

DRAAIBOEK GLITCH

Belichting

Onderzoek uitgevoerd door: *Proefstation voor de Groententeelt, TMK en Botany*



Titel	
Contactgegevens	<p><i>Thibault De Moor</i> <i>Isabel Vandevelde</i> <i>PSKW: Jonas de Win & Jari van Dam</i> <i>Botany B.V.: Maarten Vliex & Conny Vervoort</i> <i>Proefcentrum Hoogstraten: Lien Bosmans</i> <i>Proefstation voor de groententeelt: Lieve Wittemans</i> <i>TMK: Jeroen van Roy</i></p>
Project	<p>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/</p>
Steunvermelding	<p>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.</p>





1. Situatieschets bij aanvang project

Sla:

De teelt van sla in hydrocultuur is een groeiende teelt. Het is een intensieve teelt die standaard belicht wordt om de productie in de winter op peil te houden. Standaard wordt de sla belicht met SON-T lampen, maar led lampen zijn efficiënter en duurzamer. Daarom worden deze meer en meer gebruikt in de sla. Eerder onderzoek heeft aangetoond dat sla geteeld onder led-licht hogere lichtintensiteiten toelaat dan telen onder SON-T-licht, zonder extra rand in de sla te veroorzaken. Met een hogere lichtintensiteit kan een hogere productie worden gehaald. Daarenboven kleuren rode types mooier rood, groeien compacter en maken een dikker blad onder een blauw-rood spectrum. Maar wanneer zware kropsla moet worden geteeld, dan zien we dat dit type onder het blauw-rode spectrum vaak te compact groeit. In de winter van 2017-2018 hebben we in een proef, uitgevoerd op kleine schaal, aangetoond dat toevoeging van verrood licht de kropsla mooier en minder compact maakt.

Komkommer:

De komkommerteelt in Nederland en Vlaanderen kan kortweg ingedeeld worden in twee teeltsystemen: de traditionele komkommerteelt en de hogedraad komkommerteelt. Samen omvatten ze ongeveer 700 ha komkommer. Een groot deel beleveren ze voor de interne markt, maar vooral Nederland is ook een belangrijke exporteur. Het areaal hogedraad teelt neemt steeds verder toe omdat met deze techniek hogere opbrengsten en een betere vruchtkwaliteit gerealiseerd kunnen worden. Hoewel de mooie resultaten die hogedraad met zich meebrengt, lijkt niet iedereen geneigd te zijn om over te schakelen van traditioneel naar hogedraad. Dit komt doordat bij hogedraad een constante gewasverzorging essentieel is, waardoor de arbeid veel hoger ligt dan in een traditioneel teeltsysteem.

Momenteel start de productie langzaam in februari, piekt tussen eind maart en september en loopt dan sterk terug met een verwaarloosbare aanvoer in november. Door verder gebruik te maken van belichting, is een teler in staat om een constante aanvoer en kwaliteit te realiseren. Dit speelt met name in maart, waar het qua belichting nog wel eens misgaat. Het bijsturen door middel van kunstmatige belichting kan dan essentieel zijn om de productie en kwaliteit op niveau te houden. In 2018 is het areaal met vroege plantingen (december/januari) klein, slechts 15 ha. Aangezien er vanuit de consument behoefte is aan Nederlandse producten, is er wel toenemende interesse in het jaarrond telen van komkommers om zo te kunnen concurreren met het Spaanse product. Bij aanvang van het project werd er reeds bij een handvol telers belicht met HPS-lampen. Omdat LED-lampen efficiënter zijn dan HPS-lampen, is er interesse om gebruik te maken van LED lampen. Echter, dit roept nog veel vragen op.



Tomaat:

Het tomatenlandschap heeft een sterke verandering ondergaan. Lampen werden geïnstalleerd in onbelichte serres en nieuwe belichte serres werden gebouwd. Daar waar er vroeger tijdens de winter slechts een beperkt aanbod aan Belgische tomaten was, is er nu van een grote range aan tomaattypes jaarrond product beschikbaar. Het areaal belichte tomatenteelt in België steeg op vijf jaar tijd van 18 naar 110 ha in 2018 (Figuur 1), een kwart van het totaal areaal doorteelt tomaat op substraat. Hiervan was er 16 ha uitgerust met hybride belichting en 6 ha met full-led. Het Belgisch areaal doorteelt tomaat op substraat nam gestaag toe van 470 ha in 2014 tot 515 ha in 2018.

Sterke toename SON-T belichting

Opmerkelijker is de sterke toename van de belichte teelt in België. Het areaal belichte tomatenteelt kende de voorbije zes jaar een sterke opgang. Vóór 2014 was het tamelijk stabiel en bleef het beperkt tot vijf belichte bedrijven met in totaal 18 ha. De daaropvolgende jaren kende SON-T een belangrijke opmars. Het aantal belichte bedrijven was in 2016 al gestegen naar 34 en vertegenwoordigde een areaal van 105 ha. De jaren nadien was er nog een lichte toename van SON-T tot 110 ha, verdeeld over 35 bedrijven in 2018. Er werden zowel losse tomaten, vlees- en trostomaten en specialties onder belichting geteeld. Er werd veelal gebruik gemaakt van 1000 W SON-T lampen met een geïnstalleerd vermogen van 100 W/m², dus vier lampen per tralie. Slechts één enkel bedrijf installeerde een groter vermogen van 125 W/m².

