

Energie-efficiënte belichtingstechnieken in tomaat

Vergelijking HPS - LED

Proefperiode: 24 oktober 2019 – 17 september 2020

Proef uitgevoerd door: Proefstation voor de Groenteteelt, België

Titel	Energie efficiënte belichtingstechnieken in tomaat Vergelijking SON-T - LED
Proefperiode	24 oktober 2019 – 17 september 2020
Contactgegevens	Proefstation voor de Groenteteelt Duffelsesteenweg 101, 2860 Sint-Katelijne-Waver (België) Lieve Wittemans Lieve.wittemans@proefstation.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.


Interreg

Vlaanderen-Nederland
Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling

 AGENTSCHAP
INNOVEREN &
ONDERNEMEN

Vlaanderen
is ondernemen

Provincie
Antwerpen

 Ministerie van Economische Zaken
en Klimaat

 provincie limburg
gesubsidieerd door de Provincie Limburg

Flanders
State of the Art

1. Samenvatting / Abstract

Om de energie efficiëntie van de belichte tomatenteelt te verhogen is een transitie naar led noodzakelijk. In de praktijk zien we twee soorten belichtingssystemen met led: hybride belichting waarbij led wordt gecombineerd met SON-T en full led. In deze proef werden beide systemen vergeleken met standaard SON-T.

De teelresultaten onder een hybride belichtingssysteem zijn gelijkaardig als onder SON-T. Wel wordt er per kilogram geproduceerde tomaat 18% energie bespaard. Overschakelen naar full led met verrood zorgt voor een energiebesparing van 37% en levert in het voorjaar en de zomer een mooie meerproductie op.

2. Inhoudstafel

1. Samenvatting / Abstract	3
3. Inleiding	5
4. Proefopzet	6
4.1 Proefbeschrijving	6
4.2 Teeltgegevens	7
4.3 Beoordelingen	8
5. Resultaten en bespreking	9
5.1 Opbrengst	9
5.2 Plantontwikkeling	11
5.3 Kwaliteit	11
5.4 Energieverbruik en lichtefficiëntie	12
6. Conclusies	13



Interreg



Vlaanderen-Nederland
Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling

AGENTSCHAP
INNOVEREN &
ONDERNEMEN



Vlaanderen
is ondernemen



Provincie
Antwerpen



Ministerie van Economische Zaken
en Klimaat

provincie limburg
gesubsidieerd door de Provincie Limburg



Flanders
State of the Art

3. Inleiding

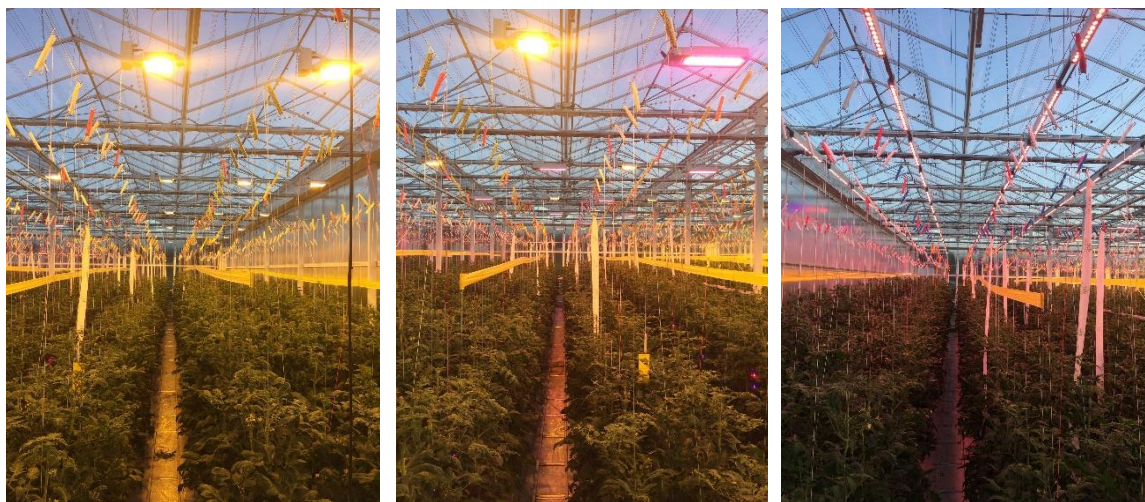
Om de energie efficiëntie van de belichte tomatenteelt te verhogen is een transitie naar led noodzakelijk. In de praktijk zien we twee soorten belichtingsystemen met led: hybride belichting waarbij led wordt gecombineerd met SON-T en full led. Het is met led belichting niet enkel mogelijk om het lamptype aan te passen, ook het lichtspectrum is aanpasbaar. In de praktijk is er een tendens om wit licht toe te voegen in het spectrum, wat het arbeidscomfort verhoogt. Wetenschappelijk onderzoek wijst op potentieel van verrood om het vruchtgewicht en bijgevolg de productie te verhogen.

