2</sup> (rechts)

### 4.3 Vruchtgewicht

Zoals eerder besproken, verkregen we in deze proef duidelijk verschillen in gemiddeld oogstgewicht tussen de objecten SON-T, hybride, basisspectrum, avond verrood en continu verrood. Ook tijdens het teeltverloop werden er verschillen waargenomen. Ook hier werd vooral een effect van verrood waargenomen.

Belichting met continu FR gaf tijdens de hele proef het hoogste vruchtgewicht, buiten twee weken op het einde van de teelt. Dit oogstgewicht is in verschillende weken significant verschillend van het basisspectrum (zonder verrood). Het gemiddeld vruchtgewicht onder de hybride belichting volgde tijdens de eerste weken die lijn, maar het verschil werd groter bij het toenemen van de natuurlijke instraling.

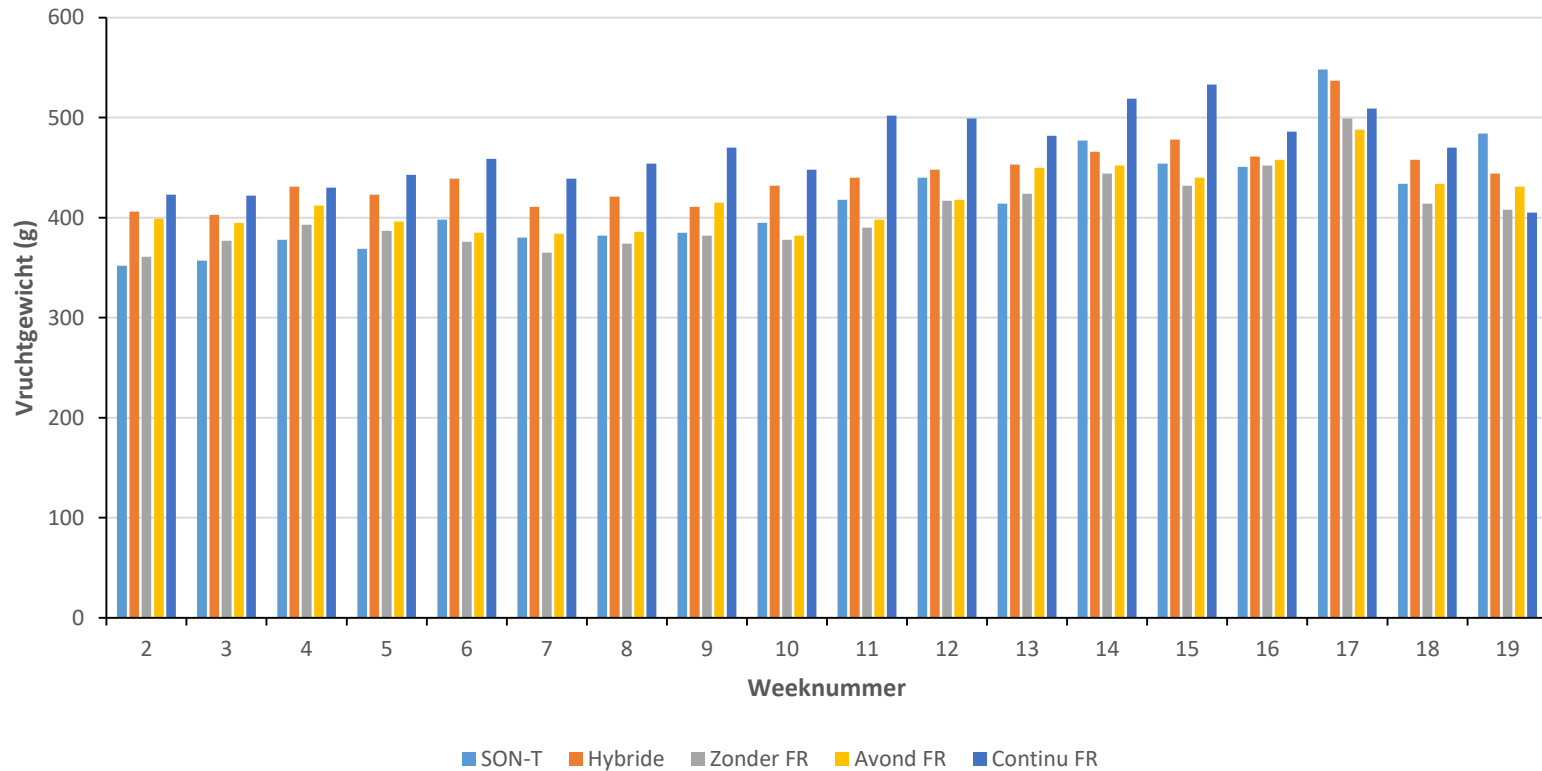
Het al dan niet toedienen van extra blauw licht tijdens de eerste belichtingsuren blijkt nooit een significant verschil te geven. In alle teeltweken zien we slechts eenmaal een beduidend hoger vruchtgewicht bij full led zonder OB ten opzichte van SON-T, namelijk in week 5. Zoals bovenstaand reeds aangegeven, hebben we geen effect van variatie in blauw licht kunnen waarnemen.

Het gemiddeld vruchtgewicht stijgt over alle objecten langzaam tijdens de teelt bij het toenemende. De verklaring is enerzijds dat de dunningsstrategie het toenemend oogstgewicht minder sterk volgde. Tijdens de donkerste dagen werd er een dunning van 3 vruchten op 7 bladeren aangehouden. Vanaf week vier werd het vruchtbehang opgetrokken door een alternerende dunning, die op week 12 verder werd verhoogd naar 4 vruchten per 7 bladeren. Vanaf week 16 werd er terug alternerend gedund, omdat niet elk object de hogere belasting goed verteerde. Terwijl de bladafplitsing vrij gelijk bleef over die periode (eerder zakke), steeg de opbrengst per week wel sterk. Daarbij komt een toenemend “maandageffect”, doordat het aantal oogstdagen tijdens de hele proef beperkt bleef tot werkdagen. Zeker bij een toenemende vruchtuigroeisnelheid zal het hogere vruchtgewicht van de maandagoogst –na twee dagen geen oogst- sterker doorwegen.

Samengevat zien we een hoger vruchtgewicht bij toenemend verrood licht in de led-belichting, maar ook hybride-belichting zorgt voor een gunstig effect op het vruchtgewicht. Van verrood is –bij tomaat- aangetoond dat het een sturende werking heeft van de assimilaten naar de vrucht, waardoor een hogere vruchtuigroeisnelheid kan verwacht worden (Li *et al.*, 2011; Ji *et al.*, 2020). De waargenomen verschillen in vruchtgewicht lopen vrij gelijk aan de producties in kg/m<sup>2</sup>. Die laatste verschillen zijn dan ook vooral gemaakt door een variërend vruchtgewicht en minder door het aantal geoogste stuks.

**Tabel 18:** Effect van verrood (FR) in het belichtingsspectrum op het wekelijks gemiddeld vruchtgewicht

| Oogstweek \ Behandeling | 2      | 3      | 4      | 5 *    | 6     | 7 *    | 8 Ja  | 9     | 10     | 11 *    | 12 *   | 13      | 14     | 15 *   | 16    | 17    | 18 *  | 19    |
|-------------------------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|--------|---------|--------|---------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| SON-T                   | 352 c  | 357 c  | 378 c  | 369 b  | 398 b | 380 bc | 382 c | 385 b | 395 bc | 418 abc | 440 ab | 414 c   | 477 ab | 454 ab | 451 a | 548 a | 434 a | 484 a |
| Hybride                 | 406 a  | 403 ab | 431 a  | 423 a  | 439 a | 411 ab | 421 b | 411 b | 432 ab | 440 ab  | 448 ab | 453 ab  | 466 b  | 478 ab | 461 a | 537 a | 458 a | 444 a |
| Zonder FR               | 361 bc | 377 bc | 393 bc | 387 b  | 376 b | 365 c  | 374 c | 382 b | 378 c  | 390 c   | 417 b  | 424 bc  | 444 b  | 432 b  | 452 a | 499 a | 414 a | 408 a |
| Avond FR                | 399 ab | 395 ab | 412 ab | 396 ab | 385 b | 384 bc | 386 c | 415 b | 382 c  | 398 bc  | 418 b  | 450 abc | 452 b  | 440 b  | 458 a | 488 a | 434 a | 431 a |
| Continu FR              | 423 a  | 422 a  | 430 a  | 443 a  | 459 a | 439 a  | 454 a | 470 a | 448 a  | 502 a   | 499 a  | 482 a   | 519 a  | 533 a  | 486 a | 509 a | 470 a | 405 a |



**Figuur 17:** Grafische weergave van het effect van verrood (FR) op het wekelijks gemiddeld vruchtgewicht

## 5. Lichtefficiëntie

Lichtefficiëntie is een maat om belichtingssystemen en lichtspectra met elkaar te kunnen vergelijken. Het is ook een maat om teeltstrategieën op productie-efficiëntie te kunnen evalueren. Lichtefficiëntie wordt berekend door de totale geproduceerde massa van een periode ten opzichte van het ter beschikking gestelde natuurlijke en artificiële licht van een bepaalde periode te zetten. Bij het berekenen van de gemiddelde lichtefficiëntie (g/mol) traden in de proef significante verschillen op tussen de verschillende belichtingssystemen. Over de gehele teelt bleek het spectrum OB + continu FR de hoogste efficiëntie te behalen, gevolgd door het spectrum continu FR. De laagste lichtefficiëntie werd teruggevonden onder het spectrum ochtendblauw en onder het basisspectrum. Deze twee spectra verschillen significant van OB + continu FR inzake lichtefficiëntie. Geen enkel spectrum verschilde significant van SON-T.

Worden de verschillende niveaus van verrood met elkaar vergeleken (abstractie makend van de verschillen in blauw licht), dan kan er een duidelijk positief effect van het verrood op de lichtniveaus worden waargenomen. Bij continu verrood wordt bijna 3 g/mol efficiënter omgegaan dan bij het basisspectrum (zonder verrood), of iets meer dan 16%.

In de afzonderlijke teeltweken komen de effecten erg beperkt tot uiting. Hybride toont zich eenmaal (in week 3) lichtefficiënter dan full led zonder FR en zonder OB. Over alle belichtingssystemen zien we hoogste efficiëntie tussen week 3 en week 10, waarna efficiëntie vermindert bij een hogere natuurlijke instraling.