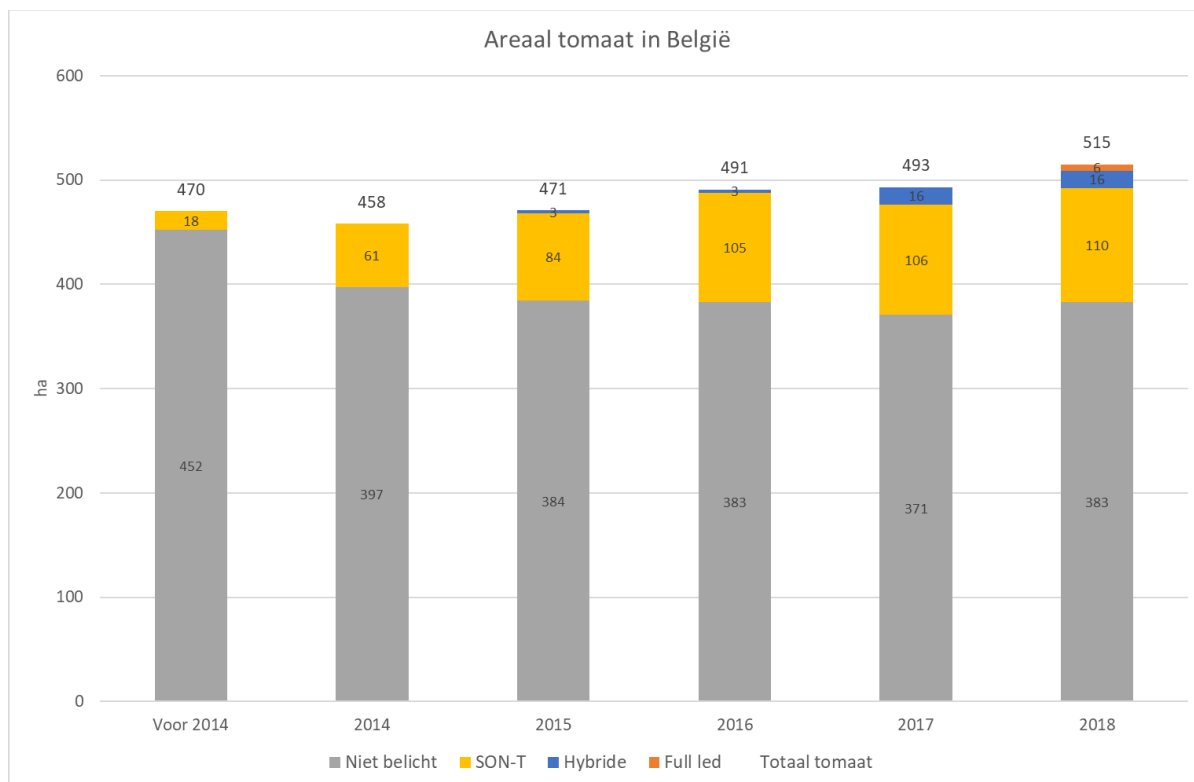
Led-interlight maakt intrede in 2015

De eerste bedrijven, die naast SON-T ook leds gingen gebruiken als lichtbron, kwamen er in 2015. Deze twee pioniers installeerden Philips GreenPower LED interlighting generatie 2 lampen van Signify op een gezamenlijk areaal van 3 ha. Toen in 2017 de generatie 3 interlights van Signify op de markt kwamen, hadden 6 van de 40 belichte bedrijven hybride belichting met SON-T als toplight en leds als interlight. Samen vertegenwoordigden zij een areaal van 16 ha.

Van hybride naar full-led

In 2018 werden de eerste twee Belgische serres uitgerust met led lampen als enige lichtbron met een totaal areaal van 6 ha. Op het eerste bedrijf werd Hyperion led toplight van Plessey gehangen, op het tweede bedrijf werden led-toplights Galilea en led-interlights Apollo III van Lohuis Lighting geïnstalleerd.





Figuur 1: Evolutie van het areaal tomaat, SON-T, hybride en full led belichting in België

Belichtingsevaluaties:

Het areaal belichte teelten neemt steeds verder toe in de glastuinbouw. Door het gebruik van assimilatiebelichting is het mogelijk om langer te produceren met een goede productkwaliteit. Hierdoor is het mogelijk om de serre economisch efficiënter in te zetten. Tegenover de meerproductie die ontstaat door de assimilatiebelichting staat dat hier elektriciteit voor nodig is, wat dus geld kost. Hierom is het belangrijk om de assimilatiebelichting op een efficiënte manier aan te sturen die niet ten koste gaat van de productie.

Tijdens de teeltperiode is de zon de belangrijkste lichtbron voor het gewas. Naast het feit dat de zon voor veel licht zorgt is elke ontvangen mol PAR-licht van de zon gratis. Ze moet dus ook optimaal benut worden. Hoeveel zonlicht door het gewas ontvangen wordt is afhankelijk van de daglengte en de lichtintensiteit. Dit varieert sterk doorheen het jaar. Zonnige en donkere periodes volgen elkaar op, net als zonnige en donkere dagen. Duidelijk is ook dat de ontvangen lichthoeveelheid van de zon in de winter veel kleiner is dan in de zomer. Door de inzet van assimilatiebelichting wordt het echter toch mogelijk om ook in de donkere wintermaanden te telen.

Een sturing van de belichting gebaseerd op belichtingsuren, was de standaard bij het begin van het project. Tijdens het project werd een analyse gedaan van de sturing van de aanwezige assimilatiebelichting. Een nieuw belichtingsconcept, lichtintegratie, is doorontwikkeld tijdens GLITCH, om het beter te laten aansluiten bij de noden van de sector.

2. Uitdagingen/vragen bij aanvang project

Sla:

De belangrijkste vraag die we onderzocht hebben is hoe kunnen we in de winter een mooie kropsla telen onder led licht. Zoals hierboven geschreven groeit kropsla niet mooi onder het standaard 95% rood 5% blauw spectrum. De specifieke vragen waren: kan men met verrood licht een mooie kropsla telen, zo ja hoeveel % verrood heeft men nodig? Telers vragen zich ook af of ze m Hiernaast heerst ook de vraag over het gebruik van een belichtingsdoek, dit om licht binnen te houden en lichtvervuiling naar de buurt te verminderen. Het gebruik van een verduisteringsdoek hebben we ook getest. Deze vraag is namelijk sterk gelinkt aan het gebruik van kunstlicht. Led-licht dat minder warmte produceert dan HPS licht, zou het makkelijker maken om een verduisteringsdoek te gebruiken. Naast kunstlicht, blijft het optimaal benutten van natuurlijk licht uiterst belangrijk, glas type speelt hier een rol. Daarom hebben we helder en diffuus glas vergeleken.

Komkommer:

Bij de aanvang van het GLITCH project waren er nog veel vragen over de realiseerbaarheid van een winterteelt, voornamelijk de rendabiliteit van zo'n winterproductie in België en Nederland werd in vraag gesteld. Andere belangrijke vragen daarbij zijn welke intensiteit van belichting nodig is en is het mogelijk om energiezuiniger te telen onder led ten opzichte van HPS. Ook de keuze tussen toplight, interlight of beide was een uitdaging voor dit project. Daarnaast riep het gebruik van led-belichting extra vragen op: welk spectrum is het meest geschikt, bevat dit enkel PAR-licht of moeten we ook buiten deze grenzen kijken. Uiteraard is ook het teeltresultaat belangrijk, want een verschil maken met het Zuiden kan enkel onder het Flandria-label. Dit zijn een aantal vragen waarvan het antwoord niet bekend was bij de aanvang van het project. Door gedurende de afgelopen drie jaar hierop in te spelen, zijn er stappen gezet in het beantwoorden van bovenstaande vragen.

Tomaat:

De snelle evolutie van het areaal belichte teelt en het gebruik van led belichting in het bijzonder creëerde een grote vraag naar kennis en informatie. Via een workshop bij tomatentelers (organisatie UA Antwerpen via co-creatie) werden telers bevraagd over uitdagingen bij led en SON-T-belichting. Volgende uitdagingen werden geformuleerd:

Telers geven aan dat de kostprijs bij led een probleem vormt. Er moet meer informatie voorhanden zijn over de hogere kostprijs en of deze manier van belichtingen langer meegaat en dat er energie bespaard kan worden door deze manier van belichting te gebruiken in de teelt. Het gaat dan over de totale investeringskost, het rendement, de terugverdientijd en de geschatte onderhoudskosten. Men moet langer wachten op het rendement van led ten opzichte van SON-T wat zorgt dat indien teler in het systeem investeert mogelijks teleurgesteld zal blijven.

