

Energie-efficiënte belichtingstechnieken bij tomaat

Full-LED

Proefperiode: 17/10/2018 – 03/10/2019

Proef uitgevoerd door: Proefcentrum Hoogstraten

Titel	Energie-efficiënte belichtingstechnieken bij tomaat
Proefperiode	17/10/2018 – 03/10/2019
Contactgegevens	Proefcentrum Hoogstraten Wendy Vanlommel Wendy.Vanlommel@proefcentrum.be
Project	Dit onderzoek vond plaats binnen het project GLITCH. GLITCH zet in op de ontwikkeling van innovatieve energie-efficiënte en klimaatneutrale teelttechnieken en -systemen in de glastuinbouw. https://glitch-innovatie.eu/
Steunvermelding	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.

1. Samenvatting / Abstract

In België worden in de winter nog steeds het vaakst tomaten geteeld met SON-T lampen. LED lampen zijn echter energie-efficiënter. Door de combinatie te maken van LED en SON-T is al gebleken dat de productie verhoogd kan worden, maar dit gaat vaak gepaard met een verhoging van het energieverbruik (Moerkens et al. (2015), Moerkens et al. (2016), Vanlommel et al. (2017), Vanlommel et al. (2018), Wittemans et al. (2018), Wittemans et al. (2020)). De vraag is dan ook of de productie verhoogd kan worden met een lager energieverbruik door enkel LED lampen te gebruiken. Uit de proef van 2018-2019 blijkt dat dit mogelijk is, hoewel de productieverhoging en energiebesparing sterk afhangt van het type LED lamp dat je gebruikt (Vanlommel (2020)). Een full-LED belichtingssysteem met 210 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ toplight werd vergeleken met enerzijds een full-LED belichtingssysteem met 135 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ toplight en 75 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ interlight en anderzijds met een referentie belichtingssysteem met 169 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ SON-T. De combinatie van toplight en interlight lijkt momenteel efficiënter dan wanneer je eenzelfde hoeveelheid licht toedient met enkel toplight modules. Hoewel de lichtdoordringing in het gewas beter is met enkel toplight modules, lijkt het positieve effect van de interlight modules op het vruchtgewicht de minder goede lichtdoordringing te overtreffen. Door de combinatie van toplight en interlight werden er 17% meer tomaten geproduceerd ten opzichte van het referentie systeem met 17% meer licht. Door enkel toplight modules te gebruiken was de meerproductie op het einde van het seizoen slechts 5%. Over een heel teeltseizoen gezien wordt er in het full-LED systeem met enkel toplight modules 8% meer elektriciteit gebruikt om 1 kilogram tomaten te produceren, terwijl in het full-LED systeem met een combinatie van toplight en interlight modules 15% minder elektriciteit gebruikt wordt om 1 kilogram tomaten te produceren.

Hoe meer licht je geeft aan de plant, hoe hoger de productie. Dat blijkt ook uit bovenstaande resultaten. Dit kan echter niet oneindig worden doorgetrokken. Door 16 verschillende lichtniveaus te creëren gaande van 75 tot 385 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ gingen we op zoek naar het optimale lichtniveau voor een tomatenteelt. Hoewel de productie logaritmisch toeneemt met toenemend lichtniveau, is de maximale productie nog niet bereikt met deze range van lichtniveaus. De behaalde producties liggen tussen 100 en 115 kg/m^2 . Dit is vrij hoog, zelfs voor Merlice, maar lijkt toch nog verhoogd te kunnen worden. Het lichtniveau verder verhogen zal echter energetisch en financieel minder interessant zijn voor een teler.



Interreg



Vlaanderen-Nederland
Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling



2. Inhoudstafel

1. Samenvatting / Abstract	3
2. Inhoudstafel	4
3. Inleiding	5
4. Proefopzet.....	6
4.1. Proefbeschrijving.....	6
4.2. Teeltgegevens	6
4.3. Beoordelingen.....	7
5. Resultaten en bespreking	9
5.1. Full-LED versus SON-T: verticale lichtverdeling (in het gewas)	9
5.2. Full-LED versus SON-T: productie	10
5.3. Full-LED versus SON-T: elektriciteitsverbruik.....	13
5.4. Full-LED versus SON-T: kwaliteit.....	15
5.5. Optimalisatie lichtniveau: productie.....	16
5.6. Optimalisatie lichtniveau: efficiëntie lichtgebruik	17
5.7. Optimalisatie lichtniveau: kwaliteit	18
6. Conclusies	20
7. Bijlagen	21

3. Inleiding

Assimilatiebelichting maakt het mogelijk de kas economisch efficiënter in te zetten. Door efficiënte belichtingstechnieken in te zetten zal per kilogram oogstbaar product de energie-input dalen en via deze weg dus bijdragen tot een lagere CO₂-uitstoot. Om de energie-efficiëntie van belichtingstechnieken te verbeteren, is verdere ontwikkeling en bijhorende demonstratie noodzakelijk. PCH heeft in teeltseizoen 2018-2019 de focus gelegd op de mogelijkheid van full-LED in vergelijking met een klassieke SON-T belichting. Bovendien werd er op zoek gegaan naar het optimale lichtniveau voor een tomatenteelt.

4. Proefopzet

4.1. Proefbeschrijving

Zowel afdeling 13 als 16 werden voorzien van belichting. Deze twee afdelingen van 500 m² geven de mogelijkheid om een klassiek belichtingssysteem te testen in vergelijking met een systeem met full-LED. Afdeling 13 werd uitgerust met de standaard SON-T lichtintensiteit van 169 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$. Afdeling 16 werd uitgerust met LED belichting. In kap 2 en 3 van deze afdeling werd eenzelfde hoeveelheid licht aan de planten gegeven, namelijk 210 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$, maar op een verschillende manier. In kap 2 werd een combinatie gemaakt van 135 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ LED toplight (Philips GreenPower LED toplighting DR/W LB; regular output; 2,9 $\mu\text{mol}/\text{J}$) en 75 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ LED interlight (Philips GreenPower LED Interlighting; high output; 3 $\mu\text{mol}/\text{J}$), terwijl in kap 3 het licht enkel van toplight afkomstig is. In kap 1 werden, analoog aan 2018 (Vanlommel (2019), Vanlommel et al. (2019)), verschillende lichtniveaus gecreëerd door op bepaalde plaatsen meer of minder LED's te hangen. De planten werden opnieuw lokaal gedraaid zodat de lichthoeveelheid die zij ontvangen nagenoeg constant is. In 2018 was het hoogste lichtniveau 320 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ en zagen we dat de productie nog steeds lineair toenam met het lichtniveau. Daarom werd de proef herhaald in 2019, maar werd het hoogste lichtniveau ongeveer 385 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$. Op deze manier willen we het optimale lichtniveau achterhalen.