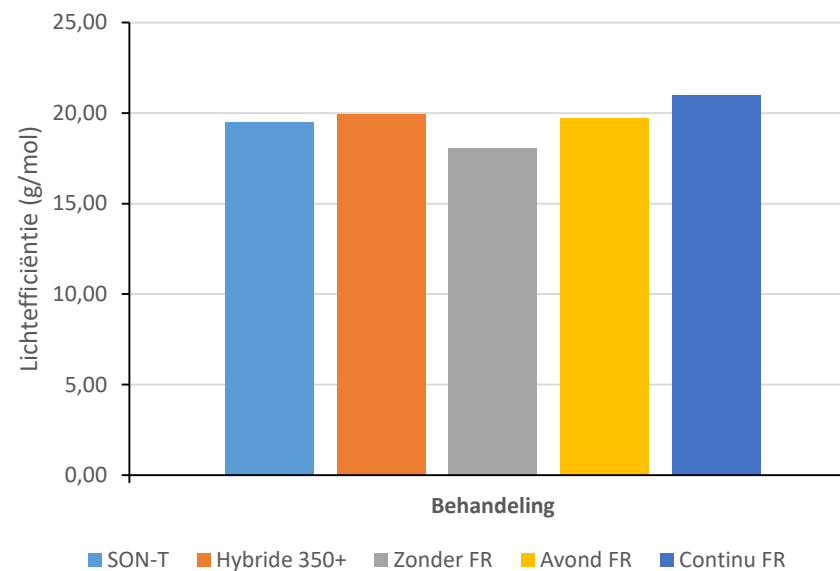
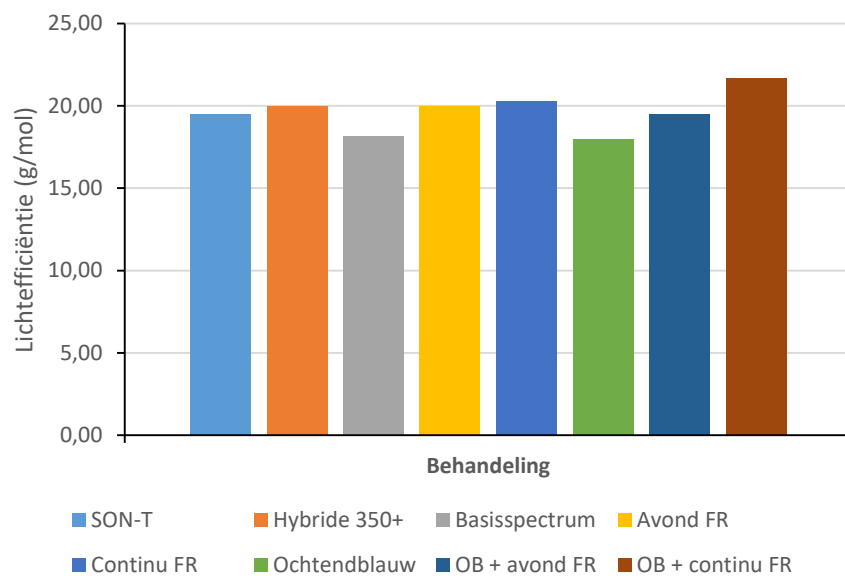
Week per week valt op dat de objecten met continu FR het vaakst het target haalden, gevolgd door avond FR en SON-T. Hybride kon het target enkele malen halen, terwijl de objecten met OB + avond FR, basisspectrum en ochtendblauw hier bijna nooit in slaagden. Het efficiëntietarget werd ingesteld op 22,5 g/mol en werd dus in de meest donkere periode zeker behaald. Naarmate de natuurlijke instraling stijgt, wordt het efficiëntietarget niet meer behaald. Dit is te verklaren doordat planten meer dan voldoende licht ontvingen. Door de plantafstand kwam er ruimte tussen de planten die niet benut werd en dus geen licht kon opvangen. Om de lichtefficiëntie te behouden, zou een strategie kunnen zijn om extra stengels aan te houden. Een andere optie was om vruchtsetjes aan te houden. Beide strategieën werden niet toegepast in deze proef, buiten de iets hogere vruchtbelasting tussen week 12 en 16.

Er zijn twee belangrijke bemerkingen te maken bij deze lichtefficiëntie. Bij SON-T wordt het verrode licht niet meegerekend in de totale lichtsom, bij led hebben we dat hier wel gedaan om een eerlijke weergave van de lichtinput te kunnen maken. Het verschil in lichtefficiëntie tussen continu FR en SON-T is dus in werkelijkheid groter. Een tweede bemerking is dat de natuurlijke instraling continu op 70% werd ingeschat. Tijdens de wintermaanden is dat een overschatting, maar werkelijke cijfers zijn niet voorhanden. De lichtefficiëntie lag in die maanden dus in werkelijkheid hoger.

**Tabel 20:** Lichtefficiëntie in g/mol over de gehele teeltperiode (links). Het effect van FR in het belichtingsspectrum op de lichtefficiëntie (midden). Het effect van OB in het belichtingsspectrum op de lichtefficiëntie (rechts).

| Behandeling     | Gemiddelde lichtefficiëntie (g/mol) |
|-----------------|-------------------------------------|
| SON-T           | 19,51 ab                            |
| Hybride 350+    | 19,94 ab                            |
| Basisspectrum   | 18,17 b                             |
| Avond FR        | 19,94 ab                            |
| Continu FR      | 20,28 ab                            |
| Ochtendblauw    | 17,95 b                             |
| OB + avond FR   | 19,52 ab                            |
| OB + continu FR | 21,67 a                             |

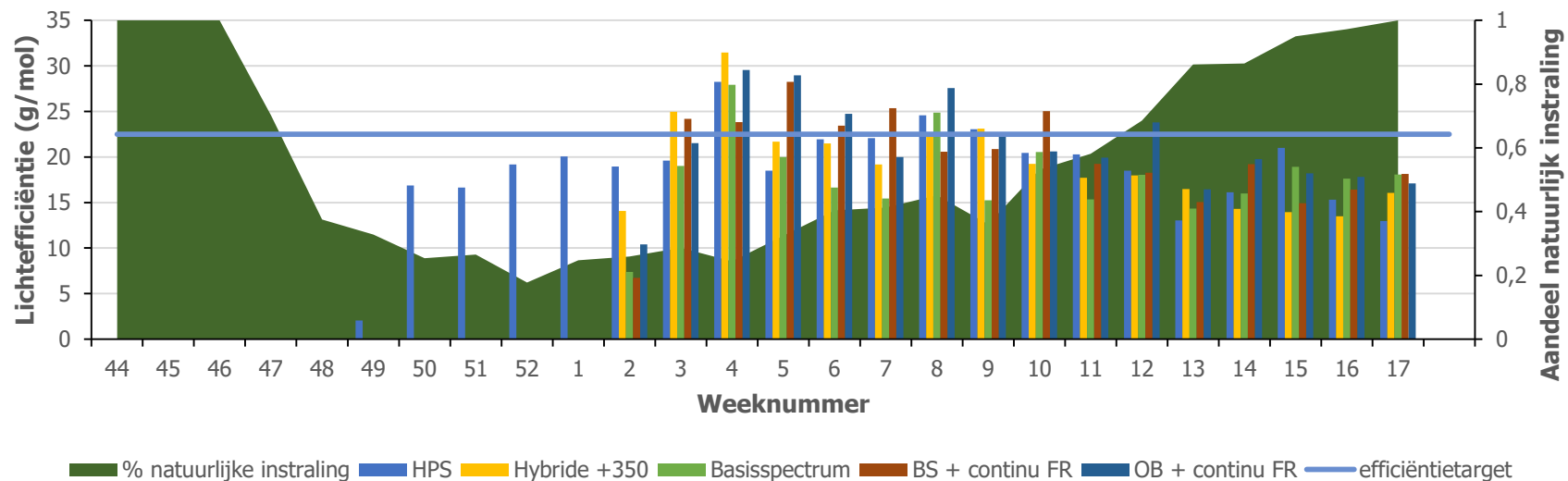
| Behandeling  | Gemiddelde lichtefficiëntie (g/mol) |
|--------------|-------------------------------------|
| SON-T        | 19,51 ab                            |
| Hybride 350+ | 19,94 ab                            |
| Zonder FR    | 18,06 b                             |
| Avond FR     | 19,73 ab                            |
| Continu FR   | 20,98 a                             |



**Figuur 19:** Lichtefficiëntie in g/mol over de gehele teeltperiode (links). Het effect van FR in het belichtingsspectrum op de lichtefficiëntie (midden). Het effect van OB in het belichtingsspectrum op de lichtefficiëntie (rechts).

**Tabel 21:** Effect van het belichtingsspectrum op lichtefficiëntie in g/mol per week.

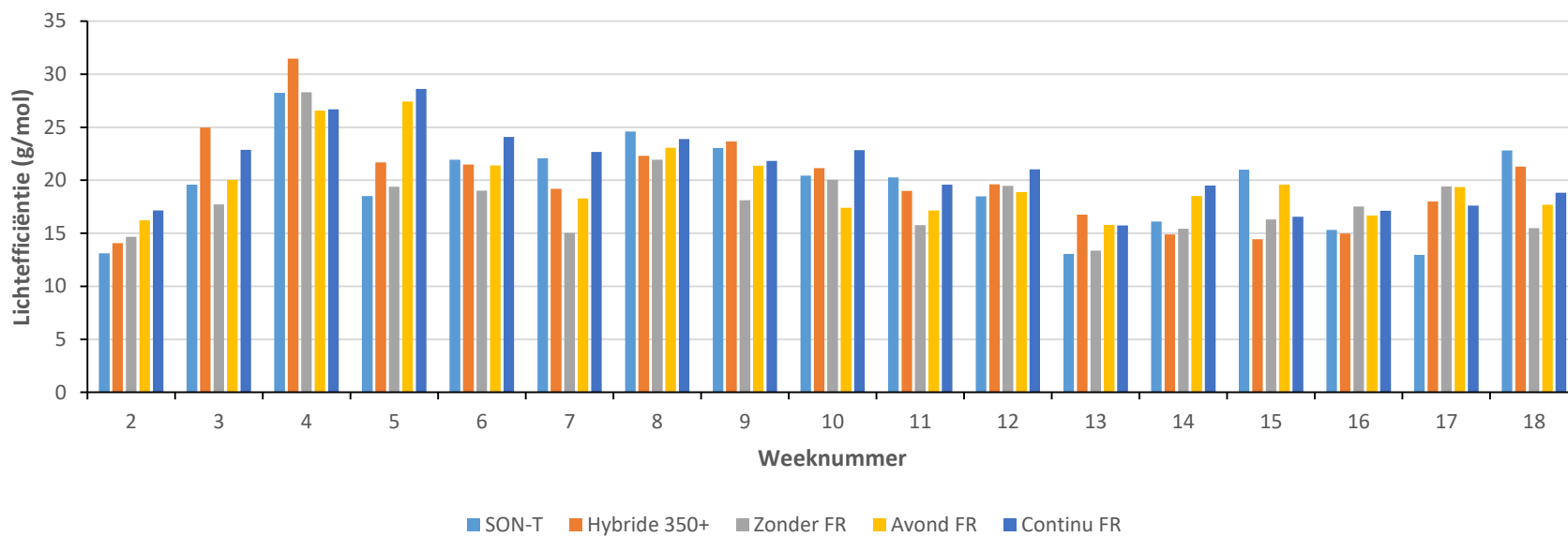
| Weeknummer \ Behandeling | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16   | 17   | 18   |
|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| SON-T                    | 13,1 | 19,6 | 28,2 | 18,5 | 21,9 | 22,1 | 24,6 | 23,0 | 20,4 | 20,3 | 18,5 | 13,1 | 16,1 | 21,0 | 15,3 | 13,0 | 22,8 |
| Hybride 350+             | 14,1 | 25,0 | 31,5 | 21,7 | 21,5 | 19,2 | 22,3 | 23,7 | 21,2 | 19,0 | 19,6 | 16,8 | 14,9 | 14,4 | 15,0 | 18,0 | 21,3 |
| Basisspectrum            | 14,8 | 19,0 | 27,9 | 20,0 | 16,7 | 15,4 | 24,9 | 15,3 | 20,6 | 15,3 | 18,0 | 14,3 | 16,0 | 18,9 | 17,6 | 18,1 | 16,0 |
| Avond FR                 | 17,2 | 17,7 | 25,8 | 26,2 | 20,8 | 18,8 | 23,7 | 22,2 | 16,8 | 19,5 | 20,6 | 16,3 | 21,6 | 23,0 | 17,7 | 17,4 | 13,6 |
| Continu FR               | 13,5 | 24,2 | 23,8 | 28,2 | 23,4 | 25,4 | 20,6 | 20,9 | 25,0 | 19,2 | 18,3 | 15,0 | 19,2 | 14,9 | 16,4 | 18,1 | 18,4 |
| Ochtendblauw             | 14,6 | 16,4 | 28,7 | 18,8 | 21,4 | 14,6 | 19,0 | 21,0 | 19,6 | 16,2 | 20,9 | 12,4 | 14,9 | 13,7 | 17,4 | 20,7 | 14,9 |
| OB + avond FR            | 15,3 | 22,4 | 27,4 | 28,6 | 22,0 | 17,7 | 22,4 | 20,5 | 18,0 | 14,9 | 17,1 | 15,3 | 15,5 | 16,1 | 15,7 | 21,3 | 21,7 |
| OB + continu FR          | 20,8 | 21,5 | 29,6 | 29,0 | 24,7 | 20,0 | 27,2 | 22,8 | 20,6 | 19,9 | 23,8 | 16,5 | 19,8 | 18,2 | 17,8 | 17,1 | 19,2 |