In deze proef verkenden we de mogelijkheden van hybride en full led belichting met verschillend spectrum om het energieverbruik in de tomatenteelt te verlagen.

4. Proefopzet

4.1 Proefbeschrijving

Deze proef werd opgezet om het gekende belichtingssysteem van hogedruk natriumlampen (SON-T, SON-T) te vergelijken met hybride belichting (50% SON-T en 50% led) en 100% LED-belichting. De proef werd uitgevoerd in een afdeling van 840m² op het Proefstation voor de Groenteteelt. Deze afdeling bestaat uit 3 tralies, waarin telkens een ander lamptype werd geïnstalleerd.

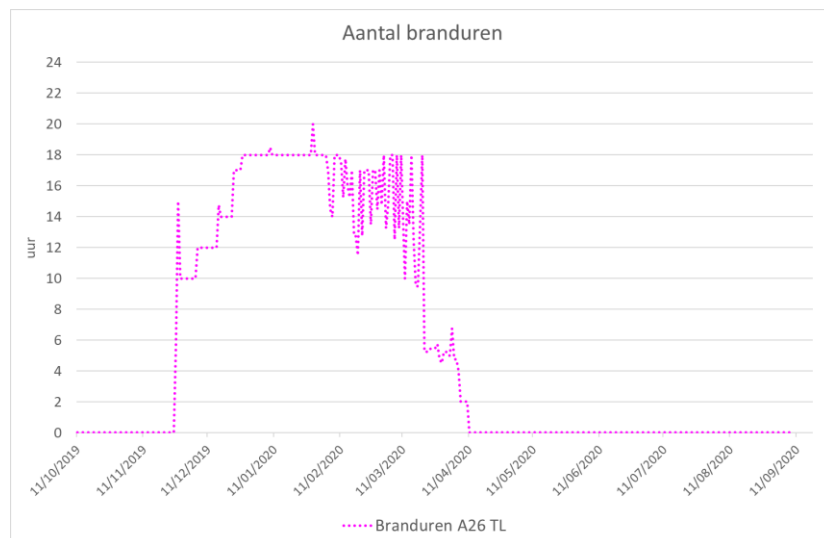


Proefopzet tomaat op PSKW: SON-T (links), hybride (midden), full led (rechts).

De referentie was SON-T (Gavita GAN Electronic 1000 W 400V DE). In het hybridesysteem bestond de helft van de lampen uit SON-T en de andere helft uit led met spectrum DR/W LB (Signify GreenPower LED toplighting compact). De full-led-lampen (Signify GreenPower LED toplighting module DR/W/FR LB) hadden naast rood en blauw ook wit en verrood in het spectrum. Het gemeten niveau van PAR-licht ter hoogte van de koppen van de planten bedroeg bij SON-T, hybride en full-led respectievelijk 170, 183 en 153 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$. De full-led-lampen produceerden naast het PAR-licht ook 15 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ verrood stralingslicht.

De sturing en verwarmingsstrategie was dezelfde voor de verschillende objecten. Verschillen in energieverbruik kwamen daarom overeen met een hoger of lager verbruik van elektriciteit door de lampen.

De belichtingsstrategie wordt weergegeven in *Figuur 1*. Er werd 26 november gestart met belichten en het aantal belichtingsuren werd op een maand tijd opgebouwd tot het maximum van 18 uur per etmaal. Assimilatiebelichting startte geheel op vanaf middernacht tot 18u. Vanaf 5 februari werd gestart met het afbouwen van de belichting. Wanneer de lichtintensiteit overdag de drempel overschreed werden de lampen uitgeschakeld. Op 11 april werd de belichting definitief uitgeschakeld.