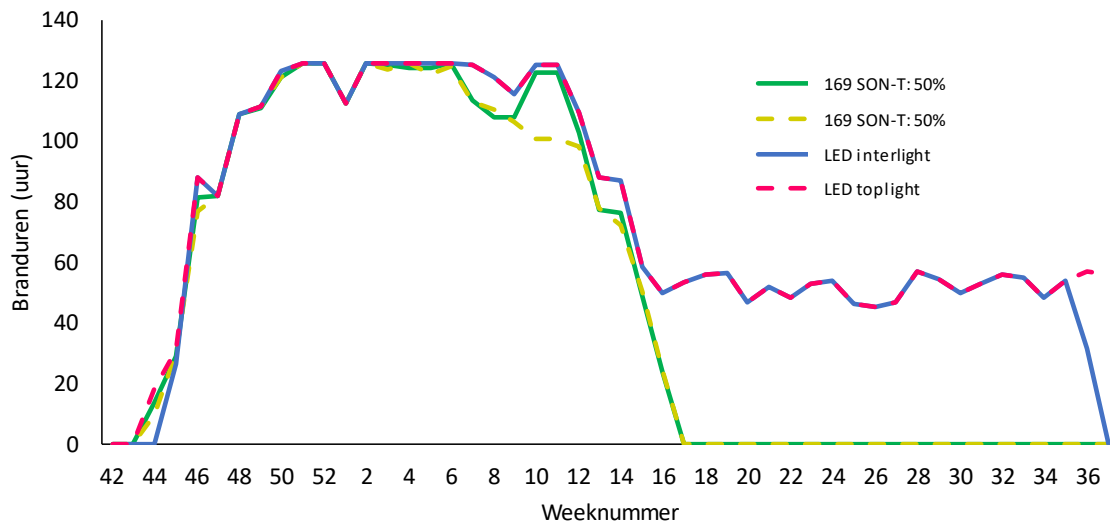


Foto 1 In de full-LED afdeling werd op twee verschillende manieren 210 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ geïnstalleerd. Enerzijds door de combinatie van 135 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ LED toplight en 75 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ LED interlight (links) en anderzijds door enkel toplight modules (rechts).

4.2. Teeltgegevens

De proef werd uitgevoerd op het ras Merlice (De Ruiter), geënt-getopt op de onderstam DR 0141 TX (De Ruiter). De planten werden gezaaid op 24/08/2018 en geplant op 17/10/2018. De initiële plantafstand bedroeg 45 cm (2,76 st/m²) en werd verhoogd tot 4,6 stengels/m² (2 op 3 extra stengels). Kap 1 van afdeling 16 vormt hierbij een uitzondering. Hier hebben we op 38 cm (3,33 st/m²) geplant en hebben we 3 op 8 extra stengels aangehouden zodat de eindstengeldichtheid ook 4,6 stengels/m² bedraagt. Op deze manier moesten er iets minder extra stengels aangehouden worden, wat het lokaal draaien vergemakkelijkte. Alle lampen konden maximaal 18 uur per dag branden.

De LED toplight en interlight modules werden steeds samen aan- en uitgeschakeld. Op deze manier ontvingen de planten eenzelfde hoeveelheid licht ($210 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$), maar op een verschillende manier. In het begin van het seizoen zijn de interlight modules wel iets later aangeschakeld dan de toplight modules, namelijk pas op het moment dat de planten net boven de modules gegroeid waren. Op het einde van het teeltseizoen zijn de interlight modules ook iets vroeger uitgeschakeld omdat de planten onder de modules gezakt waren. De SON-T lampen werden 17/04/2019 (weeknummer 16) definitief uitgeschakeld. De LED's konden in de zomer en in het najaar nog wel branden tussen 04u00 en 13u00 indien de natuurlijk straling lager was dan $400 \text{ W}/\text{m}^2$. De branduren zijn voor de verschillende lampen per week weergegeven in Figuur 2. De eerste tomaten werden 21/12/2018 geogst en de laatste tomaten 03/10/2019.



Figuur 2 Het aantal branduren per week voor zowel de LED toplight als interlight modules. De toplight en interlight modules gingen een heel seizoen samen aan en uit. In het begin van het seizoen zijn de interlight modules iets later aangeschakeld dan de toplight modules, namelijk op het moment dat de planten net boven de modules gegroeid waren. Op het einde van het teeltseizoen zijn de interlight modules ook iets vroeger uitgeschakeld omdat de planten onder de modules gezakt waren. De SON-T lampen werden 17/04/2019 (weeknummer 16) definitief uitgeschakeld.

4.3. Beoordelingen

De productie, gewasparameters (lengte, stengeldikte, tros in zetting), brix, hardheid en het elektriciteitsverbruik werden opgevolgd. In elk belichtingssysteem werd de productie van vier plotjes opgevolgd, waarbij elk plotje initieel 9 stengels bevatte. Afhankelijk van het belichtingssysteem, en de bijhorende eindstengeldichtheid, werden dit in de loop van het seizoen 15 (full-LED) of 13 (referentie) stengels. De gewasparameters werden tweewekelijks bepaald op 10 stengels, waarvan 5 aan de zonnkant en 5 aan de schaduwkant. In januari, februari en maart werden er tomaten geogst in de drie belichtingsystemen en bewaard op kamertemperatuur ($18 \text{ }^\circ\text{C}$). 3 Dagen en 10 dagen na oogst werd de hardheid op telkens 20 vruchten gemeten met een digitale hardheidsmeter (Durofel DFT 100, AGROSTA, Frankrijk). 7 Dagen na oogst werd de Brix-waarde van telkens 10 tomaten gemeten met een refractometer (PR-32a Palette Series Portable Digital Refractometer, ATAGO, Japan).

Het energieverbruik wordt per object uitgedrukt in kWh/kg geoogst product. Op deze manier kan elk object met elkaar vergeleken worden. Een object waarbij de lichtintensiteit wordt verhoogd zal minder duurzaam zijn, maar kan wel rendabeler zijn per kg product. Op deze manier komen de kosten-baten zowel voor de teler als voor het milieu tot uiting.

Voor de twee verschillende belichtingssystemen in de full-LED afdeling werd ook de lichtdoordringing in het gewas bepaald door op verschillende momenten tijdens de teelt en op verschillende plaatsen in de serre de hoeveelheid licht afkomstig van de lampen op verschillende hoogtes in het gewas te meten. De metingen gebeurden met een PAR sensor (LI-190R Quantum Sensor, LI-COR Biosciences, USA) en werden 's nachts uitgevoerd om invloed van natuurlijk licht te vermijden. Om de 50 cm werd de hoeveelheid licht gemeten vanaf 50 cm boven de mat tot een hoogte van 350 cm boven de mat. Dit komt overeen met de hoogte van de gewasdraad en is eveneens de maximale kophoogte. Afhankelijk van de dag van de metingen en of de planten al dan niet net gezakt waren, bevond de kop van de planten zich net onder de gewasdraad of maximaal 30 cm lager. Het licht van de LED toplight modules werd gemeten door de sensor horizontaal te houden (Foto 2 rechts). Voor het licht van de LED interlight modules werd de sensor verticaal gedraaid (Foto 2 links). De metingen gebeurden steeds net voorbij de stengel van de planten, in de richting van het gangpad, wat ongeveer 30 cm van de interlight modules is.