**Figuur 20:** Grafische weergave van het effect van verschillende lichtspectra op de lichtefficiëntie in g/mol in combinatie met het aandeel natuurlijke instraling

**Tabel 22:** Effect van verrood in het lichtingspectrum op lichtefficiëntie in g/mol per week.

| Weeknummer         | 2      | 3       | 4 *    | 5       | 6 *    | 7       | 8      | 9      | 10 *   | 11     | 12 *   | 13 *   | 14 *   | 15     | 16 *   | 17 *   | 18 *   |
|--------------------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| <b>Behandeling</b> |        |         |        |         |        |         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| SON-T              | 13,1 a | 19,6 ab | 28,2 a | 18,5 b  | 21,9 a | 22,1 ab | 24,6 a | 23,0 a | 20,4 a | 20,3 a | 18,5 a | 13,1 a | 16,1 a | 21,0 a | 15,3 a | 13,0 a | 22,8 a |
| Hybride 350+       | 14,1 a | 25,0 a  | 31,5 a | 21,7 ab | 21,5 a | 19,2 ab | 22,3 a | 23,7 a | 21,2 a | 19,0 a | 19,6 a | 16,8 a | 14,9 a | 14,4 a | 15,0 a | 18,0 a | 21,3 a |
| Zonder FR          | 14,7 a | 17,7 b  | 28,3 a | 19,4 b  | 19,0 a | 15,0 b  | 22,0 a | 18,1 a | 20,1 a | 15,8 a | 19,5 a | 13,4 a | 15,4 a | 16,3 a | 17,5 a | 19,4 a | 15,5 a |
| Avond FR           | 16,2 a | 20,0 ab | 26,6 a | 27,4 a  | 21,4 a | 18,3 ab | 23,1 a | 21,4 a | 17,4 a | 17,2 a | 18,9 a | 15,8 a | 18,5 a | 19,6 a | 16,7 a | 19,4 a | 17,7 a |
| Continu FR         | 17,1 a | 22,9 ab | 26,7 a | 28,6 a  | 24,1 a | 22,7 a  | 23,9 a | 21,8 a | 22,8 a | 19,6 a | 21,0 a | 15,8 a | 19,5 a | 16,6 a | 17,1 a | 17,6 a | 18,8 a |



**Figuur 21:** Grafische weergave van het effect van verrood licht in het licht spectrum op de lichtefficiëntie in g/mol per week



## C. Resultaten en bespreking teelttechnieken

Onder het hybridebelichtingssysteem werd een proef aangelegd waarbij door het toepassen van verschillende strategieën werd getracht om de lichtefficiëntie te verhogen. Er werden twee teelttechnieken toegepast:

- a) **Oogsten op een verschillend vruchtgewicht.** Door lichter te oogsten kan voldoende snelheid in het gewas worden gehouden. Anderzijds blijkt een zwaardere komkommer (+400 gram) tijdens de wintermaanden beter gewaardeerd met een hogere prijszetting.
- b) **Aanhouden van extra stengels.** Door het aanhouden van extra stengels bij opkomst van natuurlijk licht in het voorjaar wordt de stengeldensiteit verhoogd. Hierdoor kan het toenemende licht beter worden opgevangen en zou in theorie een hoger opbrengstpotentieel mogelijk zijn. Belangrijke kanttekening is de stijgende arbeidsvraag die elke extra stengel brengt.

In tabel 24 wordt nog eens kort het verschil tussen de teelttechnieken weergegeven. Zoals hierboven reeds aangegeven, werd deze proef bedreigd door een schimmelziekte. Hierdoor werd afgeweken van het oorspronkelijke plan bij strategie 5. Oorspronkelijk zou hier tweetraps gewerkt worden naar een stengeldensiteit van 3,75 stengels/m<sup>2</sup>, maar de tweede ronde werd niet uitgevoerd. Hierdoor is teelttechniek 5 een kopie van teelttechniek 4.

Bijkomende stengels werden aangemaakt door het aanhouden van een scheut en niet door het toppen van de planten. Het aankoorden van de extra stengel gebeurde op 4 februari.

**Tabel 24:** Proefopzet teelttechnieken

| Behandeling | Oogstgewicht | Extra stengel per vier planten | Plantdensiteit (stengels/m <sup>2</sup> ) |
|-------------|--------------|--------------------------------|---|
| Teelttech 1 | 400+         | 0:4                            | 2,500                                     |
| Teelttech 2 | 400+         | 1:4                            | 3,125                                     |
| Teelttech 3 | 350+         | 0:4                            | 2,500                                     |
| Teelttech 4 | 350+         | 1:4                            | 3,125                                     |
| Teelttech 5 | 350+         | 1:4                            | 3,125                                     |
| Teelttech 6 | 350+         | 2:4                            | 3,750                                     |

### 1. Extra stengels aanhouden

Met het opkomend licht en met een verhoogde natuurlijke instraling werden onder het hybridebelichtingssysteem extra stengels aangehouden. De planten konden deze extra belasting duidelijk aan, wat resulteerde in een meeropbrengst. Hoewel de gemiddelde totale producties in kg/m<sup>2</sup> sterk verschillen van elkaar, bleek dit niet altijd significant te zijn. Zo is de hoogste productie, teelttechniek 6, waarbij de stengeldensiteit werd verhoogd met 50% (3,75 planten/m<sup>2</sup>), alleen significant verschillend met teelttechniek 3, waarbij geen extra stengels werden aangehouden (2,5 planten/m<sup>2</sup>). Een verklaring is dat herhalingen steeds twee zon- en twee schaduwkanten omvatten.

Indien gekeken wordt naar productie in aantal vruchten/m<sup>2</sup>, vinden we meer significante verschillen terug. Het hoogst aantal vruchten wordt opnieuw gevonden bij teelttechniek 6 (de hoogste stengeldensiteit), beduidend hoger dan teelttechniek 1 en 3, waarbij telkens geen extra stengel werd aangehouden. Ook teelttechniek 4 en 5, elk met een toename van de stengeldensiteit met een kwart, verschillen significant van teelttechniek 1 en 3.



**Figuur 12:** de verhoging van de stengeldensiteit werd bekomen door het aanhouden van een scheut, waarbij de hoofdstengel werd afgeleid. Om de overgang vlot te laten verlopen, werd er op de hoofdstengel en de bijkomende scheut een extra vrucht gedund.

Het hogere vruchtgewicht bij teelttechniek 1 en 2 is rechtstreeks veroorzaakt door de proefopzet. Verder is geen echte invloed van de stengeldichtheden op het vruchtgewicht waar te nemen. Een hogere stengeldichtheid ging in deze proef dus niet gepaard met een (sterke) vermindering van het gemiddelde vruchtgewicht, waardoor bijkomende vruchten resulteerden in hogere opbrengsten.

Algemeen kunnen we stellen dat het verhogen van de stengeldichtheid, tijdens de stijgende natuurlijke instraling gepaard gaat met een opbrengstverhoging. Die opbrengstverhoging komt vooral door het verkrijgen van meer stuks (en het niet wegzakken van het vruchtgewicht).

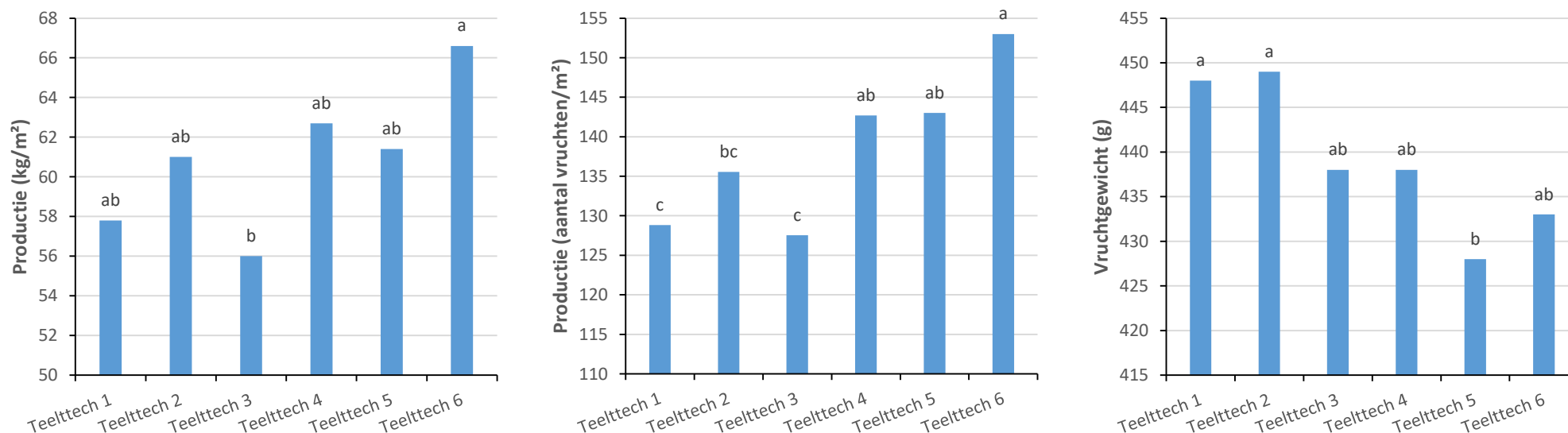
## 2. Verschillende doelooftgewichten aanhouden

Bekijken we de verschillen in beoogd vruchtgewicht, dan valt op dat bij het aanhouden van 25% meer stengels teelttechniek 4 en 5 (beiden +350) net iets meer vruchten/m<sup>2</sup> worden geoogst in vergelijking met teelttechniek 2 (+400), weliswaar niet significant. Een gelijkaardig verschil zien we niet terug tussen teelttechniek 1 en 3, waar geen stengels extra werden aangehouden; daar zijn het aantal vruchten/m<sup>2</sup> ongeveer gelijk.