Uiteraard nemen de telers niet enkel het financiële plaatje in overweging, maar ook de teeltspecifieke aspecten komen op de eerste plaats. Het gaat dan over kwaliteit van de productie, invloed op het kasklimaat en de klimaatsturing. Bij innovaties over energie-efficiënte belichting is de zoektocht naar het meest optimale lichtspectrum één van de belangrijkste zaken. Dit is een complex gegeven dat nog volop onderzocht wordt in de proefcentra. Sommige telers willen liever wachten tot dit op punt staat alvorens dat ze beslissen om over te gaan tot een investering. Men moet er ook voor zorgen dat er



voldoende 'wit' licht tussen de belichting hangt. Dit is van belang voor de werknemers en om een aangename werkomgeving voor de werknemers te creëren. Anders kan de kleur van de vrucht moeilijk beoordeeld worden. Ook uitstoot van het led-licht naar de hemel kan storend zijn voor de buurtbewoners.

Uiteraard speelt de innovatiezin van de teler zelf mee. Het gaat dan over de mate waarin de teler graag zelf voorop wil lopen met nieuwe ontwikkelingen, als één van de eersten mee op de innovatiekar wil springen en hoe toekomstgericht het teeltbedrijf is. Bepaalde telers lopen liever geen al te groot risico en nemen liever een afwachtende houding aan. Zij zullen pas overstappen naar een innovatie wanneer andere collega's goede resultaten kunnen voorleggen. Zij kijken voornamelijk naar wat de meerderheid van de telers doet, winnen hier informatie over in bij de teeltadviseur en de installateur en zullen dezelfde systemen en technieken gebruiken als de meerderheid van de telers. Andere telers durven al eens sneller een risico te nemen en zijn soms pionier wat het gebruik van een bepaalde innovatie in een bepaalde regio betreft.

Ook over de infrastructuur zijn er nog vragen waar telers tegen aan lopen. Het kan zijn dat de elektrische installatie niet voldoende capaciteit heeft. Bij led-interlight merkt men dat men een rest-laag van het spuiten tegen ziektes op de buizen van de led achter blijft. Deze laag krijgt men er moeilijk af.

De meerderheid van de telers is van mening dat milieu en duurzaamheid belangrijk zijn en dat deze zaken alsmaar belangrijker worden. Indien ze niet met duurzaamheid bezig zijn dan zal er voor hen geen plaats meer zijn op de markt in de toekomst. Ze doen het ook vanuit de overtuiging dat ze willen bijdragen aan een duurzame oplossing. Als ze kunnen innoveren en ze dragen ook nog bij aan duurzaamheid, dan slaan ze twee vliegen in één klap. Ze merken ook een vraag van de afnemers naar duurzaamheid. Voor telers is het dus erg belangrijk om de innovaties hieromtrent mee op te volgen omdat deze de toekomst van de teelt zullen bepalen. Toch zijn er ook enkele telers die opmerken dat er de voorbije decennia al enorm veel vooruitgang geboekt is op milieuvlak. Ze wijzen erop dat de inspanningen van enkele decennia geleden ook zeker niet vergeten mogen worden.

Belichtingsevaluaties:

De grootste uitdaging bij het begin van het project was de doorontwikkeling van het hierboven beschreven model. Met het model kan advies gegeven worden omtrent de aansturing van de assimilatiebelichting om te komen tot een beheerste groei. Dit wordt bereikt door schokken in ontvangen lichthoeveelheden te minimaliseren. Zo kan de plant beter in balans gehouden worden en gelijktijdig energie bespaard worden. De vragen die er zijn bij aanvang van het project zijn dan ook veelvuldig. Zo was er de vraag hoe het reeds bestaande model verder aangepast kon worden naar de noden van de sector. Hierbij moet steeds rekening gehouden worden met een evenwicht tussen productie en energieverbruik. Het streefdoel moet zijn om het productieverlies minimaal te houden, terwijl de energiebesparing groot is. De belangrijkste vraag hierbij is wat dit in de praktijk voor de tuinder betekent op vlak van mogelijke energiebesparing en ontvangen lichthoeveelheid.



3. Plan van aanpak

Sla:

In de eerste winter van het GLITCH project, hadden we nog een ander project met belichting als thema, namelijk LightMan. We hebben deze twee projecten dus gecombineerd in één proef. Onder LightMan hebben we verder onderzocht wat het ideale percentage verrood licht is. Terwijl we voor GLITCH een belichtingsdoek getest hebben. Deze proef ging als volgt, in één afdeling hebben we een belichtingsdoek gebruikt en in de andere niet. In beide afdelingen hebben we een gradiënt verrood gecreëerd gaande van 1,5 % tot 8 % verrood. Dit heeft aangetoond dat 8 % verrood de mooiste sla geeft, maar noch niet even mooi als we onder HPS licht gewoon zijn.

In de tweede winter hebben we dus verder gezocht naar het ideale spectrum voor kropsla, dit naast een proef over gebruik van laagwaardige warmte, beschreven in het draaiboek over laagwaardige warmte. In onze nieuwe serre hebben we drie lichtspectra getest: HPS, als positieve controle; hybride belichting (led en HPS) en led belichting met 13 % verrood.

In de lente en herfst hebben we in onze nieuwe serre diffuus glas vergeleken met helder glas. Dit met rode sla types (rode eik en Lollo rossa). De vraag was of er een verschil is in roodkleuring tussen deze twee glastypes.

In de derde winter hebben we de proef herhaald met de drie belichting types, HPS, hybride en Led met verrood. Voor het laatste hebben we de hoeveelheid verrood wel laten zakken tot 10% extra verrood. Ook hebben we de verschillende spectra getest met Lollo bionda en rode eikenbladsla.

Komkommer:

2018-2019: In het projectjaar 2018-2019 werd in de eerste teeltronde gebruik gemaakt van LED lampen met het rood/blauwe spectrum (95% R, 5% B), aangezien dit bij tomaat positieve resultaten gaf. Bij Botany werd een proef gedaan waarbij het vergelijk gemaakt werd tussen SON-T + interlights en LED Toplights + LED interlights. Ook in het Proefstation werd in dit jaar een vergelijkende proef aangelegd tussen HPS en led als toplight. Het spectrum van de leds was het dieprode spectrum met een verhouding rood/blauw 95/5. Voor beide belichtingssystemen werd gestreefd naar een lichtintensiteit van 180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$.