Figuur 1: Aantal branduren van de SON-T, hybride en led-belichting

4.2 Teeltgegevens

De verschillende lamptypes werden getest bij het ras Xandor (Axia Vegetable Seeds), geënt-getopt op DR 0141 TX (De Ruiter). De tomatenplanten werden geplant op een afstand van 50 cm. In week 49 werd bij 1 op 3 planten een extra stengel aangehouden, wat de eindstengelafstand bracht op 3,33 stengels per m². Tabel 1 geeft een overzicht van de proefopzet. Elk object werd in vier herhalingen aangelegd. Per herhaling werden 17 stengels geëvalueerd.

Tabel 1: Proefopzet van de proef SON-T versus LED, belichte teelt 2019-2020

Proeflocatie	PSKW
Substraat	Steenwol
Ras	Xandor (Axia Vegetable Seeds)
Onderstam	DR 0141 TX (De Ruiter)
Planttype	Geënt-getopt
Zaaidatum onderstam	31/08/2019
Zaaidatum bovenstam	31/08/2019
Plantdatum	24/10/2019
Plantafstand	50 cm
Extra stengels	W 49: 1 op 3
Aantal stengels/m ²	3,33
Eerste oogstdatum	10/01/2020
Laatste oogstdatum	17/09/2020



Interreg



Vlaanderen-Nederland
Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling



4.3 Beoordelingen

Tijdens dit onderzoek werd de opbrengst, plantontwikkeling, plantkwaliteit, vruchtkwaliteit, kasklimaat, lichtefficiëntie en het energieverbruik opgevolgd en geëvalueerd:

- De **opbrengst** werd twee maal per week gemeten. Per herhaling werden de vruchten gewogen en éénmaal per week werden de tomaten gesorteerd en geteld per kwaliteitsklasse. Hieruit volgt het aantal stuks en hun gemiddeld vruchtgewicht per kwaliteitsklasse.
- De **plantontwikkeling** werd maandelijks geëvalueerd door het opmeten van de lengtegroei en het aantal gezette trossen.
- De **plantkwaliteit** werd maandelijks geëvalueerd door een beoordeling van de groeikracht, de gewasgeslotenheid en de vruchtzetting.
- Het **vruchtkwaliteit** werd vijfmaal beoordeeld gedurende de proef. Per beoordeling werden 8 trossen geselecteerd. De vruchten werden beoordeeld op 7 dagen na oogst bij een bewaring aan 18°C. De beoordeling gebeurde op kleur, vruchtvorm, trosvorm, kwaliteit van de groene delen, bewaarstip en krimpscheurtjes.
- De **lichtefficiëntie** werd berekend aan de hand van het totaal aangeboden licht en de bekomen productie.
- Het **energieverbruik** van de lampen werd berekend aan de hand van het aantal branduren en het vermogen van de lampen en werd uitgedrukt in kWh/kg geogste tomaten.