Het gemiddeld vruchtgewicht ligt bij alle teelttechnieken boven 400 gram. De hogere producties bij teelttechniek 2, 4, 5 en 6 worden dus niet veroorzaakt door meer ondermaatse vruchten. De beoogde vruchtgewichten liggen eigenlijk iets te hoog voor de proef. Dit is te wijten aan het niet oogsten in het weekend en het daaropvolgend 'maandag-effect'.

**Tabel 24:** Effect van de verschillende teelttechnieken op de totale productie in kg/m<sup>2</sup> (links) en in aantal vruchten/m<sup>2</sup> (midden) en op het gemiddeld vruchtgewicht (rechts)

| Behandeling | Productie (kg/m <sup>2</sup> )* | Relatief t.o.v. teelttechniek 1 | Productie (aantal vruchten/m <sup>2</sup> ) | Relatief t.o.v. teelttechniek 1 | Gemiddeld vruchtgewicht (g) | Relatief t.o.v. teelttechniek 1 |
|-------------|---------------------------------|---------------------------------|---|---------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| Teelttech 1 | 57,8 ab                         | 100,0%                          | 128,8 c                                     | 100,0%                          | 448 a                       | 100,0%                          |
| Teelttech 2 | 60,9 ab                         | 105,4%                          | 135,6 bc                                    | 105,2%                          | 450 a                       | 100,4%                          |
| Teelttech 3 | 56,1 b                          | 97,0%                           | 127,5 c                                     | 99,0%                           | 438 ab                      | 97,8%                           |
| Teelttech 4 | 62,7 ab                         | 108,5%                          | 142,7 ab                                    | 110,8%                          | 439 ab                      | 98,0%                           |
| Teelttech 5 | 61,4 ab                         | 106,2%                          | 143,0 ab                                    | 111,0%                          | 430 b                       | 95,9%                           |
| Teelttech 6 | 66,7 a                          | 115,3%                          | 153,0 a                                     | 118,8%                          | 435 ab                      | 97,1%                           |



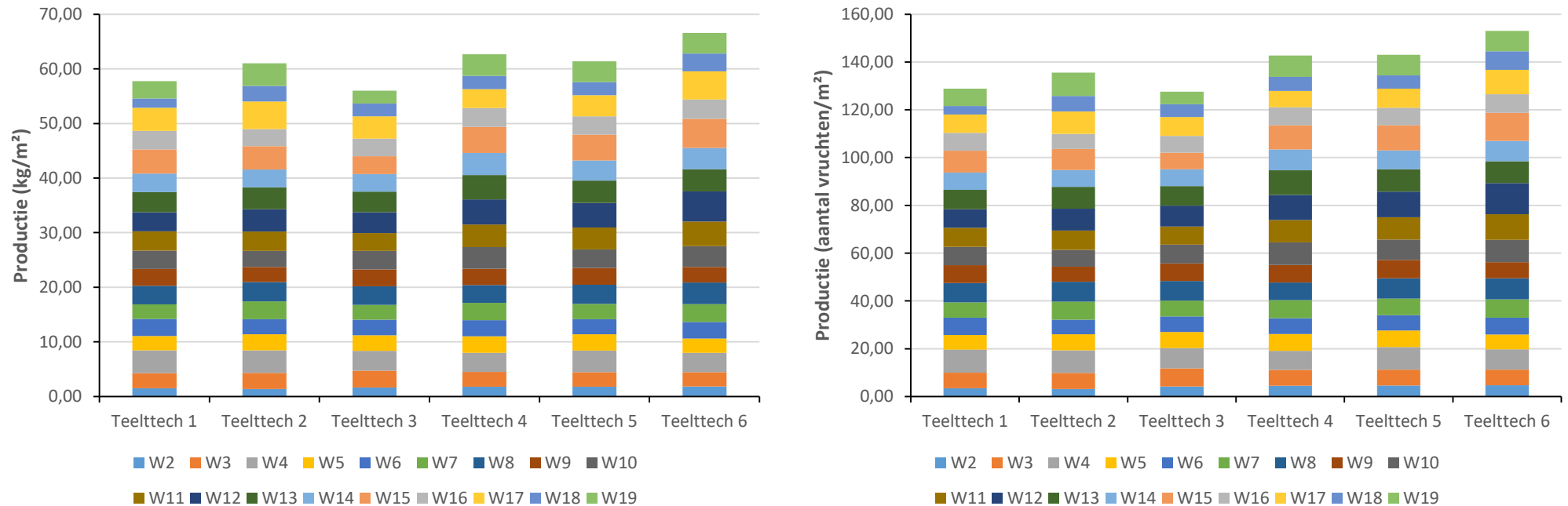
**Figuur 23:** Grafische weergave van het effect van de verschillende teelttechnieken op de totale productie in kg/m<sup>2</sup> (links) en in aantal vruchten/m<sup>2</sup> (midden) en op het gemiddeld vruchtgewicht (rechts)

**Tabel 25:** Effect van de verschillende teelttechnieken op de weekproductie in kg/m<sup>2</sup> (bovenste tabel) en op de weekproductie in aantal vruchten/m<sup>2</sup> (onderste tabel)

| Behandeling \ Oogstweek | Oogstweek |        |        |        |        |        |        |        |        |         |          |        |        |         |        |        |         |        |  |
|-------------------------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|----------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|--------|--|
|                         | 2         | 3      | 4*     | 5*     | 6      | 7*     | 8      | 9*     | 10     | 11      | 12*      | 13     | 14     | 15*     | 16*    | 17     | 18      | 19*    |  |
| Teelttech 1             | 1,51 ab   | 2,75 a | 4,19 a | 2,63 a | 3,10 a | 2,67 a | 3,42 a | 3,09 a | 3,37 a | 3,52 ab | 3,49 c   | 3,68 a | 3,43 a | 4,41 ab | 3,39 a | 4,21 a | 1,70 b  | 3,19 a |  |
| Teelttech 2             | 1,36 b    | 2,95 a | 4,16 a | 2,93 a | 2,75 a | 3,29 a | 3,54 a | 2,72 a | 2,95 a | 3,54 ab | 4,12 abc | 4,01 a | 3,26 a | 4,24 ab | 3,13 a | 5,07 a | 2,87 ab | 4,21 a |  |
| Teelttech 3             | 1,66 ab   | 3,05 a | 3,63 a | 2,86 a | 2,86 a | 2,70 a | 3,41 a | 3,08 a | 3,41 a | 3,28 b  | 3,82 bc  | 3,76 a | 3,20 a | 3,26 b  | 3,23 a | 4,12 a | 2,32 ab | 2,34 a |  |
| Teelttech 4             | 1,80 ab   | 2,71 a | 3,47 a | 3,05 a | 2,95 a | 3,16 a | 3,25 a | 3,01 a | 3,95 a | 4,12 ab | 4,63 ab  | 4,46 a | 4,02 a | 4,80 ab | 3,45 a | 3,45 a | 2,42 ab | 3,96 a |  |
| Teelttech 5             | 1,76 ab   | 2,69 a | 3,96 a | 2,99 a | 2,74 a | 2,80 a | 3,50 a | 3,10 a | 3,41 a | 3,97 ab | 4,53 abc | 4,10 a | 3,65 a | 4,76 ab | 3,36 a | 3,87 a | 2,40 ab | 3,79 a |  |
| Teelttech 6             | 1,82 a    | 2,61 a | 3,57 a | 2,59 a | 3,05 a | 3,28 a | 3,94 a | 2,85 a | 3,81 a | 4,53 a  | 5,51 a   | 4,05 a | 3,92 a | 5,33 a  | 3,55 a | 5,12 a | 3,29 a  | 3,76 a |  |

| Behandeling \ Oogstweek | Oogstweek |        |        |        |        |        |        |        |        |         |         |         |        |         |        |         |         |         |  |
|-------------------------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|---------|--------|---------|---------|---------|--|
|                         | 2         | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9*     | 10     | 11      | 12      | 13      | 14*    | 15      | 16*    | 17      | 18      | 19*     |  |
| Teelttech 1             | 3,44 ab   | 6,51 a | 9,64 a | 6,15 a | 7,24 a | 6,41 a | 8,07 a | 7,52 a | 7,63 a | 8,03 a  | 7,73 a  | 8,10 a  | 7,23 a | 9,19 a  | 7,48 a | 7,62 a  | 3,65 b  | 7,20 ab |  |
| Teelttech 2             | 3,13 b    | 6,77 a | 9,38 a | 6,72 a | 6,15 a | 7,60 a | 8,23 a | 6,35 a | 7,08 a | 8,07 a  | 9,17 a  | 9,11 a  | 7,03 a | 8,80 a  | 6,38 a | 9,29 a  | 6,54 ab | 9,75 a  |  |
| Teelttech 3             | 4,22 ab   | 7,55 a | 8,49 a | 6,72 a | 6,51 a | 6,67 a | 8,13 a | 7,35 a | 7,95 a | 7,58 a  | 8,67 a  | 8,27 a  | 7,04 a | 6,91 a  | 7,02 a | 7,91 a  | 5,38 ab | 5,18 b  |  |
| Teelttech 4             | 4,48 ab   | 6,61 a | 8,02 a | 7,08 a | 6,56 a | 7,60 a | 7,36 a | 7,32 a | 9,46 a | 9,40 a  | 10,54 a | 10,26 a | 8,67 a | 10,11 a | 7,55 a | 6,91 a  | 5,83 ab | 8,93 ab |  |
| Teelttech 5             | 4,58 a    | 6,67 a | 9,48 a | 6,93 a | 6,41 a | 6,93 a | 8,49 a | 7,70 a | 8,52 a | 9,28 a  | 10,78 a | 9,32 a  | 7,92 a | 10,47 a | 7,34 a | 8,02 a  | 5,63 ab | 8,54 ab |  |
| Teelttech 6             | 4,74 a    | 6,46 a | 8,54 a | 6,15 a | 7,14 a | 7,66 a | 8,82 a | 6,74 a | 9,34 a | 10,72 a | 12,97 a | 9,21 a  | 8,46 a | 11,77 a | 7,81 a | 10,16 a | 7,81 a  | 8,49 ab |  |