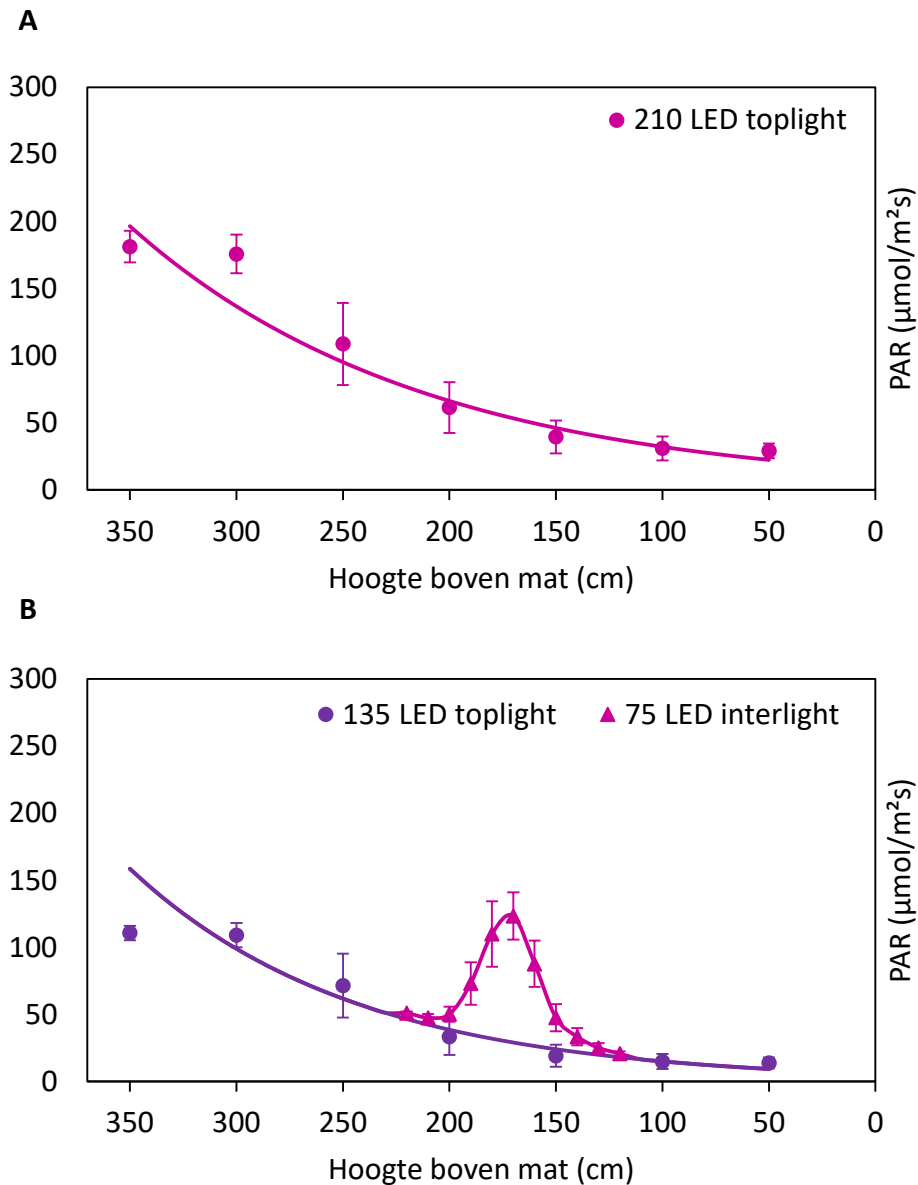


Foto 2 Het licht van de LED toplight modules werd gemeten door de sensor horizontaal te houden (rechts). Voor het licht van de LED interlight modules werd de sensor verticaal gedraaid (links).

5. Resultaten en bespreking

5.1. Full-LED versus SON-T: verticale lichtverdeling (in het gewas)

De resultaten van de verticale lichtmetingen zijn weergegeven in Figuur 3. Figuur A toont de lichtdoordringing in het gewas voor het belichtingssysteem met 210 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ LED toplight. De hoeveelheid licht daalt naarmate je dieper in het gewas gaat, maar op 1 m boven de mat, waar vaak het onderste blad zich ongeveer bevindt, krijgt de plant toch nog een kleine hoeveelheid licht van de toplight modules. De variatie op elke hoogte is redelijk klein. Door het lichtniveau van de toplight modules te verlagen naar 135 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$, is het lichtniveau ter hoogte van de kop van de planten lager (Figuur B), maar is de horizontale lichtverdeling nog steeds homogeen (niet op figuur getoond). De variatie in lichthoeveelheid op de verschillende hoogtes in het gewas is dan ook beperkt en vergelijkbaar met het belichtingssysteem met 210 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ LED toplight. Omdat er bovenaan minder licht gegeven wordt, is er ook onderaan in het gewas, 1 m boven de mat, minder licht aanwezig. Door de interlight modules krijgen de bladeren een grote hoeveelheid licht op het moment dat ze net voor de modules hangen, maar ook ongeveer 30 cm boven en onder de modules krijgen ze nog licht van deze modules. Dit komt doordat de gebruikte modules uitschijnen in een zijwaartse hoek van 120 ° en dus zowel naar boven als onder schijnen. De grootte van de piek hangt af van de afstand tussen de meting en de sensor (in dit geval 30 cm) en is dus eerder indicatief. Hier is de variatie op de verschillende hoogtes eerder te verklaren door een blad dat zich al dan niet net voor de sensor bevond. De modules hangen immers tegen elkaar en zouden op een bepaalde hoogte steeds hetzelfde lichtniveau moeten geven.

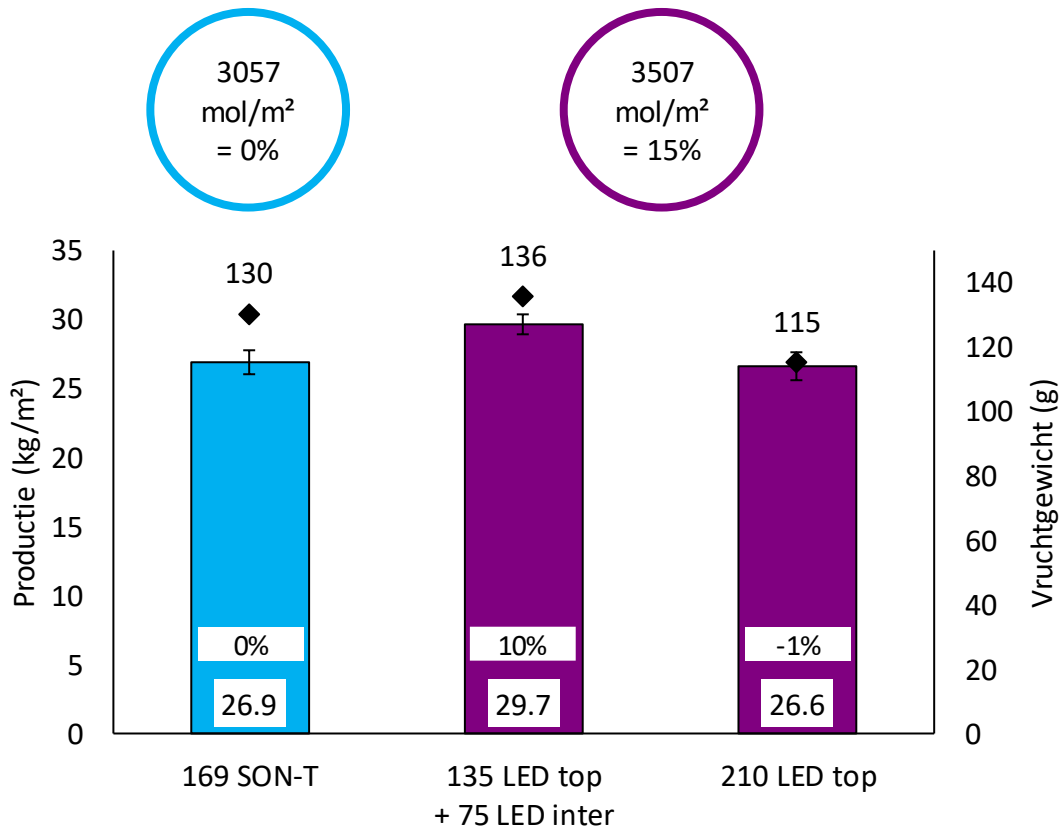


Figuur 3 Lichtdoordringing in het gewas in het full-LED systeem met 210 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ LED toplight (A) en de combinatie 135 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ LED toplight en 75 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ LED interlight (B). De ontvangen hoeveelheid licht ($\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$) wordt voor de verschillende lichtbronnen weergegeven op verschillende hoogtes in het gewas.