2019-2020: Op basis van de resultaten van de eerste teeltronde werd, bij Botany in het projectjaar 2019-2020, in samenspraak met de telers een tweede proefopzet bedacht waarbij meer focus lag op het spectrum van de LED lampen. Zo werd er gebruik gemaakt van een groter aandeel blauw licht en van een groter aandeel groen licht. Daarnaast werd onderzocht of het gebruik van interlights een meerwaarde liet zien. Opnieuw werd hierbij het vergelijk gemaakt tussen een hybride situatie (SON-T + LED) en een volledige LED situatie. Ook op het Proefstation werd in de tweede teeltronde de nadruk gelegd op het testen van verschillende spectra, daar waar het dieprode spectrum onvoldoende bleek te zijn. Vanuit Frankrijk kwam de theorie dat er in de ochtend onvoldoende blauw licht beschikbaar was om de plant te activeren, de sapstroom op gang te brengen. Nederland wees op het gemis aan verrood. Beide theorieën werden dat jaar in de praktijk getest. Strategie 1 omvat het verhogen van het aandeel blauw van 5% naar 13% tijdens de belichtingsuren voor zonsopgang. Strategie 2 evalueerde het effect van verrood, waarbij drie trappen werden toegepast: geen verrood, enkel tijdens de laatste acht uur verrood en continu verrood. Het percentage verrood lag op 13% van het totaal aangeboden fotonen, waarbij het aantal geleverde fotonen bij alle objecten op dagbasis gelijk was. Deze verschillende spectra (190 $\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$) werden vergeleken met een SON-T-belichtingssysteem (180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$) en een hybride-belichtingssysteem (200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$).





2020-2021: Aangezien bij Botany in de tweede teeltronde naar voren kwam dat een groter aandeel groen licht in het LED spectrum positieve resultaten opleverde, werd tijdens het projectjaar 2020-2021 hier opnieuw op ingezet in de derde teeltronde. In de hybride situatie werd gekozen voor een groter aandeel LED ten opzichte van de tweede teeltronde, om vast te stellen of dit vergelijkbare resultaten opleverden. Daarnaast werd gebruik gemaakt van verschillende rassen om te onderzoeken hoe deze reageren op de verschillende belichtingsstrategieën. Op het Proefstation werden in de tweede teeltronde mooie resultaten bekomen door gebruik te maken van verrood licht. Het belichtingscomité - voornamelijk bestaande uit telers - heeft besloten om in de derde teeltronde verder in te zetten op het verdere transformatietraject naar volledige led-belichting. Daarbij werd dit projectjaar de focus gelegd op de dosering verrood en hybride-belichting. Bij de hybride-belichting werd een hogere lichtintensiteit gerealiseerd ($260 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$) door de energievraag van HPS voor de helft in te vullen door led (en dus niet de lichtoutput). Er werd daarnaast ook het vergelijk gemaakt tussen hybride met led-verrood (4%) en hybride zonder led-verrood. De dosering van verrood werd geëvalueerd in een full led-systeem. Er werd gekozen voor een aandeel 12%, 6% en 0% verrood licht. De totale lichtintensiteit bedraagt $200 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$, waarbij het aantal geleverde fotonen op dagbasis bij alle objecten gelijk is. De proeven werden uitgevoerd met twee morfologisch sterk verschillende rassen om na te gaan of de eerder waargenomen effecten niet ras-afhankelijk zijn.

Tomaat:

Assimilatiebelichting maakt het mogelijk de kas economisch efficiënter in te zetten. Door efficiënte belichtingstechnieken te gebruiken zal per kilogram oogstbaar product de energie-input dalen en via deze weg dus bijdragen tot een lagere CO₂-uitstoot. Het vervangen van SON-T lampen door led armaturen geeft bovendien ook een rechtstreekse reductie van de CO₂-uitstoot door de hogere efficiëntie voor omzetting van elektriciteit naar straling en bijgevolg een lager elektrisch verbruik van de lampen.

Om de energie-efficiëntie van belichtingstechnieken te verbeteren, is verdere ontwikkeling en bijhorende demonstratie noodzakelijk. In deze activiteit wordt onderzoek gedaan naar:

- het toepassen van efficiëntere belichtingssystemen
- de effecten op verschillende gewassen & ideale lichtniveau en -samenstelling per gewas
- het slimmer toepassen van belichtingsstrategieën





Om dit te realiseren werden op PCH en PSKW concreet de mogelijkheden verkend van:

1. Toepassing van full-led in vergelijking met SON-T (PCH, 2019)
2. Toepassing van full-led met verrood in het lichtspectrum in vergelijking met SON-T (PSKW, 2019-2020 en PSKW 2020-2021)
3. Hybride toplight belichting door middel van compacte of lineaire led modules in vergelijking met SON-T (PCH, 2019-2020 en PSKW, 2019-2020)
4. Belichting via toplight of via een combinatie van toplight en interlight in vergelijking met SON-T (PCH, 2019)
5. Horizontale versus verticale led-interlight belichting (PSKW, 2019-2020)
6. Meerwaarde van continue belichting met led-interlight (PSKW, 2019-2020)
7. Meerwaarde van een oplopend lichtniveau van 75 tot 385 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ (PCH, 2019)

PCH

PCH heeft in 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.

In twee afdelingen van 500 m² werd een klassiek belichtingssysteem vergeleken 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/WLB; 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, verschillende lichtniveaus gecreëerd door op bepaalde plaatsen meer of minder leds te hangen.

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. 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 en anderzijds door enkel toplight modules.

De proef werd uitgevoerd op het ras Merlice (De Ruiter), geënt-getopt op de onderstam DR 0141 TX (De Ruiter). 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. De SON-T lampen werden 17/04/2019 (weeknummer 16) definitief uitgeschakeld, net zoals de leds in kap 1 van de full-led afdeling. De andere leds konden in de zomer en in het najaar nog wel branden tussen 04u00 en 13u00 indien de natuurlijk straling lager was dan 400 W/m². De eerste tomaten werden 21/12/2018 geoogst en de laatste tomaten 03/10/2019. De productie, gewasparameters (lengte, stengeldikte, tros in zetting), brix, hardheid en het elektriciteitsverbruik werden opgevolgd. Het energieverbruik wordt



per object uitgedrukt in kWh/kg geoogst product. Op deze manier kan elk object met elkaar vergeleken worden.

In 2019-2020 werden in afdeling 12 als 13, beide 500 m², twee verschillende hybride systemen getest ten opzichte van een klassiek systeem met enkel SON-T belichting. Afdeling 13 werd uitgerust met de standaard SON-T lichtintensiteit van 215 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ (4 lampen per tralie). In afdeling 12 werd het SON-T niveau verlaagd naar 134 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ (2,5 lamp per tralie) en werd er 114 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ led toplight bijgehangen. In de ene helft van de serre werden hiervoor lineaire modules (Philips GreenPower LED toplighting DR/WLB; regular output; 2,9 $\mu\text{mol}/\text{J}$) gebruikt, terwijl de andere helft van de serre werd uitgerust met compact modules (Philips GreenPower LED toplighting compact DR/WLB; standard; 2,9 $\mu\text{mol}/\text{J}$).