Interreg



Vlaanderen-Nederland
Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling

AGENTSCHAP
INNOVEREN &
ONDERNEMEN



Vlaanderen
is ondernemen



Provincie
Antwerpen



Ministerie van Economische Zaken
en Klimaat

provincie limburg
gesubsidieerd door de Provincie Limburg

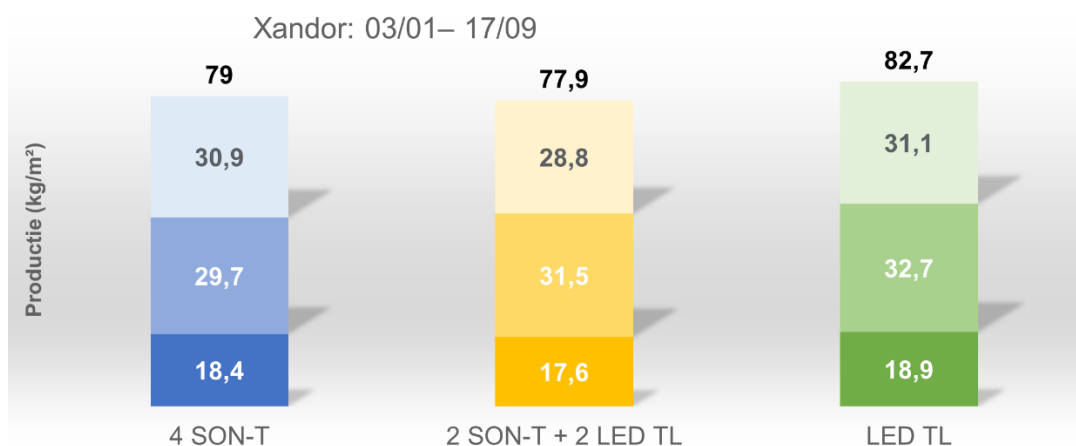


Flanders
State of the Art

5. Resultaten en bespreking

5.1 Opbrengst

De productieresultaten worden weergegeven in Figuur 2. SON-T eindigde op 79 kg/m². De hybride belichting haalde een vergelijkbare productie. Doorheen het teeltseizoen waren er echter wel verschillen. In de winter en het najaar was de productie iets lager, terwijl de productie in de lente wat hoger was in vergelijking met SON-T. Led toplight behaalt de hoogste productie en eindigt 5% hoger dan SON-T. Opmerkelijk is dat het verschil vooral werd gemaakt in de periode nadat de lampen werden uitgeschakeld.



Figuur 2: Productie bij SON-T, hybride en led-belichting

Tabel 2 toont aan dat het vruchtgewicht beduidend hoger was bij full led. Het is geweten dat verrood in het lichtspectrum een invloed heeft op de assimilatenverdeling in de plant. Vermoedelijk heeft dit geleid tot een verhoogde flux van assimilaten naar de vruchten, met een hoger vruchtgewicht als resultaat. De hybride belichting telde iets meer trossen van 6 vruchten (Tabel 3).

Tabel 2: Opbrengst, aantal vruchten en gemiddeld vruchtgewicht per object, totaal, winter, voorjaar en zomer.

TOTAAL	Opbrengst (kg/m ²)	Relatief tov 4 SON-T	Vruchten per m ²	Vruchtgewicht (g)
4 SON-T	79,0 a	100	615	129 a
2 SON-T + 2 LED TL	77,9 a	99	608	128 a
LED TL	82,7 a	105	627	132 a

WINTER	Opbrengst (kg/m ²)	Relatief tov 4 SON-T	Vruchten per m ²	Vruchtgewicht (g)
4 SON-T	10,1 a	100	83	121 a
2 SON-T + 2 LED TL	9,7 a	96	80	121 a
LED TL	10,1 a	100	78	130 a



Interreg



Vlaanderen-Nederland
Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling





VOORJAAR	Opbrengst (kg/m ²)	Relatief tov 4 SON-T	Vruchten per m ²	Vrucht- gewicht (g)
4 SON-T	27,2 a	100	225	121 a
2 SON-T + 2 LED TL	27,6 a	101	223	124 a
LED TL	29,5 a	109	234	126 a

ZOMER	Opbrengst (kg/m ²)	Relatief tov 4 SON-T	Vruchten per m ²	Vrucht- gewicht (g)
4 SON-T	41,8 a	100	307	136 a
2 SON-T + 2 LED TL	40,6 a	97	303	134 a
LED TL	43,1 a	103	315	137 a

Tabel 3: Sortering per object (%).

TOTAAL	7 vr/tr	6 vr/tr	5 vr/tr	4 vr/tr	3 vr/tr	los	gebarsten	groen	neusrot
4 SON-T	1 a	55 a	37 a	5 a	0 a	0 a	0 a	1 a	2,5%
2 SON-T + 2 LED TL	1 a	61 a	34 a	3 a	0 a	0 a	0 a	1 a	1,7%
LED TL	1 a	56 a	37 a	4 a	1 a	0 a	0 a	1 a	2,4%

WINTER	7 vr/tr	6 vr/tr	5 vr/tr	4 vr/tr	3 vr/tr	los	gebarsten	groen	neusrot
4 SON-T	0 a	6 a	88 a	4 a	2 a	0 a	0 a	0 a	0%
2 SON-T + 2 LED TL	0 a	5 a	90 a	4 a	1 a	0 a	0 a	0 a	0%
LED TL	0 a	0 a	95 a	4 a	2 a	0 a	0 a	0 a	0%

VOORJAAR	7 vr/tr	6 vr/tr	5 vr/tr	4 vr/tr	3 vr/tr	los	gebarsten	groen	neusrot
4 SON-T	0 a	78 a	19 a	1 a	0 a	0 a	0 a	1 a	0%
2 SON-T + 2 LED TL	1 a	80 a	18 a	0 a	0 a	0 a	0 a	1 a	0%
LED TL	0 a	79 a	19 a	0 a	1 a	0 a	0 a	0 a	0%