5.2. Full-LED versus SON-T: productie

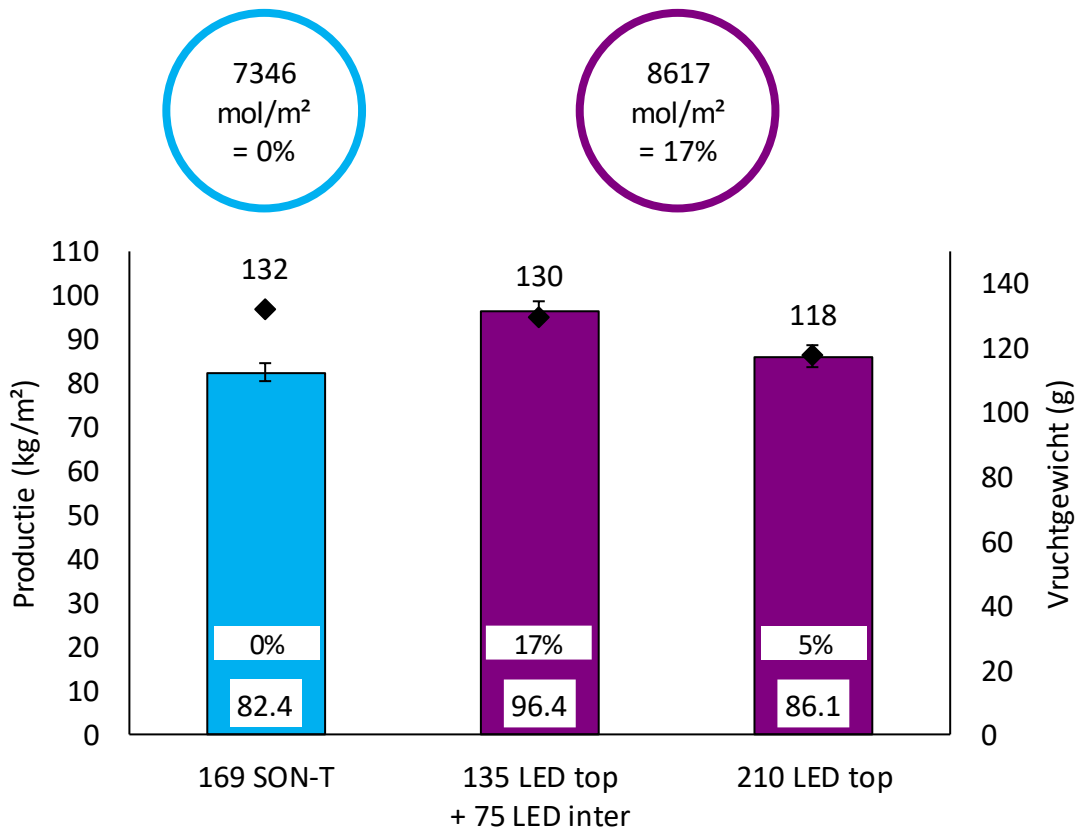
In de winter ontvingen de planten in het full-LED systeem 15% meer licht dan de planten in het referentie systeem met enkel SON-T lampen (Figuur 4). Door de combinatie toplight en interlight was de productie ook 10% hoger, maar de planten in het full-LED systeem met enkel toplight zetten een net iets lagere productie neer (-1%). Dit is volledig te wijten aan het lagere gemiddelde vruchtgewicht (115 g ten opzichte van 130 g).

Er werden in dit belichtingssysteem immers iets meer vruchten per m² geoogst, respectievelijk 231 en 207 vruchten per m² in het LED toplight en referentie systeem. Bij de combinatie toplight en interlight werden er ook meer vruchten per m² geoogst (219) ten opzichte van het referentie systeem, maar minder dan wanneer er enkel toplight gebruikt wordt. Door het hogere gemiddelde vruchtgewicht zetten deze planten toch een hogere productie neer in de winterperiode.



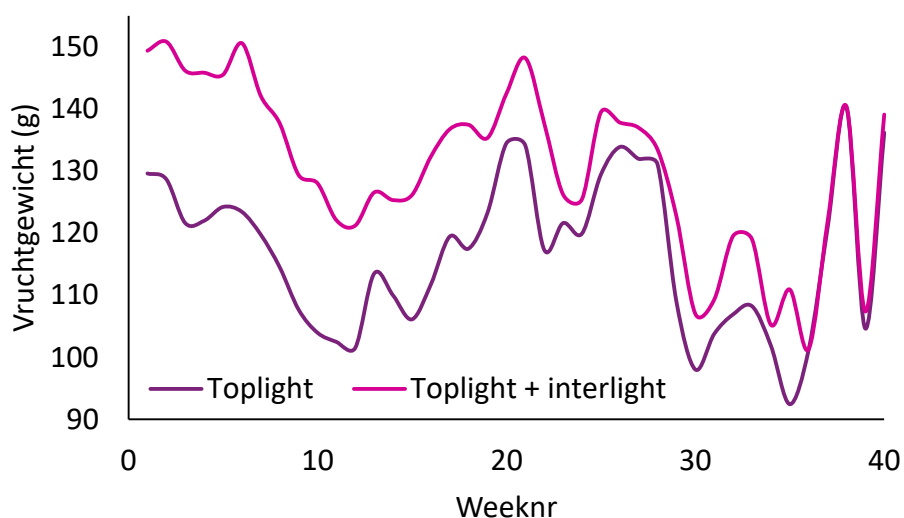
Figuur 4 Producties (kg/m²), gemiddeld vruchtgewicht (g) en de totale hoeveelheid licht (zonlicht en kunstlicht) ontvangen door de planten (mol/m²) tot en met het tijdstip dat de SON-T lampen definitief werden uitgeschakeld (17/04/2019) voor de verschillende belichtingsystemen. Het gemiddeld vruchtgewicht is telkens weergegeven door de ruiten.

Door de LED modules in de zomer en in het najaar te laten branden hebben de planten in het full-LED systeem op het einde van het teeltseizoen 17% meer licht ontvangen dan de planten in het referentie systeem (Figuur 5). De combinatie van toplight en interlight modules resulteerde ook in 17% meer productie. Door enkel toplight modules te gebruiken werd uiteindelijk ook een hogere productie behaald dan in het referentie systeem, maar dit was beperkt tot 5%. Er kan dus wel een meerproductie behaald worden door de toplights in de zomer en het najaar te laten branden (4 kg/m²), maar de meerproductie door eenzelfde hoeveelheid LED interlight te laten branden is groter (11 kg/m²).



Figuur 5 Producties (kg/m²), gemiddeld vruchtgewicht (g) en de totale hoeveelheid licht (zonlicht en kunstlicht) ontvangen door de planten (mol/m²) tot en met het teelteinde (03/10/2019) voor de verschillende belichtingssystemen. Het gemiddeld vruchtgewicht is telkens weergegeven door de ruiten.

Het verschil in gemiddeld vruchtgewicht tussen beide full-LED systemen is iets kleiner op het einde van het teeltseizoen (12 g in plaats van 21 g). Figuur 6 toont dat dit verschil voornamelijk in de winterperiode gemaakt is. Tot en met week 22 (eind mei) is het verschil in vruchtgewicht vrij groot. Daarna lijkt het zonlicht de positieve invloed van de interlight modules op het vruchtgewicht te overtreffen en is het verloop van het vruchtgewicht in beide full-LED systemen min of meer gelijk.