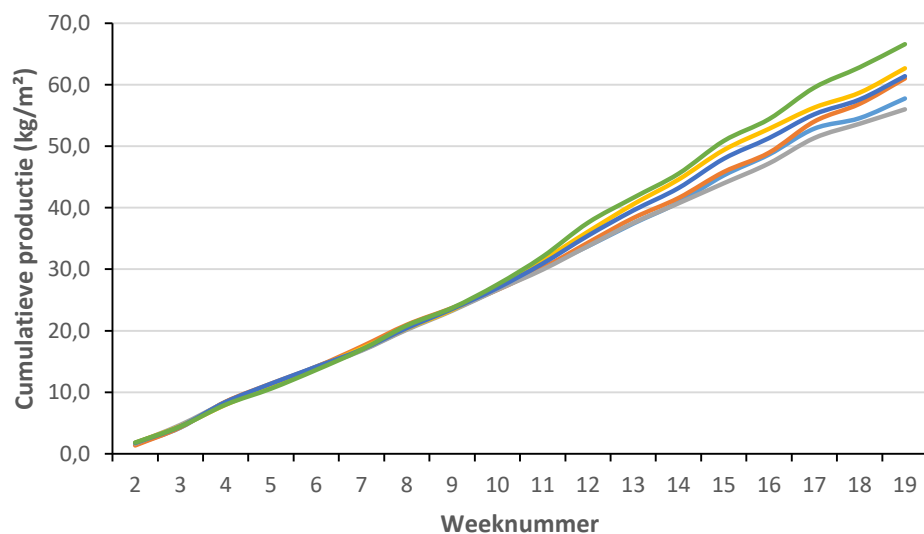
**Figuur 24:** Grafische weergave van het effect van de verschillende teelttechnieken op de weekproductie in kg/m<sup>2</sup> (links) en op de weekproductie in aantal vruchten/m<sup>2</sup> (rechts)

**Tabel 26:** Effect van de verschillende teelttechnieken op de cumulatieve weekproductie in kg/m<sup>2</sup> (bovenste tabel) en op de cumulatieve weekproductie in aantal vruchten/m<sup>2</sup> (onderste tabel)

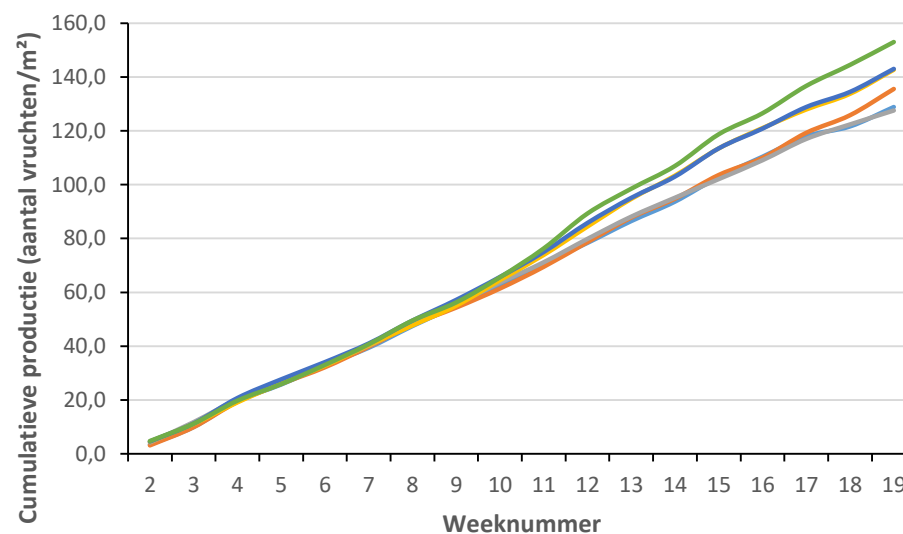
| Oogstweek \ Behandeling | 2      | 3     | 4     | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     | 11     | 12     | 13     | 14      | 15       | 16       | 17      | 18      | 19*     |
|-------------------------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|----------|----------|---------|---------|---------|
| Teelttech 1             | 1,5 ab | 4,3 a | 8,4 a | 11,1 a | 14,2 a | 16,8 a | 20,3 a | 23,4 a | 26,7 a | 30,2 a | 33,7 a | 37,4 a | 40,9 b  | 45,3 bc  | 48,6 bc  | 52,9 b  | 54,6 b  | 57,8 ab |
| Teelttech 2             | 1,4 b  | 4,3 a | 8,5 a | 11,4 a | 14,2 a | 17,4 a | 21,0 a | 23,7 a | 26,7 a | 30,2 a | 34,3 a | 38,3 a | 41,6 ab | 45,8 abc | 49,0 bc  | 54,0 ab | 56,9 ab | 61,1 ab |
| Teelttech 3             | 1,7 ab | 4,7 a | 8,3 a | 11,2 a | 14,1 a | 16,8 a | 20,2 a | 23,2 a | 26,7 a | 29,9 a | 33,8 a | 37,5 a | 40,7 b  | 44,0 c   | 47,2 c   | 51,3 b  | 53,7 b  | 56,0 b  |
| Teelttech 4             | 1,8 ab | 4,5 a | 8,0 a | 11,0 a | 14,0 a | 17,1 a | 20,4 a | 23,4 a | 27,4 a | 31,5 a | 36,1 a | 40,6 a | 44,6 ab | 49,4 ab  | 52,8 ab  | 56,3 ab | 58,7 ab | 62,7 ab |
| Teelttech 5             | 1,8 ab | 4,4 a | 8,4 a | 11,4 a | 14,1 a | 16,9 a | 20,4 a | 23,5 a | 27,0 a | 30,9 a | 35,5 a | 39,6 a | 43,2 ab | 48,0 abc | 51,3 abc | 55,2 ab | 57,6 ab | 61,4 ab |
| Teelttech 6             | 1,8 a  | 4,4 a | 8,0 a | 10,6 a | 13,6 a | 16,9 a | 20,9 a | 23,7 a | 27,5 a | 32,1 a | 37,6 a | 41,6 a | 45,5 a  | 50,9 a   | 54,4 a   | 59,5 a  | 62,8 a  | 66,6 a  |

| Oogstweek \ Behandeling | 2      | 3       | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9*     | 10     | 11      | 12       | 13      | 14*      | 15       | 16*      | 17       | 18       | 19*      |
|-------------------------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Teelttech 1             | 3,4 ab | 9,9 b   | 19,6 a | 25,7 a | 33,0 a | 39,4 a | 47,4 a | 55,0 a | 62,6 a | 70,6 ab | 78,4 c   | 86,5 b  | 93,7 b   | 102,9 b  | 110,4 bc | 118,0 b  | 121,6 b  | 128,8 c  |
| Teelttech 2             | 3,1 b  | 9,9 b   | 19,3 a | 26,0 a | 32,1 a | 39,7 a | 48,0 a | 54,3 a | 61,4 a | 69,5 b  | 78,6 c   | 87,8 b  | 94,8 b   | 103,6 b  | 110,0 c  | 119,3 b  | 125,8 b  | 135,6 bc |
| Teelttech 3             | 4,2 ab | 11,8 a  | 20,3 a | 27,0 a | 33,5 a | 40,2 a | 48,3 a | 55,6 a | 63,6 a | 71,2 ab | 79,8 bc  | 88,1 ab | 95,1 b   | 102,0 b  | 109,1 c  | 117,0 b  | 122,4 b  | 127,5 c  |
| Teelttech 4             | 4,5 ab | 11,1 ab | 19,1 a | 26,2 a | 32,8 a | 40,4 a | 47,7 a | 55,0 a | 64,5 a | 73,9 ab | 84,4 abc | 94,7 ab | 103,4 ab | 113,5 ab | 121,0 a  | 127,9 ab | 133,8 ab | 142,7 ab |
| Teelttech 5             | 4,6 a  | 11,3 ab | 20,7 a | 27,7 a | 34,1 a | 41,0 a | 49,5 a | 57,2 a | 65,7 a | 75,0 ab | 85,8 ab  | 95,1 ab | 103,0 ab | 113,5 ab | 120,8 ab | 128,8 ab | 134,5 ab | 143,0 ab |
| Teelttech 6             | 4,7 a  | 11,2 ab | 19,7 a | 25,9 a | 33,0 a | 40,7 a | 49,5 a | 56,2 a | 65,6 a | 76,3 a  | 89,3 a   | 98,5 a  | 106,9 a  | 118,7 a  | 126,5 a  | 136,7 a  | 144,5 a  | 153,0 a  |



— Teelttech 1 — Teelttech 2 — Teelttech 3  
 — Teelttech 4 — Teelttech 5 — Teelttech 6

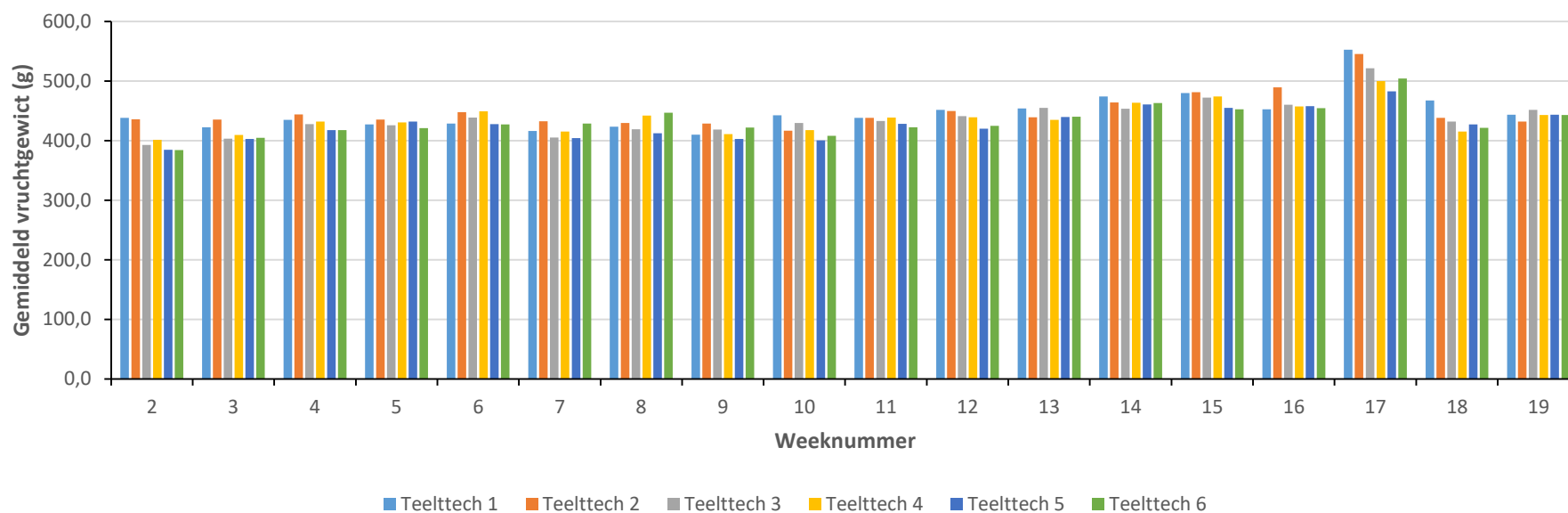


— Teelttech 1 — Teelttech 2 — Teelttech 3  
 — Teelttech 4 — Teelttech 5 — Teelttech 6