De proef werd uitgevoerd op het ras Merlice (De Ruiters), geënt-getopt op de onderstam DR 0141 TX (De Ruiters). Alle lampen konden maximaal 18 uur per dag branden. De led modules werden steeds samen aan- en uitgeschakeld. Op deze manier ontvingen de planten in het hybride belichtingssysteem eenzelfde hoeveelheid licht (245 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$), maar op een verschillende manier. Zowel de SON-T lampen als de leds werden nog gebruikt in de zomer. Alle lampen zijn 08/08/2020 (weeknummer 32) definitief uitgeschakeld. De eerste tomaten werden 03/01/2020 geoogst en de laatste tomaten 23/10/2020. De productie, gewasparameters (lengte, stengeldikte, tros in zetting), horizontale en verticale lichtverdeling, brix, hardheid en het elektriciteitsverbruik werden opgevolgd. Het energieverbruik wordt per object uitgedrukt in kWh/kg geoogst product. Op deze manier kan elk object met elkaar vergeleken worden.

PSKW

In een eerste proef werd het gekende belichtingssysteem van hogedruk natriumlampen (SON-T) vergeleken met hybride belichting (50% SON-T en 50% led) en 100% led-belichting. Deze proef werd uitgevoerd in 2019-2020, de vergelijking tussen SON-T en full led werd herhaald in 2020-2021. De proef werd uitgevoerd in een afdeling van 840m², waar in elke tralie telkens een ander lamptype werd geïnstalleerd.

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/WLB (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 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$. De full-led lampen produceerden naast het PAR-licht ook 15 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ verrood stralingslicht. De verschillende lamptypes werden getest bij het ras Xandor (Axia Vegetable Seeds), geënt-getopt op DR 0141 TX (De Ruiters). De plantdatum van de eerste proef was 24 oktober 2019, de proef werd beëindigd op 17 september 2020. De vergelijking tussen SON-T en full led werd herhaald in het teeltseizoen 2020-2021 bij hetzelfde ras. De plantdatum was hier 7 oktober 2020 en de proef loopt nog door tot half september 2021. De opbrengst, plantontwikkeling, plantkwaliteit, vruchtkwaliteit, lichtefficiëntie en energieverbruik werden met elkaar vergeleken.

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.

In een tweede proef (2019-2020) werden horizontale led-interlights vergeleken met verticale led-interlights. De proef werd uitgevoerd in twee planrijen: in de ene planrij werden de horizontale led-interlights opgehangen, in de andere planrij de verticale led-interlights.

De horizontale interlights van Signify (GreenPower LED interlight DR/B Gen 3) waren de referentie, omdat dit systeem het meest wordt toegepast in de praktijk. Daarnaast werden de verticale interlights van Lohuis (Apollo III) getest. Niet alleen de oriëntatie van de interlights was verschillend, ook de lichtintensiteit en het lightspectrum. Zo produceerden de verticale interlights 67% meer PAR-licht per m² dan de horizontale doordat er meer lampen per m² waren geïnstalleerd. Bovendien bevatte hun lightspectrum 10% blauw licht in plaats van 5% bij de horizontale interlights. Beide types van interlight werden gecombineerd met hybride toplight (SON-T en Signify GreenPower LED toplighting compact). De verschillende lamptypes werden getest bij het ras Xandor (Axia Vegetable Seeds), geënt-getopt op DR 0141 TX (De Ruiters). De plantdatum was 24 oktober 2019, de proef werd beëindigd op 17 september 2020. De opbrengst, plantontwikkeling, plantkwaliteit, vruchtkwaliteit, lichtefficiëntie en energieverbruik werden met elkaar vergeleken.

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

In een derde proef werden de mogelijkheden van continue belichting met horizontale led-interlights onderzocht in vergelijking met een belichting die maximaal 18 uur per dag bedraagt. De proef werd uitgevoerd in twee planrijen van een afdeling van 840m² op het Proefstation voor de Groenteteelt. De led-interlights van Signify (GreenPower LED interlight DR/B Gen 3) werden in beide objecten gecombineerd met SON-T-topbelichting. De interlights hingen horizontaal in het gewas. De belichtingsduur van maximaal 18 uur per dag was de referentie, aangezien dit systeem het meest wordt toegepast in de praktijk. De verschillende lamptypes werden getest bij het ras Xandor (Axia Vegetable Seeds), geënt-getopt op DR 0141 TX (De Ruiters). De plantdatum was 24 oktober 2019, de proef werd beëindigd op 17 september 2020. De opbrengst, plantontwikkeling, plantkwaliteit, vruchtkwaliteit, lichtefficiëntie en energieverbruik werden met elkaar vergeleken.

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

Belichtingsevaluaties:

Dit onderzoek kan opgedeeld worden in drie grote delen.

- In eerste instantie werd het model voor lichtintegratie doorontwikkeld om de assimilatiebelichting op een efficiënte manier aan te sturen.
- Daarna werd met dit model een aantal bedrijfscases van tuinders doorgerekend. Op die manier kan nagegaan worden wat het resultaat op vlak van elektriciteitsverbruik en ontvangen lighthoeveelheid zou zijn als de tuinder volgens het opgestelde model te werk zou gaan.
- Ten slotte werd een synthese gemaakt van de bekomen resultaten. Dit werd opgebouwd tot een evaluatiemiddel waarin de tuinder interessante informatie kan terugvinden omtrent het gebruik en de sturing van de assimilatiebelichting.



4. Voornaamste resultaten over de 3 jaar

Sla:

We hebben aangetoond dat telen met 100% gesloten belichtingsdoek geen evidentie was. Het veroorzaakt veel vocht gerelateerde problemen, schimmels en glazigheid.

We hebben geen invloed van het glastype kunnen zien op het gewas, ook niet voor de kleur.

Kropsla kan geteeld worden onder led, met 10 % verrood en een ondernet. De vraag die open blijft is of 70µmol par led licht + 10 % extra verrood licht (77µmol licht) niet te veel is voor kropsla.

Lollo rossa groeit heel bleek als er verrood licht wordt toegevoegd aan het spectrum. Lollo rossa en kropsla hebben een ander spectrum nodig.

Komkommer:

2018-2019: Tijdens de eerste teeltronde die bij Botany werd uitgevoerd, werden duidelijk hogere producties gerealiseerd in de hybride situatie ten opzichte van de volledige LED situatie. Daarnaast viel op dat de gewasstand in de volledige LED afdeling niet optimaal was: blad bleef klein en stond sterk naar beneden gekruld. Tot slot viel op dat een meer frequente watergift nodig was in de hybride situatie ten opzichte van de volledige LED situatie, wat zou kunnen betekenen dat de wateropname beter verliep in de hybride situatie.