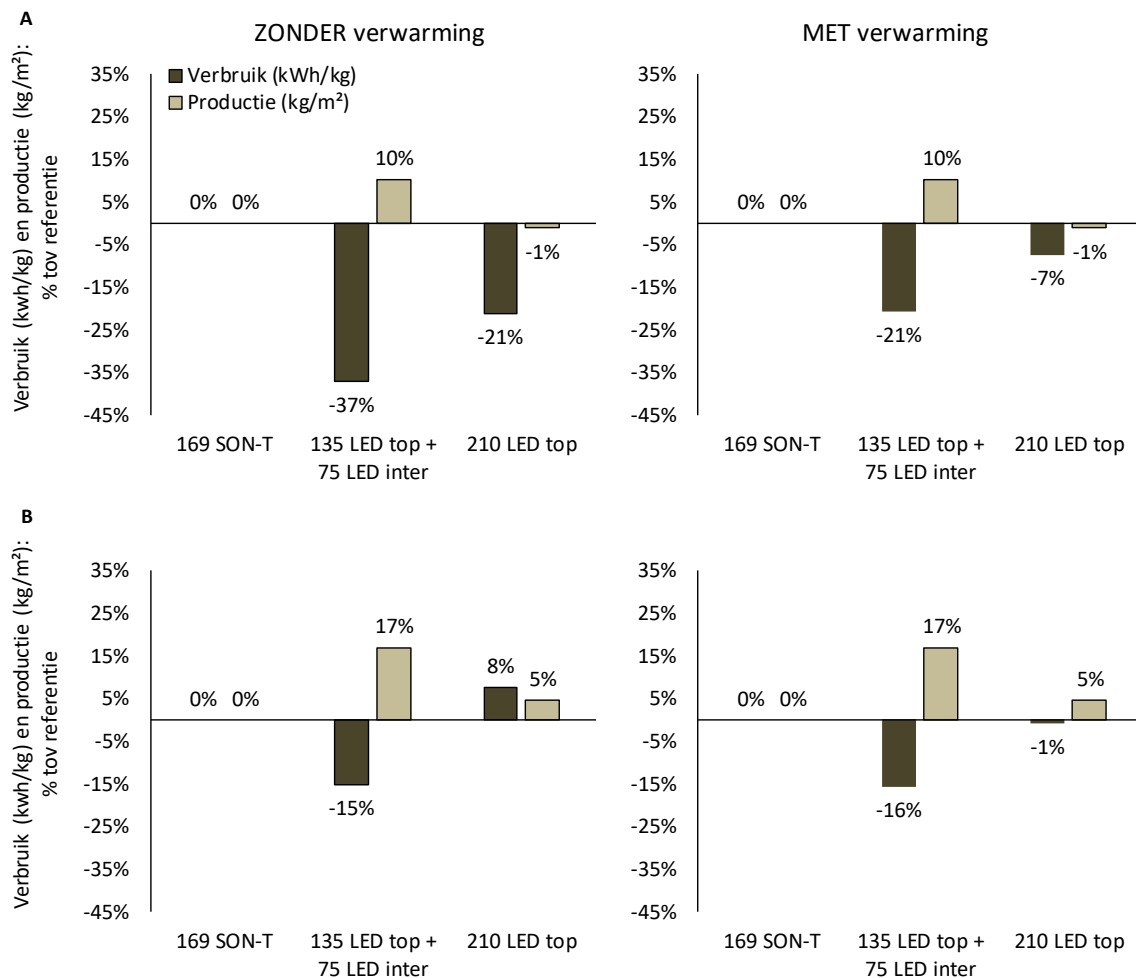
Figuur 6 Gemiddeld vruchtgewicht (g) per week van de tomaten geteeld in het full-LED systeem met respectievelijk $210 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ LED toplight (donker paarse lijn) en de combinatie van $135 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ LED toplight en $75 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ LED interlight (licht paarse lijn). In de winterperiode is het vruchtgewicht van de tomaten geteeld met de combinatie toplight en interlight over het algemeen 20 g hoger dan deze geteeld onder enkel LED toplight. In de zomer en het najaar liggen de vruchtgewichten dicht bij elkaar.

5.3. Full-LED versus SON-T: elektriciteitsverbruik

De producties (kg/m^2) en elektriciteitsverbruik (kWh/kg tomaat geproduceerd) van beide full-LED systemen zijn weergegeven in Figuur 7, telkens uitgedrukt als percentage ten opzichte van de productie en het verbruik van het referentie systeem (Merlice met $3,75 \text{ st}/\text{m}^2$ onder een SON-T belichting met $169 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$). In de winterperiode is er al een groot verschil in productie (Figuur 7A). Afhankelijk van de manier waarop het LED licht wordt gegeven, is de productie ongeveer even hoog (toplight) of 10% hoger (combinatie toplight en interlight) als in het referentie systeem. Beide belichtingsystemen zijn in deze periode energie efficiënter dan het referentie systeem. Zelfs als de verwarming in rekening gebracht wordt, is er respectievelijk 21 (combinatie toplight en interlight) en 7% (toplight) minder energie nodig om 1 kg tomaten te produceren dan in het referentie systeem (rechts op figuur). Het verschil tussen beiden komt enerzijds door het gebrek aan meerproductie in het full-LED systeem met enkel toplight modules en anderzijds door een iets lagere efficiëntie in de toplight modules. In deze modules zit naast blauw en rood licht ook een klein percentage wit licht in om het iets aangenamer te maken in de serre. Dit klein percentage wit licht zorgt er voor dat deze toplight modules $2,9 \mu\text{mol}/\text{W}$ produceren, terwijl de interlight modules $3 \mu\text{mol}/\text{W}$ produceren. Om in beide full-LED systemen $210 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ LED licht te krijgen, wordt er in het systeem met enkel toplight modules iets meer elektriciteit verbruikt dan door de combinatie van toplight en interlight modules, maar is het totale elektriciteitsverbruik van de lampen in dit belichtingsstelsel nog steeds lager dan in het referentie systeem waar $40 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ minder licht geïnstalleerd is.

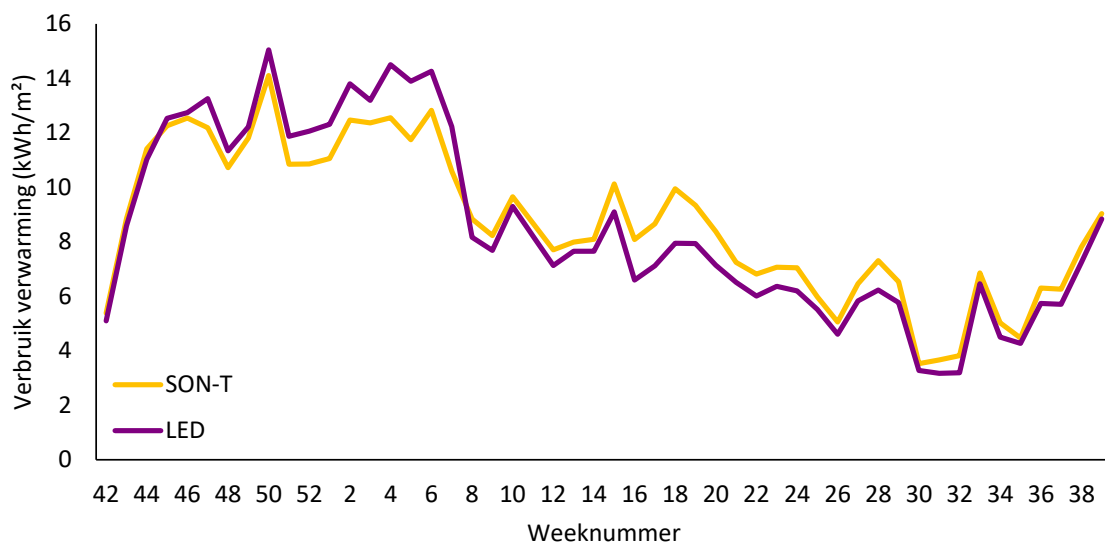
Op het einde van het teeltseizoen is de productie in beide full-LED systemen hoger dan in het referentie systeem, maar is het systeem met enkel toplight modules niet meer energie efficiënter dan het referentie systeem (Figuur 7B).