ZOMER	7 vr/tr	6 vr/tr	5 vr/tr	4 vr/tr	3 vr/tr	los	gebarsten	groen	neusrot
4 SON-T	1 a	52 a	37 a	8 a	0 a	0 a	0 a	2 a	4,6%
2 SON-T + 2 LED TL	1 a	62 a	30 a	5 a	0 a	1 a	0 a	1 a	3,3%
LED TL	1 a	55 a	35 a	7 a	1 a	0 a	0 a	2 a	4,6%



5.2 Plantontwikkeling

De planten opgegroeid onder led belichting waren iets langer dan de planten onder SON-T (*Tabel 4*). Onder full led werd 1 tros minder aangelegd dan onder SON-T. Dit is vermoedelijk gerelateerd aan de hogere stralingswarmte van de SON-T lampen. Leds produceren minder warmte, wat waarschijnlijk resulteert in een lagere planttemperatuur en bijgevolg een lagere groeisnelheid.

Tabel 4: Resultaten plantmetingen per object (totaal).

	Plantlengte (cm)	Behanglengte (cm)	Aantal trossen
4 SON-T	1104 a	208 a	33,3 a
2 SON-T + 2 LED TL	1118 a	212 a	33,1 a
LED TL	1125 a	207 a	32,2 a

De maandelijkse gewasbeoordelingen tonen geen grote verschillen aan (*Tabel 5*).

Tabel 5: Resultaten gewasbeoordelingen per object (gemiddelde van maandelijkse beoordeling).

	Groeikracht	Gewas- geslotenheid	% trossen met achterblijvende vruchten	% onvolledige trossen
4 SON-T	5,7 a	5,4 a	3 a	0 a
2 SON-T + 2 LED TL	5,6 a	5,5 a	3 a	0 a
LED TL	5,6 a	5,2 a	2 a	0 a
	Score 0-10	Score 2-10	%	%

5.3 Kwaliteit

De trosvorm verschilt weinig, we zien wel een meer compacte tros wanneer led belichting wordt toegepast of gecombineerd met SON-T (*Tabel 6*). Ook de vruchtvorm en vruchtkwaliteit zijn heel gelijkaardig (*Tabel 7*, *Tabel 8*, *Tabel 9*).

Tabel 6: Troskwaliteit per object (score op 10, gemiddelde van 5 houdbaarheidsproeven).

Object	Trosvorm	Visgraat	Opvolging	Vlakke ligging	Schakeling	Frisheid	Grofheid
4 SON-T	8,8 a	9,8 a	7,0 a	8,5 a	10,0 a	6,7 a	7,3 a
2 SON-T + 2 LED TL	8,3 b	9,3 a	7,5 a	6,5 b	10,0 a	6,8 a	7,4 a
LED TL	8,4 ab	9,5 a	6,8 a	7,3 ab	10,0 a	6,9 a	7,1 a

Tabel 7: Vruchtvorm per object (% , gemiddelde van 5 houdbaarheidsproeven).

Object	Geribd	Gemoot	Niet geribd	Hoekig	Hooggrond	Gemiddeld	Laaggrond
4 SON-T	0 a	34 a	66 a	3 a	21 a	74 a	5 a
2 SON-T + 2 LED TL	0 a	36 a	64 a	0 b	15 a	82 a	4 a
LED TL	0 a	29 a	71 a	0 b	26 a	73 a	2 a



Tabel 8: Vruchtkwaliteit per object (gemiddelde van 5 houdbaarheidsproeven).

Object	Gevlamde vruchten	Bewaarstip	Krimpscheurtjes	Gele kronen
4 SON-T	2 a	0 a	9,2 a	10,0 a
2 SON-T + 2 LED TL	5 a	0 a	9,4 a	9,8 a
LED TL	2 a	0 a	9,3 a	10,0 a
	%	%	Score 2-10	Score 2-10

Tabel 9: Hardheid en brix-waarde per object (gemiddelde van 5 houdbaarheidsproeven).

	Hardheid 3 dagen na oogst	Hardheid 10 dagen na oogst	Brix-waarde
4 SON-T	80 a	72 a	4,2 a
2 SON-T + 2 LED TL	79 a	74 a	4,1 a
LED TL	81 a	74 a	4,1 a
	0-100	0-100	°

5.4 Energieverbruik en lichtefficiëntie

In totaal hebben de lampen 1894 uren gebrand (Tabel 10). Door SON-T te vervangen door led verlaagt het geïnstalleerd vermogen per m² en bijgevolg ook het elektriciteitsverbruik. Aangezien alle planten in dezelfde afdeling werden geteeld met dezelfde klimaatsturing en verwarming, wordt de energiebesparing bekomen door een lager elektriciteitsverbruik. Uitgedrukt per kilogram geoogste tomaten, wordt er in het hybride systeem een energiebesparing gerealiseerd van 18% en bij full led 37%.