Op het Proefstation groeiden tijdens de eerste teeltronde de vruchten onder led het snelst uit, daarna viel de productie wat stil. Er werd al snel beslist om het full led compartiment warmer te stoken en om een tweede groeibuis naar de top van de plant te brengen. Dit was nodig doordat leds minder stralingswarmte geven, wat zorgde voor een gemis aan warmte bij de kop. Verder waren er ook verschillen in plantmorfologie. Zo werd een open, groei krachtiger gewas en een groter blad bekomen onder de HPS. Terwijl het gewas onder de led-belichting korter was, kortere internodiën had en het blad meer in paraplu-stand stond, alsof het gewas zijn vocht wou bijhouden. De vruchtkwaliteit was in beide afdelingen grotendeels hetzelfde, al was de vruchtkleur onder led een stuk beter. Uiteindelijk werden de hoogste producties gerealiseerd onder HPS-lampen. Het verschil werd vooral gemaakt wanneer het aandeel artificiële belichting het hoogst was. Deze proef leerde ons dat het reguliere 'tomatenrecept' niet zomaar gekopieerd mag worden naar komkommer. Ook kunnen we stellen dat belichting niet zomaar een extra parameter aan de teelt toevoegt, maar eigenlijk een volledig nieuwe teelt vormt.

2019-2020: Tijdens de tweede teelt werd duidelijk dat het toevoegen van een groter aandeel blauw licht aan het LED spectrum geen positief effect opleverde. De hypothese was dat de verdamping beter zou worden als meer blauw licht gegeven zou worden. Dit bleek echter niet het geval, aangezien de wateropname in deze behandeling het laagst was van alle overige behandelingen. Het toevoegen van een groter aandeel groen licht bleek echter wel positieve effecten te hebben: de opbrengst was beter dan de overige LED behandelingen en aan het einde van de teelt was de opbrengst vergelijkbaar met de opbrengst in de hybride afdeling (SON-T + LED Toplights). Tot slot werd in de tweede teeltronde aangetoond dat interlights, met het rood/blauwe spectrum (95% R, 5% B) geen meerwaarde bieden in komkommer: de productie bij de interlight behandeling bleef achter ten opzichte van de productie van de toplight behandeling. Dit effect was met name zichtbaar in de hybride situatie.

In het tweede projectjaar werd op het Proefstation nogmaals snel duidelijk dat het dieprode spectrum (95% R & 5% B) onvoldoende is om de HPS-lampen te vervangen als we eenzelfde lichtefficiëntie willen verkrijgen. Meer blauw voor zonsopgang verbeterde het resultaat in deze proef niet.



Toevoeging van verrood aan het ledspectrum heeft wel dat potentieel én kan de lichtefficiëntie zelfs opdrijven. Er werd bij een continue dosering een productieverhoging van 8 tot 14% in kilo's gerealiseerd ten opzichte van het dieprode spectrum, terwijl er net 13% minder PAR-licht werd gegeven. Bij de opzet van de proef werd ervoor gekozen om alle teeltbehandelingen op eenzelfde manier uit te voeren, waarbij HPS fungeerde als referentie. Hierdoor is in het object met continu verrood productie blijven liggen, waardoor het potentieel nog hoger ligt. Het verrood zorgde niet alleen voor een meerproductie maar ook voor interessante morfologische effecten: het blad was vlakker en stond horizontaler gepositioneerd, de plant was generatiever en uitte dit in een snellere bloei-inductie. Ook de vruchten groeiden sneller uit en waren zwaarder. Tot slot zorgde ook het hybride-belichtingssysteem voor een meerproductie ten opzichte van HPS.

2020-2021: In het derde projectjaar werd bij Botany onderzocht hoe een hybride-opstelling ($\frac{1}{3}$ HPS $\frac{2}{3}$ LED) vergelijkt met een volledige LED-opstelling qua opbrengst. Hiervoor werden de spectra's in beide opstellingen zo goed mogelijk gelijk gesteld. Vanuit de resultaten van het vorige proefjaar, werd ook hier gekozen voor een verhoogde toevoeging van het groene spectrum (73,5% rood, 10% blauw, 16,5% groen en 9% verrood). De resultaten toonden aan dat er geen significant verschil was tussen de opbrengst en het aantal geproduceerde komkommers in de hybride-opstelling en de Full-LED op. Wat wel opgemerkt kon worden is dat de planten onder de Full-LED opstelling meer (en betere) vegetatieve groei doormaakten, met nadruk op de bladafplitsing, lengtegroei, bladoppervlak en de lengte van de bladsteel. De planten in de hybride-opstelling werden dan weer gekenmerkt door een toegenomen aantal oksels en een licht toegenomen vruchtzetting. Deze morfologische verschillen bleken niet van invloed op de uiteindelijke uitkomst van de proef.

In het derde en laatste projectjaar werd op het Proefstation het effect van verrood bevestigd. Het verrood zorgde opnieuw voor interessante morfologische effecten: een groter blad dat meer horizontaal gepositioneerd stond, een langere blad- en vruchtsteel, een snellere bloei-inductie en een snellere vruchtuigroei. Deze effecten waren zichtbaar op beide rassen. Het effect van verrood is dus niet ras-afhankelijk, wel is het mogelijk dat een ras beter op verrood reageert dan een ander ras. Het spectrum met 12% verrood zorgde voor de beste producties, in kg/m² en aantal vruchten/m². Dit jaar deed ook het dieprode spectrum (95% R & 5% B) het zeer goed. De planten stonden op de beste locatie in de serre, waar het iets warmer is. Dit zou dan ook een verklaring kunnen zijn waarom het dieprode spectrum voor het eerst in drie jaar goed presteert. De producties onder het hybridebelichtingssysteem vielen tegen. Hierbij hebben we gemerkt dat de opstart van een belichte teelt enorm belangrijk is. Helaas kon het extra licht boven de planten niet worden omgezet in een meerproductie. Daarnaast was het merkwaardig dat slechts 4% led verrood ook dezelfde bovengenoemde verrood effecten teweegbracht op morfologisch vlak.



Tomaat:

PCH

Hogere productie en vruchtgewicht bij gebruik van led-interlight

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. 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. 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. 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).

Energiebesparing bij combinatie toplight-interlight, hoger elektriciteitsverbruik bij led-toplight

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. 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. 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.

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. 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. 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.