Over een heel teeltseizoen gezien wordt er in het full-LED systeem met enkel toplight modules 8% meer elektriciteit gebruikt om 1 kilogram tomaten te produceren, terwijl in het full-LED systeem met een combinatie van toplight en interlight modules nog steeds 15% minder elektriciteit gebruikt wordt om 1 kilogram tomaten te produceren (links op figuur). Doordat de LED modules in de zomer en het najaar nog konden branden, is het totale elektriciteitsverbruik van de lampen op het einde van het teeltseizoen in het full-LED systeem met enkel toplight modules hoger dan in het referentie systeem, terwijl het totale elektriciteitsverbruik van de lampen in het full-LED systeem met een combinatie van toplight en interlight modules nog net lager is. De 5% hogere productie in het full-LED systeem met enkel toplight is onvoldoende om te compenseren voor het hogere elektriciteitsverbruik, terwijl de 17% hogere productie in combinatie met een gelijkaardig elektriciteitsverbruik in het systeem met een combinatie van toplight en interlight modules er voor zorgt dat dit systeem energie efficiënter is dan de referentie.



Figuur 7 Producties (kg/m²) en elektriciteitsverbruik van de lampen (kWh per kg geogst product) tot en met het tijdstip dat de SON-T lampen definitief werden uitgeschakeld (17/04/2019) (A) en tot en met het einde van de teelt (03/10/2019) (B), telkens uitgedrukt als percentage ten opzichte van een referentie systeem (productie en verbruik van Merlice met 3,75 st/m² onder een SON-T belichting met 169 μmol/m²s).

Door de verwarming in rekening te brengen worden beide full-LED systemen iets energie efficiënter en wordt het systeem met enkel toplight modules toch net energie efficiënter dan het referentie systeem (Figuur 7 rechts). Dit komt doordat er in de zomer en het najaar meer verwarmt is in het referentie systeem dan in het full-LED systeem om eenzelfde temperatuur te bereiken in de serre (Figuur 8). Dit is tegengesteld aan de winterperiode, waar er in het full-LED systeem meer verwarmd moest worden om eenzelfde temperatuur te bereiken als in het referentie systeem. In de winterperiode is de extra verwarming in het full-LED systeem te verklaren door het gebrek aan stralingswarmte van de lampen. Een mogelijke verklaring voor de extra verwarming in het referentie systeem in de zomer en het najaar is extra ventilatie. In het referentie systeem was de relatieve luchtvochtigheid in deze periode over het algemeen lager dan in het full-LED systeem, wat extra ventilatie suggereert waardoor er meer warmte verloren is gegaan die vervolgens gecompenseerd moest worden door de verwarming. Een verklaring voor de extra ventilatie is er momenteel niet.



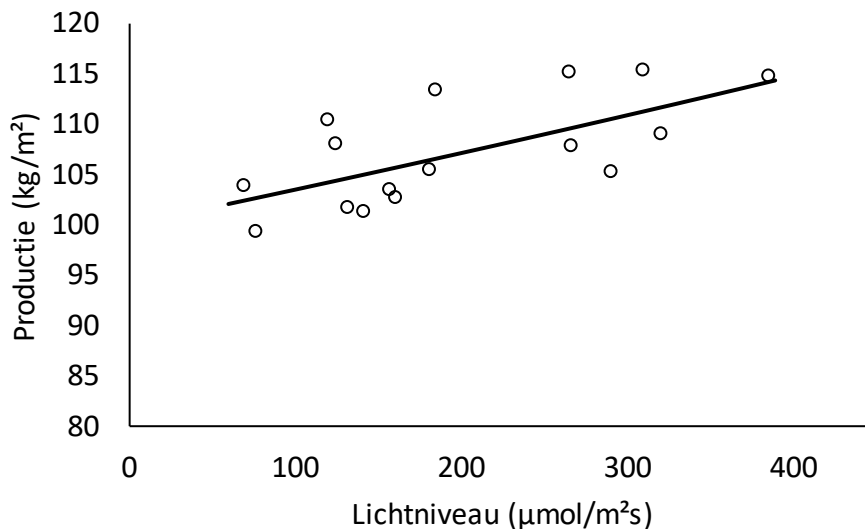
Figuur 8 Het wekelijkse verbruik (kWh/m²) voor de verwarming in de referentie afdeling met 169 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ SON-T (gele lijn) en in de full-LED afdeling (paarse lijn) gedurende het hele teeltseizoen. In de winter werd er meer gestookt in de full-LED afdeling om de temperatuur gelijk te krijgen met de referentie afdeling. Vanaf weeknummer 8 (half februari) werd er meer verbruikt in de referentie afdeling.

5.4. Full-LED versus SON-T: kwaliteit

Er werden geen kwaliteitsverschillen vastgesteld in de verschillende belichtingssystemen. De hardheid daalde na bewaring van 66 naar 58, maar dit was hetzelfde voor de verschillende belichtingssystemen en is acceptabel volgens de kwaliteitseisen van de Belgische veilingen. De Brix-waarde was gemiddeld 3,5, ongeacht het belichtingssysteem. Een full-LED systeem verbetert bij Merice dus niet de kwaliteit van de vruchten. Het grote verschil in vruchtgewicht tussen de twee manieren van belichten in het full-LED systeem heeft ook geen invloed gehad op de kwaliteit.

5.5. Optimalisatie lichtniveau: productie

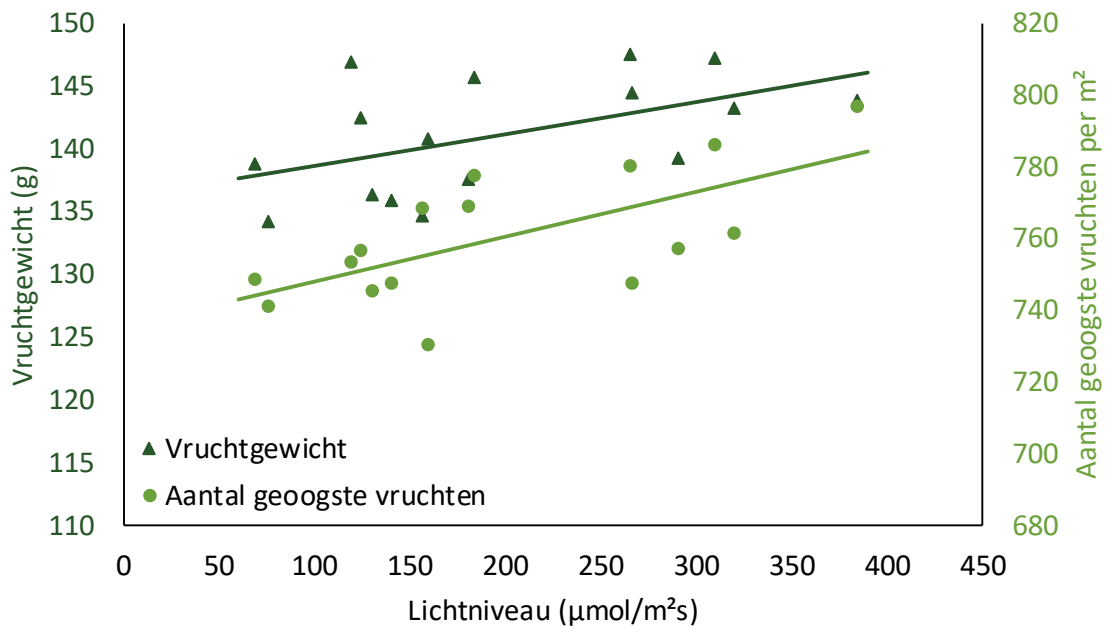
Hoe meer licht, hoe hoger de productie. Dit kan echter niet oneindig doorgetrokken worden. Hoewel het in Figuur 9 lijkt dat de productie lineair blijft toenemen met toenemend lichtniveau is dit niet het geval. Door het lichtniveau te verhogen naar 385 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ (in 2017-2018 was het hoogste lichtniveau 330 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$), is de relatie tussen productie en geïnstalleerd lichtniveau niet meer lineair maar logaritmisch. Dit wil zeggen dat er nog steeds een productietoename is met toenemend lichtniveau, maar dat het voordeel steeds kleiner wordt. De behaalde producties liggen tussen 100 en 115 kg/m^2 . Hoewel dit vrij hoge producties zijn, is de maximale productie nog niet bereikt. Indien de geteste lichtniveaus nog verhoogd zouden worden, zal de productie uiteindelijk wel een maximum bereiken door het logaritmische verband tussen productie en geïnstalleerd lichtniveau. Energetisch en financieel gezien zal dit echter minder interessant zijn.