**Figuur 25:** Grafische weergave van het effect van de verschillende teelttechnieken op de cumulatieve weekproductie in kg/m<sup>2</sup> (links) en op de cumulatieve weekproductie in aantal vruchten/m<sup>2</sup> (rechts)

**Tabel 27:** Effect van de verschillende teelttechnieken op het gemiddeld wekelijks vruchtgewicht

| Behandeling | Oogstweek   | 2*      | 3       | 4        | 5        | 6       | 7       | 8       | 9       | 10      | 11      | 12      | 13      | 14      | 15      | 16      | 17      | 18      | 19      |
|-------------|-------------|---------|---------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|             | Teelttech 1 |         | 438,4 a | 422,6 a  | 434,9 ab | 427,4 a | 428,8 a | 416,3 a | 423,5 a | 410,3 a | 442,6 a | 438,3 a | 451,9 a | 454,2 a | 474,4 a | 479,9 a | 452,6 a | 552,6 a | 467,6 a |
| Teelttech 2 |             | 436,2 a | 435,3 a | 444,0 a  | 435,5 a  | 448,1 a | 432,8 a | 429,9 a | 428,6 a | 416,9 a | 438,5 a | 449,9 a | 439,4 a | 464,3 a | 481,6 a | 489,7 a | 545,5 a | 438,4 a | 432,0 a |
| Teelttech 3 |             | 392,7 a | 403,2 a | 427,7 ab | 425,7 a  | 439,0 a | 405,4 a | 419,2 a | 418,8 a | 429,6 a | 433,1 a | 441,2 a | 455,0 a | 453,9 a | 472,5 a | 460,5 a | 521,5 a | 431,9 a | 451,7 a |
| Teelttech 4 |             | 401,6 a | 409,4 a | 432,2 ab | 430,9 a  | 449,6 a | 415,6 a | 442,1 a | 410,9 a | 417,8 a | 438,7 a | 439,2 a | 434,9 a | 463,7 a | 474,4 a | 457,3 a | 500,3 a | 415,2 a | 443,0 a |
| Teelttech 5 |             | 384,5 a | 403,0 a | 417,8 b  | 432,1 a  | 427,7 a | 404,4 a | 412,5 a | 403,1 a | 400,3 a | 428,2 a | 420,2 a | 439,7 a | 461,1 a | 455,1 a | 458,0 a | 482,8 a | 427,3 a | 443,8 a |
| Teelttech 6 |             | 384,1 a | 404,7 a | 417,6 b  | 421,0 a  | 427,2 a | 428,8 a | 447,1 a | 422,3 a | 408,1 a | 422,7 a | 425,1 a | 440,1 a | 463,1 a | 452,8 a | 454,6 a | 504,3 a | 421,7 a | 443,0 a |



**Figuur 26:** Grafische weergave van het effect van de verschillende teelttechnieken op het gemiddeld wekelijks vruchtgewicht

## D. Conclusies

Tijdens dit onderzoek werden de effecten van de verschillende belichtingssystemen, met name SON-T, hybride en zes verschillende led-spectra op plantkwaliteit en plantopbrengst onderzocht. Daarnaast werden onder het hybridebelichtingssysteem twee teelttechnieken met in totaal zes verschillende strategieën geëvalueerd, namelijk extra stengels aanhouden met het opkomende licht en oogsten in twee verschillende gewichtsklassen.

### 1. Effect van het belichtingsspectrum

**Lengtegroei:** Een verminderde lengtegroei werd waargenomen onder de objecten met continu verrood in hun spectrum. De significante verschillen varieerden gedurende de teeltperiode, maar over de gehele teelt bleken de planten onder de objecten met continu verrood een beduidend kleinere stengel te hebben. Nochtans wordt in de literatuur vermeld dat verrood licht een positief effect heeft op de strekking. De plant ervaart een verlaagde ratio rood:verrood licht als schaduw en wil naar het licht toegroeien, beter bekend als het 'shade avoidance syndrome' (Ballaré & Pierik, 2017). In deze proef werd de strekking deels geremd door het uit balans treden van de planten. In het begin groeiden de vruchten onder continu FR erg snel uit, werd een te generatieve groei waargenomen, waardoor het totale vruchtgewicht aan de plant hoog was. Aangezien de vruchten een kortere uitgroeiduur kenden, werd het oogstgewicht sneller behaald en werden de vruchten sneller geoogst ten opzichte van de komkommers onder de andere belichtingssystemen. Omdat de teeltsturing niet verschilde tussen de objecten, werden de planten onder continu FR als het ware leeg geoogst. De balans van de plant werd verstoord, wat op zijn beurt een negatief effect had op de apicale dominantie. Een aparte sturing had dit kunnen verhelpen. Een tweede verklaring voor de lagere lengtetoeename is de lagere totale bladafplitsing, maar dan nog blijft de internodiënlengte korter.

Het verrood licht afbouwend toedienen tijdens de laatste belichtingsuren, bleek dan weer wel een positief effect te hebben op de lengtegroei.

Een merkwaardige waarneming tijdens deze proef was de lengtegroei onder het spectrum ochtendblauw. Normaliter heeft blauw licht een negatief effect op de lengtegroei van de stengel. Het blauw licht zal de aanmaak van het planthormoon gibberelline, dat instaat voor de celstrekking, reduceren zodanig dat een compactere plant ontstaat (Dueck *et al.*, 2003; Claeyns, 2017). Mogelijks wordt dit effect teniet gedaan door in te spelen op het circadiaans ritme van de plant, in dit geval een ochtend induceren. Dit effect werd ook teruggevonden bij het spectrum OB + avond FR.

De stengels onder het hybridebelichtingssysteem en SON-T waren ongeveer even lang en verschilden niet significant van elkaar.

**Bladoppervlakte:** Bladeren onder een spectrum zonder verrood stonden meer gekrompen, paraplu, terwijl bladeren onder een spectrum met verrood vlakker, meer horizontaal gestrekt waren. Die laatste hadden visueel ook een langere petiool-lengte (bladsteel), waardoor de plant minder compact groeide. Van bovenaf gezien vulden de planten met verrood meer de ruimte. Daardoor beschikten ze over het potentieel tot een betere lichtonderschepping. Door de stand van het blad kon de plant onder een spectrum zonder (of met minder) verrood onvoldoende licht opnemen om aan een zelfde niveau van fotosynthese te doen. De plant compenseerde dit door grotere bladeren aan te maken zodanig dat een groter oppervlak beschikbaar werd voor de lichtopname. Verrood –of in feite de kleinere rood:verrood-verhouding- gaf in deze proef dus een positief effect op de plantarchitectuur, waardoor de plant minder energie leek te moeten steken in biomassa. Het effect werd groter bij continu verrood ten opzichte van avond verrood.

**Bladafsplitsing:** Er werd een duidelijk verminderde bladafsplitsing vastgesteld tussen led-belichting met continu verrood en SON-T inclusief hybride. Dit komt overeen met de verminderde stengellengtegroei onder verrood licht. Daar de productie niet minder was bij deze planten kan het ook verklaard worden doordat de plant geen behoefte had aan meer bladeren (er werd minder geaborteerd). Door minder bladeren te vormen kunnen er ook minder vruchten gevormd worden. We zien wel een iets lager aantal vruchten gevormd bij continu FR, maar dit verschil is niet significant. Verder kan de hoogte waarop de volgroeide vruchten zich bevonden alsook het uit balans treden van de planten een rol hebben gespeeld bij de verminderde bladafsplitsing.

Het valt op dat de resultaten van de metingen in elke parameter met betrekking tot de plantontwikkeling tijdens de laatste week steeds lager liggen dan gemiddeld. Dit is mogelijk te verklaren door een samenhang van factoren. Ten eerste zijn de planten op het eind van de teelt al vrij lang, waardoor de plant meer energie nodig heeft om zijn sapstroom tot boven te krijgen. Ten tweede is het vruchtbehang lager ten opzichte van de andere weken. Daarnaast werd vanaf week 11 minder belicht met led (zie figuur 20), aangezien de natuurlijke instraling gedurende heel de dag ruim voldoende was voor de aangehouden plantdensiteit. De planten krijgen sinds dat moment andere golf lengtes, andere kleurverhoudingen en dus andere spectra binnen. Hoewel hier nog niets over te vinden is in de literatuur kan dit eventueel wel een invloed hebben op de plantontwikkeling.

**Stengeldiameter:** Tijdens de teelt werden geen duidelijke trends waargenomen inzake stengeldiameter. De dunste stengel werd teruggevonden onder de objecten met avond FR, significant verschillend van alle belichtingssystemen met uitzondering van het continu FR-spectrum. De planten onder SON-T en hybride 350+ beschikten dan weer over de dikste stengels.

**Bladeren boven de open bloem:** In de parameter bladeren boven de open bloem treden nauwelijks significante verschillen op gedurende de testperiode. Algemeen werden het minst aantal bladeren boven de open bloem gevonden onder de objecten met continu FR. Hierdoor kan gesteld worden dat toevoeging van continu verrood licht aan het spectrum een vroegere bloei induceert, wat overeenkomt met de literatuur (Li *et al.*, 2011). De verhoogde bloem in de plant is een bijkomende uiting van verhoogde generativiteit. Verrood licht pas in de avond toedienen, lijkt in het algemeen geen verschil te geven. De planten onder het basisspectrum en het ochtendblauw-spectrum groeiden gemiddeld meer vegetatief tegenover de planten onder de objecten met continu FR. Een verschil in vegetatieve of generatieve groei tussen SON-T en hybride werd niet gevonden.

**Vruchten vanaf de open bloem:** Het aantal vruchten vanaf de open bloem werd geteld om de vruchtuigroei in kaart te brengen. Idealiter hangen zes à zeven vruchten aan de plant. Dit was meestal ook het geval tijdens de teeltperiode. Onder de objecten met continu FR werd zo goed als geen abortie waargenomen, maar groeiden de komkommers erg snel uit (wat niet positief is voor de plantbalans, maar bij de gekozen opzet van gelijkwaardige gewasbehandeling en –sturing niet anders kon). Dit verklaart waarom hier gemiddeld het minst aantal vruchten werden waargenomen. Verrood licht lijkt dus een positieve stimulans te zijn voor het uitgroeien van de vruchten. Dezelfde trend deed zich voor bij de objecten onder avond FR, weliswaar niet significant.

De vruchtuigroei tussen SON-T- en hybridebelichting verschilt nauwelijks van elkaar. Wel zorgde het led deel van hybride voor een mooiere vrucht qua kleur, vorm en glans. Komkommers waren opmerkelijk groener dan onder SON-T.

**Bladeren onder de open bloem:** Net zoals de minste bladeren boven de open bloem wordt gevonden bij de objecten met continu FR, worden bij deze spectra ook het minst aantal bladeren onder de open bloem gevonden. Dit was te verwachten doordat aan deze planten telkens het minst aantal komkommers hingen en bevestigt ook



de voorgaande waarneming dat verrood licht zorgt voor een snellere vruchtuigroei. De objecten met avond FR hadden iets meer bladeren onder de open bloem tegenover de objecten met continu FR, maar nog steeds significant minder dan het aantal bladeren onder de open bloem bij SON-T-belichting.