Tragere zetting en lager vruchtgewicht bij hybride belichting in de winter



In de winter (januari tot en met april) hebben de planten in de hybride belichtingssystemen 8% meer licht ontvangen dan de planten in het referentie systeem. Afhankelijk van de plantafstand en het type led lamp zetten ze dit om in een gelijke tot 13% hogere productie. Nochtans verloopt de zetting in de hybride belichtingssystemen net iets trager dan bij SON-T. Met compact leds verloopt de zetting het traagst. De planten in dit hybride systeem hebben in deze periode ongeveer 1 tros per stengel minder gezet. Ook het vruchtgewicht is in alle hybride systemen lager dan bij SON-T door de hogere stengeldichtheid. Het hoger aantal geoogste vruchten per m² dankzij de hogere stengeldichtheid kan echter de achterstand in zetting en het lagere vruchtgewicht (over)compenseren. De lineaire leds geven bij beide plantafstanden een net iets hogere productie dan de compact leds, hoewel het verschil klein is. Door nauwer te planten kunnen we de productie aanzienlijk verhogen in beide hybride systemen. Het gemiddeld vruchtgewicht is dan net iets hoger bij deze planten en de eerste zeven weken dat er geoogst werd, was de stengeldichtheid hier ook iets hoger. Toen waren de extra stengels nog niet in productie.

Hogere productie bij hybride belichting in de zomer

In de zomer (mei tot en met oktober) zien we het omgekeerde. Dan is er een klein productievoordeel (0,5 tot 1,2 kg/m²) bij beide plantafstanden voor de compact leds ten opzichte van de lineaire leds. Dit komt door het iets hogere vruchtgewicht bij de compact leds. De zetting verliep in beide belichtingssystemen immers gelijk in deze periode (maar wel iets trager dan in de referentie). Beide hybride systemen resulteren ook in deze periode in een hogere productie ten opzichte van de referentie dankzij de hogere stengeldichtheid. Nauwer planten geeft nog steeds een productievoordeel. De stengeldichtheid in de hybride systemen was gelijk in deze periode, maar het gemiddelde vruchtgewicht is ongeveer 6 g hoger door nauwer te planten. Over een heel teeltseizoen gezien hebben de planten in de hybride systemen 4% meer licht ontvangen dan in het referentie systeem. Door nauwer te planten wordt dit omgezet in een 10% hogere productie. Er is geen verschil meer in productie tussen de hybride systemen met lineaire en compact leds.

Lager elektriciteitsverbruik per kg tomaat, zowel bij lineaire als bij compact leds

Het elektriciteitsverbruik is in beide hybride systemen gelijk, aangezien de branduren hetzelfde zijn, net zoals het geïnstalleerd lichtniveau en de efficiëntie van de lampen. In de winter is het elektriciteitsverbruik in de hybride systemen wel net iets groter dan in het referentie systeem. Leds zijn weliswaar efficiënter dan SON-T lampen, maar het lichtniveau is hoger in de hybride systemen ten opzichte van het referentie systeem. Door de hogere productie is er in de hybride belichtingssystemen toch tot 9% minder elektriciteit nodig om 1 kg tomaten te produceren. Ook over een heel teeltseizoen gezien wordt er net iets meer elektriciteit verbruikt in de hybride systemen dan in het referentie systeem. Vanaf mei waren de SON-T lampen in de hybride systemen wel uit, maar de leds branden meer dan de SON-T lampen in het referentie systeem. Alle leds branden nog in de hybride systemen en schakelden pas uit bij een instraling van 500 W/m². In het referentie systeem daarentegen brandden slechts de helft van de lampen en deze werden al uitgeschakeld bij een instraling van 350 W/m². Hierdoor werd er in het voorjaar en de zomer bijna evenveel elektriciteit verbruikt door de leds in de hybride systemen als door de SON-T lampen in het referentie systeem. De hogere productie die met dit extra licht gerealiseerd wordt, zorgt er voor dat er ook over een heel teeltseizoen gezien 8% minder elektriciteit nodig is om 1 kg tomaten te produceren in de hybride systemen. Er is geen verschil tussen lineaire en compact leds.



PSKW

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 was de totale lichthoeveelheid tamelijk vergelijkbaar: namelijk 7300 mol/m² voor hybride en 7212 mol/m² voor SON-T. De productie en vruchtgewicht waren eveneens heel vergelijkbaar tussen de twee belichtingssystemen.

Door de helft van de SON-T-lampen te vervangen door led-belichting hadden we per kilogram geproduceerde tomaat wel 18% energie bespaard. Ook de plantontwikkeling verliep tamelijk vergelijkbaar. De planten onder de hybridebelichting hadden evenveel trossen aangelegd. De trossen waren iets compacter. De overige kwaliteitskenmerken waren 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 zagen we ook in de eerste proef. Gemiddeld lag het vruchtgewicht 3 gram hoger in vergelijking met SON-T, tijdens de winterperiode bedroeg het verschil 9 g en dit verkleinde doorheen het teeltseizoen. Kwalitatief waren er nagenoeg geen verschillen ten opzichte van SON-T.

In de herhaling van deze proef konden deze resultaten echter niet worden bevestigd. Het teeltseizoen is weliswaar nog niet beëindigd, maar een verhoging van het vruchtgewicht en de bijhorende productiewinst kon tot eind maart niet worden vastgesteld.

Belangrijke energiebesparing met full-led

De productie van full-led kwam in het teeltseizoen van 2019-2020 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 vruchtkwaliteit was 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.

Omdat de planten in het teeltseizoen 2020-2021 een lichte productieachterstand hebben onder full led, is de energiebesparing per kilogram tomaat hier kleiner. Toch kan er onder full led nog 25% energie worden bespaard per kilogram geoogste tomaat in vergelijking met SON-T.

Led-interlight: horizontaal versus verticaal

Niet alleen de oriëntatie van de interlights was verschillend, ook de lichtintensiteit en het lichtspectrum. Zo produceerden de verticale interlights 67% meer PAR-licht per m² dan de horizontale doordat er meer lampen per m² waren geïnstalleerd. Bovendien bevatte hun lichtspectrum 10% blauw

licht in plaats van 5% bij de horizontale interlights. Beide types van interlight werden gecombineerd met hybride toplight (SON-T en Signify GreenPower LED toplighting compact).

Doordat er meer verticale interlights waren opgehangen per m², was de lichtoutput per m² hoger. Hierdoor kregen deze planten 36% meer kunstlicht in vergelijking met de horizontale leds. Dat resulteerde in een verhoging van het energieverbruik per kilogram geproduceerde tomaat van 17%. Wanneer we ook het zonlicht meetellen dan hadden de planten met de verticale leds in totaal 8% meer licht ontvangen. Hiermee konden zij 6% meer tomaten produceren. Deze meerproductie zagen we voornamelijk in de winter en het voorjaar en was te danken aan een iets hoger vruchtgewicht maar ook aan een hoger aantal geogste vruchten per m².