Figuur 9 Verband tussen de totale productie (kg/m^2) en het lichtniveau ($\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$) waaronder de planten geteeld werden. De productie neemt logaritmisch toe in functie van het lichtniveau. De maximale productie is echter nog lang niet bereikt met 385 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ LED licht.

De productie van de planten onder het laagste lichtniveau is dit jaar opvallend hoger dan vorig jaar (100 kg/m^2 ten opzicht van 69 kg/m^2). Dit komt waarschijnlijk doordat we iets nauwer geplant hebben (38 cm ten opzicht van 45 cm), waardoor we minder extra stengels moesten aanhouden om dezelfde eindstengeldichtheid te bekomen. Dit heeft voornamelijk het gemiddeld vruchtgewicht positief beïnvloed.

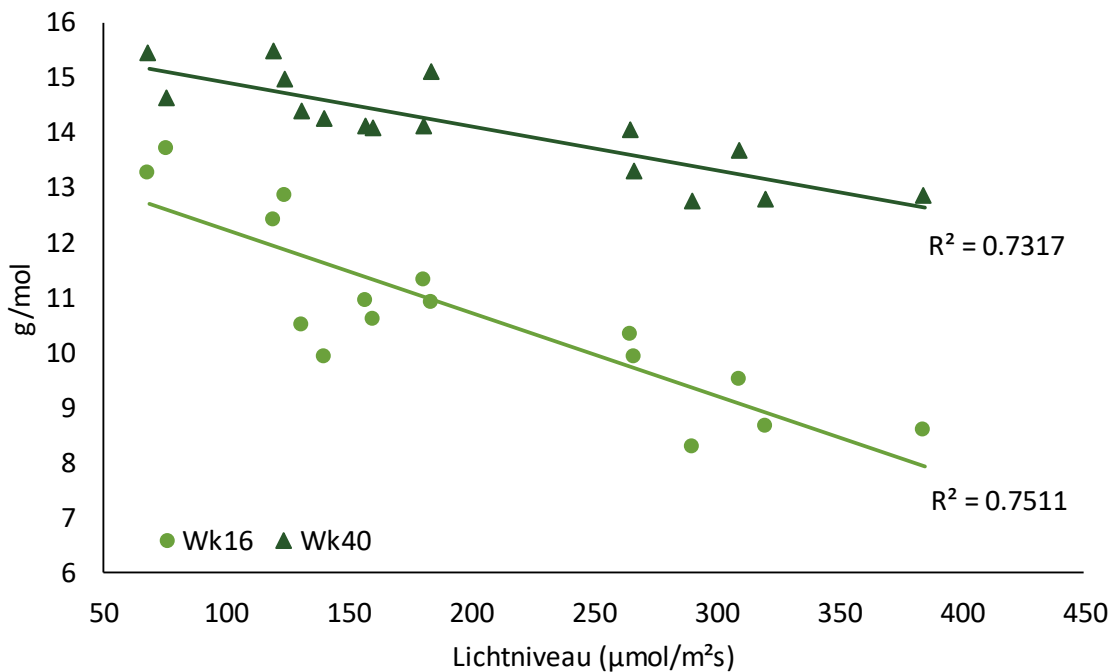
De toename in productie met toenemend lichtniveau is deels te verklaren door een hoger gemiddeld vruchtgewicht met toenemend lichtniveau en deels door een hoger aantal geogste vruchten per m^2 (Figuur 10). Het vruchtgewicht neemt, net zoals de productie, logaritmisch toe met toenemend lichtniveau, terwijl het aantal geogste vruchten per m^2 binnen de geteste lichtniveaus lineair blijft stijgen. Het gemiddeld vruchtgewicht schommelt tussen 135 en 145 g, wat aanvaardbaar is voor Merlice. Het aantal geogste vruchten per m^2 neemt toe van 740 (laagste lichtniveau) naar 800 vruchten per m^2 (hoogste lichtniveau).



Figuur 10 Verband tussen het geïnstalleerd lichtniveau ($\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$) waaronder de planten geteeld werden en respectievelijk het gemiddeld vruchtgewicht (g) (donkergroen) en het aantal geogoste vruchten per m^2 (lichtgroen). Hoewel het niet zichtbaar is op de figuur, neemt het vruchtgewicht logaritmisch toe in functie van het geïnstalleerd lichtniveau. Het aantal geogoste vruchten per m^2 blijft daarentegen lineair toenemen binnen de geteste range van lichtniveaus.

5.6. Optimalisatie lichtniveau: efficiëntie lichtgebruik

De efficiëntie waarmee de plant omgaat met het licht, kunnen we uitdrukken als gram tomaat geproduceerd per mol ontvangen licht (som van het natuurlijke licht en het licht van de lampen). Bekijken we deze efficiëntie half april, op het einde van de belichtingsperiode, dan blijkt dat een tomatenplant het licht minder efficiënt gebruikt naarmate het lichtniveau toeneemt (Figuur 11). Je haalt minder gram tomaat uit een mol licht met een installatie van $385 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ dan met een installatie van bijvoorbeeld $180 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$. Op het einde van het teeltseizoen is dit nog steeds zo, in tegenstelling tot vorig jaar, maar daalt de efficiëntie minder sterk met toenemend lichtniveau. Het aandeel zonlicht dat de planten op een heel seizoen ontvangen is zo groot, dat het verschil in hoeveelheid ontvangen licht dat in de winter werd gemaakt door de verschillende lichtniveaus deels teniet wordt gedaan. Het verschil in productie dat gecreëerd werd in de wintermaanden, blijft wel behouden.

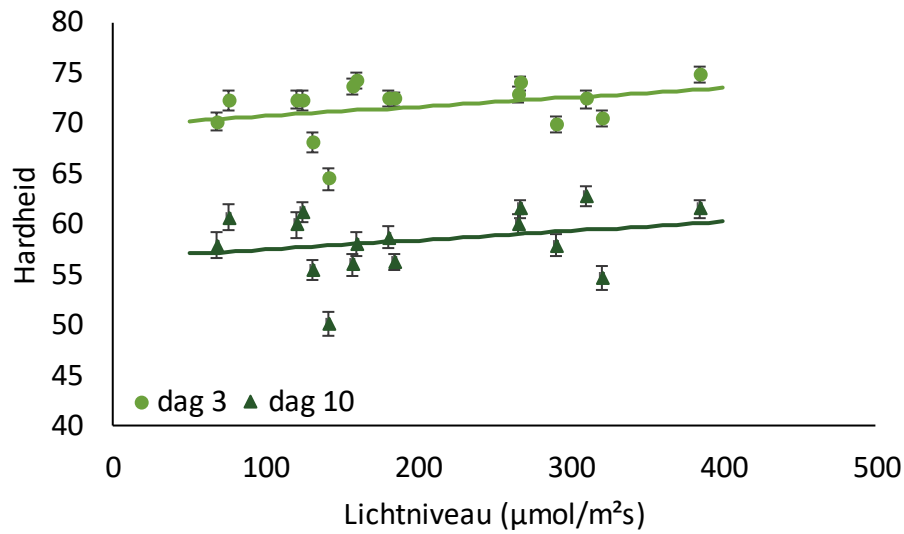


Figuur 11 De efficiëntie van het lichtgebruik (g/mol) in relatie tot het geïnstalleerd lichtniveau (µmol/m²s) waaronder de planten geteeld werden eind april (weeknummer 16; dit is het tijdstip dat de lampen definitief werden uitgezet) en op het einde van het teeltseizoen (weeknummer 40). De efficiëntie van het lichtgebruik daalt met toenemend lichtniveau. Bij de hogere lichtniveaus benutten de planten het lichtniveau dus minder goed dan bij de lagere lichtniveaus. Op het einde van het teeltseizoen daalt de efficiëntie wel minder sterk met toenemend lichtniveau.