**Biomassaproductie blad:** Indien gekeken wordt naar het versgewicht van de bladeren wordt een significant zwaarder blad teruggevonden onder het spectrum ochtendblauw ten opzichte van de andere led-spectra met uitzondering van OB + continu FR. Dit is helemaal niet opmerkelijk, aangezien de planten onder ochtendblauw de grootste bladeren bevatten. Het is wel merkwaardig dat het kleine blad onder OB + continu FR relatief zwaar is, terwijl het blad onder continu FR het laagste versgewicht heeft. Dit verschil wordt ook waargenomen bij avond FR en OB + avond FR, weliswaar minder uitgesproken. Verrood licht lijkt dus, mede door een meer horizontaler blad en dus een kleiner blad, te zorgen voor een laag versgewicht. Extra blauw licht in de ochtend lijkt voor een hoger versgewicht te zorgen als er wordt vergeleken met de led-objecten zonder extra blauw. Het versgewicht van de bladeren onder hybride ligt significant hoger dan onder SON-T.

Het procentuele drogestofgehalte was bij de objecten met continu FR beduidend hoger in vergelijking met de andere belichtingssystemen. Het drogestofgehalte lijkt in correlatie te staan met de rood:verrood-ratio. Dit onderschrijft de stimulerende werking van verrood op de assimilatenaanmaak in de plant en duidt de oorzaak van de versnelde vruchtuigroei aan, in de veronderstelling dat de meer aangemaakte assimilaten naar de vrucht werden getransporteerd.

**Opbrengst:** Om de verschillende lichtstrategieën met elkaar statistisch te kunnen vergelijken, werden de full led-spectra gegroepeerd, waarbij enerzijds gefocust werd op de verrood-strategieën en anderzijds op het ochtendblauw-hypothese. In het algemeen werden zeer hoge producties behaald. De objecten met continu verrood zorgden met een gemiddelde productie van 59 kg/m<sup>2</sup> op zeventien oogstweken voor de hoogste opbrengst, gevolgd door hybride en avond FR met respectievelijk 57 en 56 kg/m<sup>2</sup>. De producties onder SON-T waren met 54 kg/m<sup>2</sup> nog steeds behoorlijk, maar de objecten zonder FR ontbraken iets in hun spectrum om een goede opbrengst te halen. Het verschil in productie tussen de objecten met continu FR en zonder FR was reeds zichtbaar in week 3 en werd langzaam groter gedurende de teelt. Opbrengstverschillen waren echter enkel beduidend in de donkerste periode.

Bij de belichting gefocust op het extra blauw licht in de ochtend zijn geen consistente effecten opgetreden. Beide groepen, zonder OB en met OB, varieerden te veel door het verrood-effect. In de eerste oogstweken, leek ochtendblauwe visueel en in opbrengst versterkend te werken op verrood, maar dit kon nooit worden aangetoond en heeft zich zeker ook niet verdergezet. Er is maar met een beperkt aandeel extra blauw gewerkt, namelijk de 5% tijdens de eerste acht belichtingsuren verhoogd naar 13% van het PAR-licht. In deze opzet kon geen meerwaarde van blauw worden aangetoond.

De producties onder hybride lagen net iets hoger dan onder SON-T. Zoals eerder reeds vermeld was ook de plantkwaliteit onder hybridebelichting beter en leek de plant meer overschot te hebben. Hogere opbrengsten waren bij een aangepaste teeltsturing dus mogelijk. Desondanks het niet zo uitgesproken productieverhaal is het hybridesysteem wel energie-efficiënter dan SON-T.

Een toevoeging van verrood licht lijkt noodzakelijk om in wintermaanden de komkommerproductie onder full led te telen. De producties onder de objecten met continu FR konden hoger zijn als was afgeweken van de proefopzet waarbij eenzelfde dunningspatroon en teeltsturing in zijn geheel over heel de proef werd aangehouden. Aangepaste dunningsstrategie op basis van de mindere bladafsplitting of het bekomen van hogere bladafsplittingssnelheid kan de opbrengst verder maximaliseren. Ook het aanhouden van een extra stengel, wanneer de natuurlijke instraling toeneemt, zal een positief effect hebben op de producties.

**Vruchtgewicht:** De vruchten onder de objecten met continu FR behaalden het hoogste vruchtgewicht en ook de vruchten onder de hybridebelichting hadden een merkbaar hoger vruchtgewicht tegenover SON-T en de objecten zonder FR. Ook is aangetoond in tomaat dat verrood licht het drogestofgewicht van de vrucht kan laten toenemen door de aanvoer van extra suikers, waardoor de sinkcapaciteit toenam en de productie kon worden opgeschroefd (Ji *et al.*, 2020). Dit zou ook voor komkommers kunnen gelden, waardoor de vruchten vlotter uitgroeien. Belangrijk hierbij is dat het niet zozeer het percentage verrood is, maar wel de rood:verrood-ratio. Met 466 gram gemiddeld vruchtgewicht, verkregen onder de objecten met continu FR, ligt de massa net iets te hoog voor een ideale Belgische komkommer. Dit is enerzijds te wijten aan het zogenaamd 'maandag-effect', waar de komkommers in het weekend niet geoogst worden en dus drie dagen de tijd 'krijgen' om aan biomassa te winnen. Anderzijds had een zwaarder vruchtbehang voor deze objecten beter geweest, moest er niet gekozen zijn voor een gelijklopende vruchtdunningsstrategie.

**Lichtefficiëntie:** Over de hele teeltperiode gezien, werd het meest efficiënte spectrum gevonden onder het spectrum OB + continu FR, maar dit verschilde enkel met spectra waarbij geen verrood was aan toegevoegd. De laagste lichtefficiëntie werd gevonden onder leds waarbij verrood licht ontbreekt in hun spectrum. De verhoogde uitgroeisnelheid en het hogere oogstgewicht bij de spectra met verrood resulteerden dus in een betere lichtefficiëntie.

Over de gehele teeltproef kan geconcludeerd worden dat een toevoeging van verrood aan het lichtspectrum noodzakelijk lijkt om in de meeste donkere periode van het jaar goede producties te behalen. Hoewel dit niet naar voor kwam bij de resultaten, zorgde verrood ook voor een betere plantkwaliteit. De planten stonden er tijdens de hele teelt fris en stevig bij en leken het potentieel te hebben voor een zwaarder vruchtbehang, dus groter productiepotentieel. Verrood licht induceerde een vroege bloei, zorgde voor een langere bladsteellengte met kleiner, meer horizontaal gestrekt blad en daardoor opener gewas. De bladstand en mindere compactheid creëerde een beter lichtonderscheppingspotentieel, wat kan verklaren waarom de plant meer assimilaten in de vrucht kon steken. De producties onder de objecten met continu FR lagen in deze teelt al erg hoog, toch is het potentieel nog niet bereikt. De lichtefficiëntie kon bij deze planten verder verhoogd worden door een aangepaste teeltsturing (meer vruchten aanhouden in functie van de capaciteit) en door bij opkomend licht de stengeldensiteit te verhogen. Het verhogen van de lichtintensiteit kan de productiviteit per m<sup>2</sup> verder opschroeven, al zal dan de teeltplanning en -sturing moeten afgestemd worden op de verwachte beschikbare lichtsom om optimaal van het bijkomende licht gebruik te kunnen maken.

De objecten met avond FR zorgden op hun beurt ook voor een goede plantkwaliteit en plantopbrengst, weliswaar minder uitgesproken ten opzichte van de resultaten verkregen onder de objecten met continu FR.

Het basisspectrum en het ochtendblauw-spectrum kenden een lagere lichtefficiëntie dan SON-T, waardoor deze full led-spectra geen meerwaarde lijken te hebben voor de telers in de transitie naar energie-efficiëntere belichtingssystemen. De spectra zonder verrood zorgden voor de laagste producties, hadden het moeilijk om vruchten vlot te laten uitgroeien en vertoonden het meeste abortie. Hiermee bevestigde het basisspectrum de resultaten van de winter 2018-2019.

Indien gekeken wordt naar het verschil tussen SON-T en hybridebelichting zijn er op het eerste gezicht geen meetbare verschillen. Ook de producties verschillen 'slechts' 3 kg/m<sup>2</sup>. De planten onder het hybridesysteem kregen wel een hogere lichtintensiteit. Het verschil tussen beide producties verwatert wanneer gekeken wordt naar lichtefficiëntie. Tussen beide belichtingssystemen traden wel visuele verschillen op met betrekking tot de plantkwaliteit. De planten onder hybride stonden sterker en frisser. Ook stond het blad minder gekrompen, werd er minder abortie aangetroffen en groeiden de vruchten sneller uit. Een hoger vruchtbehang had waarschijnlijk

een positief resultaat gehad. Bovendien leken de planten meer in staat om hun stengeldichtheid te verhogen met het opkomende licht. Dit werd reeds aangetoond in de extra proef met stengeldichtheden. Ook de vruchten hadden een mooiere kleur, glans en vorm. Algemeen zou dit energie-efficiëntere hybridesysteem de standaard moeten worden in de volgende belichtingsproeven als opstap naar full led. In de praktijk zien we deze transitie terug, waarbij de helft van de SON-T-lampen worden vervangen door ledarmaturen. Vaak wordt gekozen voor een zelfde energie-input wat vaak betekent dat de lichtintensiteit met ongeveer 40% toeneemt. Indien er geen verrood aan het ledspectrum wordt toegevoegd, dan stijgt de rood:verrood-ratio. Verder onderzoek moet uitwijzen of extra verrood in een hybride systeem een meerwaarde heeft.

## 2. Effect van de teelttechniek

**Stengeldensiteit:** De teelttechniek waar extra stengels werden aangehouden, resulteerde in een duidelijke meeropbrengst zonder kwaliteit te verliezen aan de vrucht of aan de plant. Met een toenemende natuurlijke lichtintensiteit lijkt het dan ook interessant om de stengeldichtheid te verhogen. In de proef werd de toegenomen arbeid niet in rekening gebracht, maar het toegenomen opbrengstpotentieel was economisch voldoende interessant om variërende stengeldichtheden verder te evalueren.

In onze opstelling is er gekozen voor een lange winterteelt van half oktober tot begin mei, gevolgd door een korte zomer teelt van half mei tot eind september. Omdat het natuurlijke licht vanaf maart snel toeneemt, kan de lichtefficiëntie niet aangehouden worden als de stengeldensiteit niet toeneemt. Ter illustratie: Half maart hadden de planten in deze proef dubbel zoveel licht als tijdens de donkerste weken, ondanks dat de lampen minder uren in werking waren. In de praktijk zien we echter dat belichte teelten vaker in maart reeds worden afgebroken. Door het komkommerbontvirus (CGMMV) wordt meer geopteerd voor drie teelten of voor langere periodes van teeltwissel. In die optiek is het aanhouden van een extra stengel minder interessant.