Tabel 10: Branduren en energieverbruik per object

	4 SON-T	2 SON-T + 2 LED TL	LED TL
Branduren (uur)	1894	1894	1894
Natuurlijk licht (mol)	6053	6053	6053
Kunstlicht (mol)	1159	1247	1145
Totale lichthoeveelheid (mol)	7212	7300	7198
Vermogen (W/m ²)	100	81	66
Verbruik (kWh/m ²)	189	153	125
Verbruik relatief (%)	100%	81%	66%
Productie (kg/m ²)	79,0	77,9	82,7
Energieverbruik (kWh/kg)	2,40	1,97	1,52
Energieverbruik relatief (%)	100%	82%	63%
Lichtefficiëntie (g/mol)	11,0	10,7	11,5

De gerealiseerde lichtefficiëntie bedraagt respectievelijk 11,0; 10,7 en 11,5 g/mol voor SON-T, hybride en full led.



6. Conclusies

Hybride presteert even goed als SON-T

De planten onder het hybridesysteem kregen 8% meer kunstlicht dan de planten onder SON-T. Wanneer we het zonlicht mee in rekening brengen, dan is de totale lichthoeveelheid tamelijk vergelijkbaar: namelijk 7300 mol/m² voor hybride en 7212 mol/m² voor SON-T. De productie en vruchtgewicht zijn eveneens heel vergelijkbaar tussen de twee belichtingsystemen.

Door de helft van de SON-T-lampen te vervangen door led-belichting hebben we per kilogram geproduceerde tomaat wel 18% energie bespaard. Ook de plantontwikkeling verloopt tamelijk vergelijkbaar. De planten onder de hybridebelichting hebben evenveel trossen aangelegd. De trossen zijn iets compacter. De overige kwaliteitskenmerken zijn nagenoeg dezelfde als bij de tomaten onder SON-T.

Full-led met verrood verhoogt vruchtgewicht

De hoeveelheid PAR-licht, het deel van het lichtspectrum dat de plant kan benutten voor fotosynthese, is lager bij de full-led-lampen. Waar we bij SON-T 170 µmol/m².s PAR-licht meten ter hoogte van de koppen van de planten, is dit bij full-led maar 153 µmol/m².s. Bij full-led werd echter ook verrood toegevoegd. Verrood straling licht is geen PAR-licht en wordt dus niet rechtstreeks door de plant gebruikt voor fotosynthese om suikers te produceren. Het is echter geweten dat verrood straling licht een positief effect kan hebben op de productie. Dat komt hoogstwaarschijnlijk doordat verrood straling licht de verdeling van assimilaten in de plant wijzigt, waardoor er meer suikers naar de vruchten gaan, wat leidt tot een hoger vruchtgewicht. Dat zien we ook in de proef. Gemiddeld ligt het vruchtgewicht 3 gram hoger in vergelijking met SON-T, tijdens de winterperiode bedroeg het verschil 9 g en dit verkleint doorheen het teeltseizoen. Ook hier zijn er kwalitatief nagenoeg geen verschillen ten opzichte van SON-T.

Daarnaast zorgt verrood straling licht voor meer strekking in de plant. Zo zijn de planten onder full-led 19 cm langer dan deze onder SON-T, terwijl er toch één tros minder werd aangelegd. De tragere trossaanleg is hoogstwaarschijnlijk te wijten aan een lagere temperatuur in de kop onder de led-lampen in vergelijking met SON-T, wat leidt tot een lagere groeisnelheid.

38% energie bespaard met full-led

De productie van full-led komt 3,7 kg/m² hoger uit dan SON-T. Deze meeropbrengst werd voornamelijk gerealiseerd in het voorjaar en de zomer. Dat is opmerkelijk, want de belichting werd afgebouwd in de loop van maart en vanaf 11 april volledig uitgeschakeld. Het lijkt alsof de het verrood straling licht een langdurende invloed heeft op het vruchtgewicht en op de productie. De vrucht kwaliteit is vergelijkbaar met de tomaten geteeld onder SON-T. Door SON-T volledig te vervangen door led behaalden we een energiebesparing van maar liefst 37% per kilogram tomaat.



Interreg



Vlaanderen-Nederland
Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling