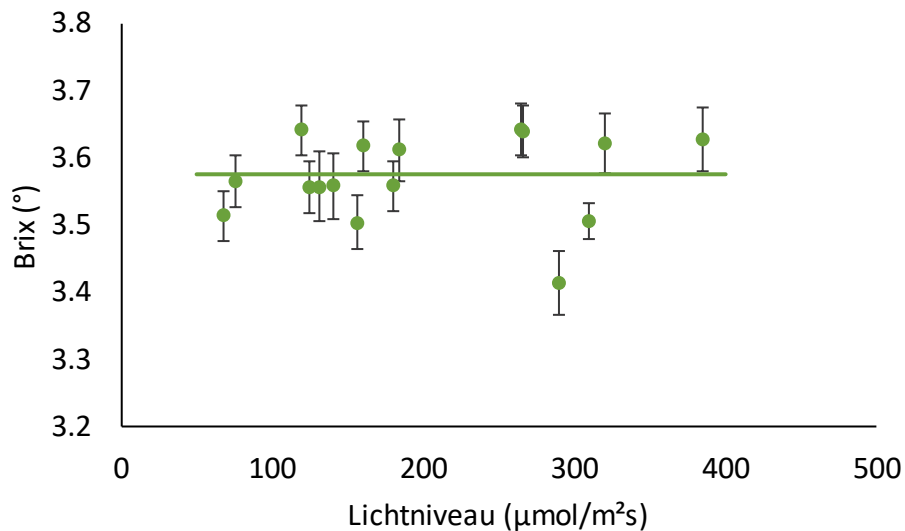
Door de hoge producties dit jaar (zie 5.5) is ook de efficiëntie algemeen hoger. In een onbelichte teelt produceert Merlice over een heel teeltseizoen gezien gemiddeld 12,5 g/mol. Bij de lage lichtniveaus behaalden we dit jaar een efficiëntie van ongeveer 15 g/mol en zelfs bij het hoogste lichtniveau produceerde Merlice nog steeds tomaten met eenzelfde efficiëntie als in een onbelichte teelt.

5.7. Optimalisatie lichtniveau: kwaliteit

De kwaliteit van de vruchten is acceptabel voor alle geteste lichtniveaus. Figuur 12 en 13 tonen respectievelijk de gemiddelde hardheid van de drie bewaarproeven 3 dagen en 10 dagen na oogst en de gemiddelde Brix-waarde 7 dagen na oogst. De stevigheid van de vruchten neemt toe met toenemend lichtniveau, zowel 3 als 10 dagen na bewaring. Na 10 dagen bewaring zijn alle vruchten iets zachter, maar is de stevigheid nog steeds acceptabel voor alle lichtniveaus. De Brix-waarde schommelt tussen de 3,4 en 3,6 en is onafhankelijk van het geïnstalleerd lichtniveau.



Figuur 12 Hardheid van de vruchten (gemiddelde \pm SE), respectievelijk 3 en 10 dagen na oogst, in relatie tot het geïnstalleerd lichtniveau ($\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$) waaronder de planten geteeld werden. De hardheid neemt lichtjes toe met toenemend lichtniveau, zowel 3 als 10 dagen na bewaring.



Figuur 13 Brix-waarde (gemiddelde \pm SE) van de vruchten in relatie tot het lichtniveau ($\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$) waaronder de planten geteeld werden. Er is geen verband tussen de Brix-waarde en het geïnstalleerd lichtniveau.

6. Conclusies

Een belichtingssysteem met full-LED is in zekere zin 'efficiënter' dan een referentie systeem met 169 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$. Met LED modules is het mogelijk om het lichtniveau te verhogen. Zo kan je de planten meer licht geven en dit resulteert ook in een hogere productie. Op deze manier kan je op eenzelfde oppervlakte meer tomaten produceren. Met 17% meer licht werd in deze proef 17% extra productie behaald met de combinatie LED toplight en interlight. Afhankelijk van de manier waarop je het LED licht toedient (toplight versus combinatie toplight en interlight) verbruik je hierbij minder elektriciteit om 1 kg tomaten te produceren. Zelfs als je de verwarming in rekening brengt, verbruik je minder energie in een full-LED systeem om 1 kilogram tomaten te produceren, ondanks dat je in de winter meer moet verwarmen om de temperatuur op eenzelfde niveau te krijgen als in het referentie systeem. De combinatie van LED toplight en interlight lijkt momenteel het meest efficiënt. Hoewel de lichtdoordringing bij 210 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ LED toplight beter is ten opzichte van de combinatie 135 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ LED toplight en 75 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ LED interlight, resulteert dit laatste belichtingssysteem in een hogere productie. Het positieve effect van de interlight modules op het vruchtgewicht lijkt de mindere lichtdoordringing te overtreffen. Deze proef zal volgend teeltseizoen herhaald worden ter bevestiging van de resultaten.

Uit de proef met verschillende lichtniveaus blijkt dat je perfect tomaten kan telen met een geïnstalleerd lichtniveau tot 385 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ LED licht. Je productie zal nog steeds hoger zijn dan wanneer je een lager lichtniveau zou installeren, maar je geproduceerde tomaten worden wel duurder. Je plant gaat immers minder efficiënt om met het licht bij een hoger geïnstalleerd lichtniveau en de installatie zelf wordt natuurlijk ook duurder. Bij het installeren van je lampen zal je dus de afweging moeten maken tussen de gewenste maximale productie en je investeringsvermogen.

7. Bijlagen

Moerkens R., Vanlommel W., Vanderbruggen R., Pinxteren D. (2015). Combinatie SON-T en LED belichting in tomaat: de magische kaap van 100 kg/m² is bereikt. Proeftuinnieuws 18: 19-21.

Moerkens R., Vanlommel W., Vanderbruggen R., Van Delm T. (2016). The added value of LED assimilation light in combination with HPS lamps in protected tomato crops in Belgium. Acta Horticulturae 1134: 119-124.

Vanlommel W., Moerkens R., Vanderbruggen R., Fabri S., Wittemans L., Vermeiren J., Steppe K., Marien H. (2017). Leds maken hogere producties in tomaat mogelijk met minder energie. Proeftuinnieuws 4: 21-23.

Vanlommel W., Moerkens R., Fabri S., Wittemans L., Vermeieren J., Steppe K. (2018). Meer tomaten met evenveel energie door combinatie van led met SON-T. Proeftuinnieuws 4: 18-19.

Vanlommel W. (2019). Tomaten telen met 300 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ led-licht kan maar is duur. Proeftuinnieuws 4: 22-23.

Vanlommel W., Huysmans M., Bosmans L., Vanderbruggen R., Van Delm T. (2019). Optimal artificial light intensity for protected tomato cultivation under LEDs. Acta Horticulturae.

Vanlommel W. (2020). Met full led meer tomaten met minder energie. Proeftuinnieuws 1: 26-27.

Wittemans L., Fabri S., Vanlommel W., Vermeiren J., Steppe K. (2018). Winterproductie verhogen met hybride-belichting. Proeftuinnieuws 16: 14-15.

Wittemans L., Vanlommel W., Vermeiren J., Steppe K. (2020). Grenzen verleggen met hybride-belichting in tomaat. Proeftuinnieuws 1: 24-25.