**Oogstgewicht:** Uit de proef waarbij op twee gewichtsklassen geoogst werd, oogsten op 350+ gram of 400+ gram, kwamen geen duidelijke resultaten. Een belangrijke conclusie na twee jaar belichtingsonderzoek blijft wel dat je moet oogsten in functie van de plant, en niet in functie van het (doel)oogstgewicht. Voldoende snelheid in het gewas behouden, blijft een belangrijk aandachtspunt. Dit kan alleen door de vruchtdunningsstrategie af te stemmen op het aantal afgesplitste bladeren en het beschikbare licht. Als de uitgroeiduur dan toch stukt, blijft het belangrijk om stapeling te vermijden door tijdig afoogsten. Anders riskeer je onbalans, vruchtabortie en verloren productiepotentieel.

Concluderend kunnen we stellen dat door de teelttechniek te optimaliseren, we de lichtefficiëntie kunnen verbeteren. Verder onderzoek is nodig om de efficiëntie van een variabele stengeldichtheid tijdens het teeltverloop in functie van het beschikbare licht te beoordelen. Zwaarder oogsten op zich (om de productie op te drijven) is echter geen goede teeltstrategie, maar moet in functie staan van de plant. Telen onder belichting is telen onder of met limieten. Daarom moet bladafplitsing, dunningsstrategie en oogstgewicht op elkaar worden afgestemd.

## Referenties

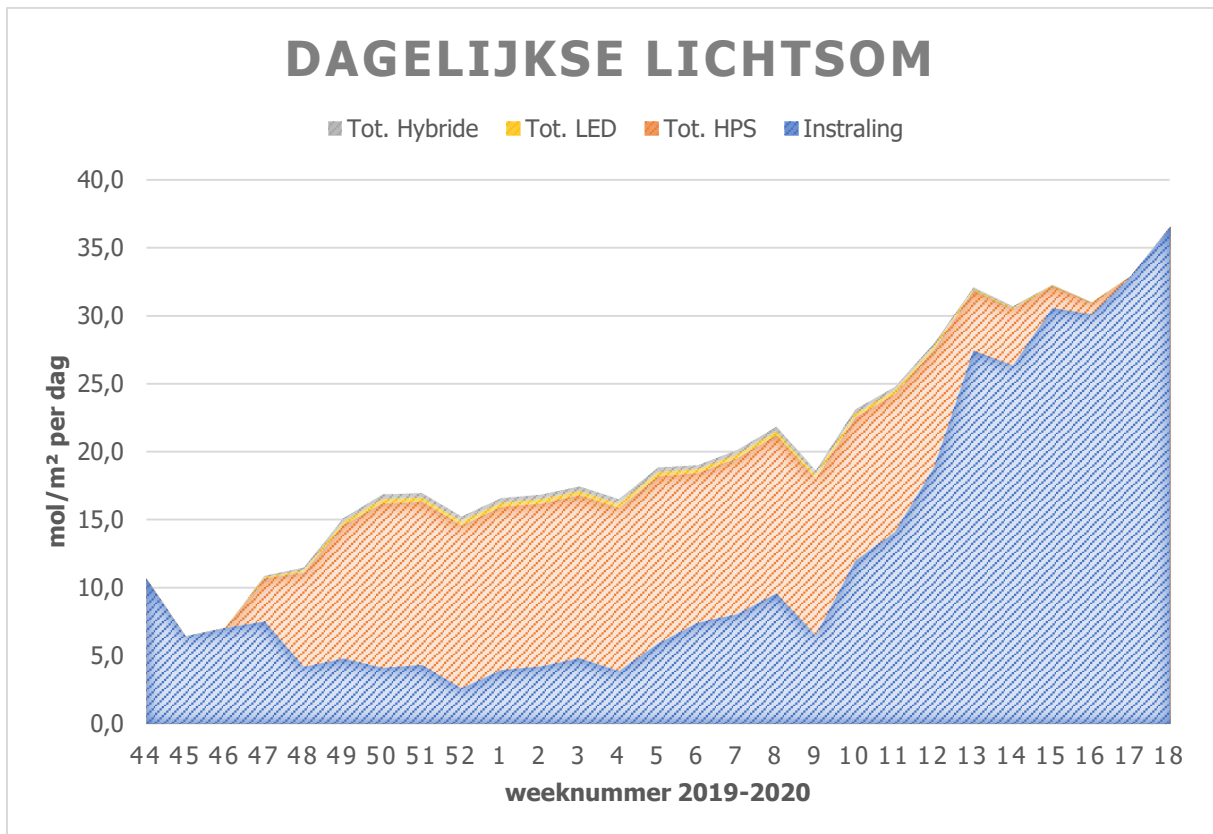
- Ballaré C.L. & Pierik R., 2017. The shade-avoidance syndrome: Multiple signals and ecological consequences. *Plant Cell Environ.* 40(11):2530-2543. doi:10.1111/pce.12914
- Claeys I, 2017. Invloed van de lichtkwaliteit op de plantmorfologie, de groei en de nutritionele waarde van Brassica bladgroenten. Gent: Universiteit Gent.
- De Win J, 2019. Energie efficiënte belichtingstechnieken in hogedraad komkommer
- Drumm-Herrel H, Mohr H., 1991. Involvement of phytochrome in light control of stem elongation in cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedlings. *Photochem Photobiol.* 53(4):539-544. doi:10.1111/j.1751-1097.1991.tb03667.x
- Dueck T., Hogewoning S., Pot S., Meinen E., Trouwborst G., Kempkes F., 2003. Stuurlicht in de Glastuinbouw. Wageningen: Universiteit Wageningen.
- Goudriaan J., Van Laar H.H., 1994. Modelling potential crop growth processes: textbook with exercises. Kluwer, Dordrecht, The Netherlands, p 238
- Hahn EJ, Lee YB & Ahn CH, 1996. A new method on mass-production of micropropagated chrysanthemum plants using microponic system in plant factory. *Acta Horticulturae* 440: 527–532
- Hovi T., Näkkilä J. & Tahvonen R., 2004. Interlighting improves production of year-round cucumber. *Scientia Horticulturae* 102: 283–294
- Hovi-Pekkanen T. & Tahvonen R., 2008. Effects of interlighting on yield and external fruit quality in year-round cultivated cucumber. *Scientia Horticulturae* 116: 152:161
- Ji Y., Nunez Ocana D., Choe D., Larsen D.H., Marcelis L.F.M. & Heuvelink E., 2020. Far-red radiation stimulates dry mass partitioning to fruits by increasing fruit sink strength to tomato. *New Phytologist* 228: 194-1925.
- Jokinen K., Särkkä L. E. & Näkkilä J., 2012. Improving sweet pepper productivity by LED interlighting. *Acta Horticulturae* 956: 59–66
- Li J., Li G., Wang H. & Wang Deng X., 2011. Phytochrome Signaling Mechanisms. *Arab B.* 9:e0148. doi:10.1199/tab.0148
- Ouzounis T., Rosenqvist E. & Ottosen C.-O., 2015. Spectral Effects of LEDs on Plant Physiology and Secondary Metabolism - a Review. *HortScience* 50: 1–8
- Philips. GreenPower LED toplighting; 2015.
- Schrager-Lavelle A, Herrera LA, Maloof JN. Tomato phyE is required for shade avoidance in the absence of phyB1 and phyB2. *Front Plant Sci.* 2016;7(September):1-9. doi:10.3389/fpls.2016.01275
- Xiong J., Patil G.G., Moe R. & Torre S., 2011. Effects of diurnal temperature alternations and light quality on growth, morphogenesis and carbohydrate content of *Cucumis sativus* L. *Sci Hortic (Amsterdam)*. 128(1):54-60. doi:10.1016/j.scienta.2010.12.013

## Bijlage 1

Gemiddelde dagelijkse natuurlijke instraling ( $\text{mol}/\text{m}^2$ ), belichtingsuren per dag en totale lichtsom ( $\text{mol}/\text{m}^2$ ) weergegeven per week.

**Tabel 11:** overzicht gemiddelde dagelijkse lichtsom in  $\text{mol}/\text{m}^2$  en gemiddelde dagelijks aantal belichtingsuren per dag, weergegeven per week.

| week-nummer | natuurlijke instraling per dag | belichtingsuren per dag | totale lichtsom per dag |         |      |
|-------------|--------------------------------|-------------------------|-------------------------|---------|------|
|             |                                |                         | SON-T                   | hybride | led  |
| 44          | 10,7                           |                         | 10,7                    | 10,7    | 10,7 |
| 45          | 6,4                            |                         | 6,4                     | 6,4     | 6,4  |
| 46          | 7,0                            |                         | 7,0                     | 7,0     | 7,0  |
| 47          | 7,5                            | 4,8                     | 10,7                    | 10,9    | 10,8 |
| 48          | 4,2                            | 10,4                    | 11,1                    | 11,5    | 11,3 |
| 49          | 4,8                            | 14,7                    | 14,6                    | 15,1    | 14,8 |
| 50          | 4,1                            | 18,1                    | 16,2                    | 16,8    | 16,5 |
| 51          | 4,3                            | 18,0                    | 16,3                    | 16,9    | 16,6 |
| 52          | 2,6                            | 18,0                    | 14,6                    | 15,2    | 14,9 |
| 1           | 3,9                            | 18,0                    | 15,9                    | 16,6    | 16,2 |
| 2           | 4,2                            | 18,0                    | 16,2                    | 16,8    | 16,5 |
| 3           | 4,8                            | 18,0                    | 16,8                    | 17,4    | 17,1 |
| 4           | 3,9                            | 18,0                    | 15,8                    | 16,5    | 16,2 |
| 5           | 5,9                            | 18,4                    | 18,2                    | 18,8    | 18,5 |
| 6           | 7,4                            | 16,5                    | 18,4                    | 19,0    | 18,7 |
| 7           | 8,0                            | 17,2                    | 19,5                    | 20,1    | 19,8 |
| 8           | 9,6                            | 17,4                    | 21,2                    | 21,8    | 21,5 |
| 9           | 6,5                            | 17,3                    | 18,0                    | 18,6    | 18,3 |
| 10          | 12,0                           | 15,8                    | 22,5                    | 23,1    | 22,8 |
| 11          | 14,1                           | 15,2                    | 24,2                    | 24,7    | 24,5 |
| 12          | 18,8                           | 13,0                    | 27,5                    | 27,9    | 27,7 |
| 13          | 27,4                           | 6,6                     | 31,8                    | 32,0    | 31,9 |
| 14          | 26,3                           | 6,2                     | 30,4                    | 30,7    | 30,6 |
| 15          | 30,5                           | 2,4                     | 32,1                    | 32,2    | 32,2 |
| 16          | 30,1                           | 1,3                     | 30,9                    | 31,0    | 30,9 |
| 17          | 32,9                           |                         | 32,9                    | 32,9    | 32,9 |
| 18          | 36,5                           |                         | 36,5                    | 36,5    | 36,5 |



**Figuur 13:** weergave van de dagelijkse lichtsom onder elk belichtingssysteem.