De efficiëntie van omzetting van licht (mol) naar productie (g) was tamelijk vergelijkbaar. De planten onder de horizontale leds hadden 11,5 gram tomaat geproduceerd per mol ontvangen licht. Voor de verticale leds was dit 11,3 g/mol. De plantontwikkeling was vergelijkbaar tussen de twee types interlight.

Continu led-interlight houdt vruchtgewicht op peil

Eerder onderzoek met SON-T-topbelichting toonde aan dat langdurig belichten plantstress veroorzaakt bij tomatenplanten. Dit leidde al na drie weken tot bladrand, bladchlorose, bleekgroene groeipunten, een zwakke kop en kleiner blad. De vraag was of dit probleem zich ook stelt bij gebruik van led-interlights. Daarom werd een kleine oriënterende proef opgezet waarin we de belichting met led-interlights geleidelijk aan opvoerden tot 24 uur per dag. Dat bleek perfect te lukken. Deze proef bevestigde alvast dat continue belichting met led-interlight niet schadelijk is voor de planten.

Door de led-interlights continu te laten branden werd er 51% meer kunstlicht gegeven aan de planten in vergelijking met de referentie. Hierdoor steeg het energieverbruik per kilogram tomaat met 22%. De totale lichthoeveelheid (kunstlicht én zonlicht) lag 11% hoger, wat resulteerde in een meerproductie van 5% of 4,6 kg/m². Deze meerproductie werd pas gerealiseerd na de winterperiode wanneer het verschil in branduren tussen de twee objecten groter werd.

De efficiëntie voor omzetting van licht (mol) naar productie (g) bedroeg 11,3 g/mol voor de referentie en 10,7 g/mol voor de continue belichting. Dat wil zeggen dat de referentie efficiënter omging met het toegediende licht dan de planten in het object met continue interlight-belichting.

Door het donkere weer in januari en februari was er dit jaar een tekort aan licht, wat met enige vertraging resulteerde in een lager vruchtgewicht dan verwacht wanneer de tomaten volledig waren uitgegroeid en rijp voor oogst. Dat verklaart waarom het vruchtgewicht van de referentie sterk terugviel in maart. Een gelijkaardige evolutie zagen we bij de continue interlight-belichting, alleen was de daling hier kleiner omdat er bij dit object meer branduren werden gemaakt met de led-interlights en de planten dus meer licht kregen.

Door het zeer zonnige voorjaar werden de led-interlights in de referentie van half mei tot half juni volledig uitgeschakeld. Dat had een negatieve impact op het vruchtgewicht. Op 10 juni werden de interlights opnieuw aangeschakeld tijdens de ochtenduren, waardoor het vruchtgewicht vanaf eind juli terug toenam. Bij de continue interlight-belichting zagen we het vruchtgewicht vanaf mei beduidend toenemen.

Door de interlights continu te laten branden kon het vruchtgewicht dus wel op peil worden gehouden. De vraag is echter of het hiervoor nodig is om continu te belichten. Misschien is het mogelijk om met



minder branduren hetzelfde resultaat te behalen. Waar deze lichtdrempel ligt in verhouding tot de stengeldichtheid moet verder worden onderzocht.



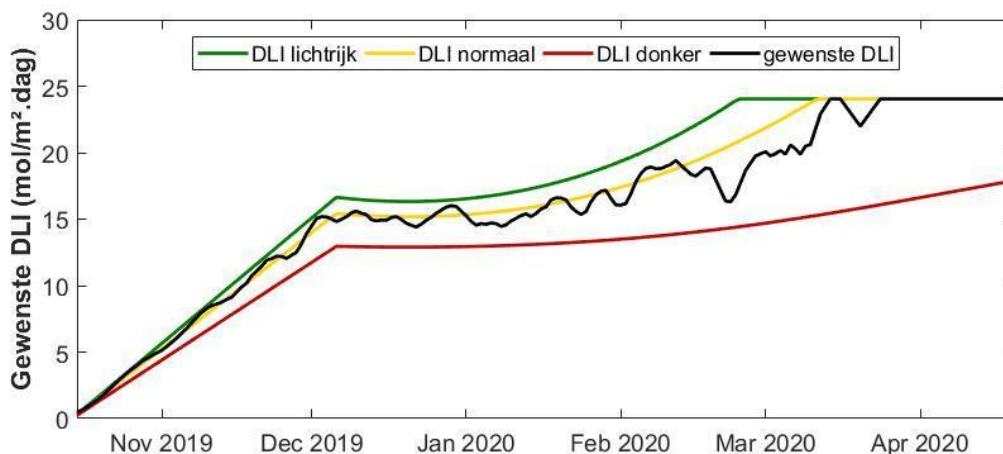


Belichtingsevaluaties:

Een model werd verder doorontwikkeld. In dit model wordt rekening gehouden met:

- De technische installatie van de serre. Hierbij wordt er zowel rekening gehouden met eigenschappen van de geïnstalleerde belichting als met eigenschappen van de serre
- Het moment van het jaar. Zo is er in de wintermaanden veel minder licht beschikbaar dan in het voor- of najaar. Hier wordt dan ook rekening mee gehouden in het model
- De weersomstandigheden in de dagen voor en na de dag van belichten. Als het een donkere periode is zal de gewenste DLI lager liggen dan wanneer het een lichtrijke periode is. Dan is de gewenste DLI hoger om zo efficiënt mogelijk om te springen met de beschikbare lichthoeveelheid en de productie naargelang te verhogen.
- De teelt. Afhankelijk van het groeistadium van de plant heeft deze meer of minder licht nodig. Wanneer de plant opgeplant wordt is deze klein en heeft deze nog niet veel licht nodig. Naargelang deze groeit is er meer licht nodig, zowel voor onderhoud van de plant als voor productie. Deze stijging vindt plaats tot men een volwassen gewas heeft.

Met dit model komen we uit op een gewenste DLI die het verloop volgt zoals weergegeven in onderstaande figuur.



Uit de analyse bij verschillende telers bleek dat:

- De mogelijke energie-besparingen het grootste zijn tijdens de opbouw-fase of tijdens lichtrijke periodes
- Wanneer men de gewenste DLI (berekend met het model) zo kort mogelijk wil benaderen komt men uit op een gemiddelde energiebesparing van 6.9% bij een afname van de ontvangen lichthoeveelheid van 3.1%.
- Wanneer men bovenop het bovenstaande model extra rekening gaat houden met de ontvangen hoeveelheden licht van de voorbije 2 dagen in vergelijking met de gewenste DLI, blijkt dat er een gemiddelde energiebesparing van 6.3% mogelijk bij een lichtafname van gemiddeld slechts



2.9%. In vergelijking met het bovenstaande model is dit dus iets lager, maar zal de variatie tussen opeenvolgende dagen wel kleiner zijn.

5. Samenvattende conclusie

Sla:

Telen met een belichtingsdoek is niet makkelijk, het glastype heeft geen merkbare invloed op het gewas, verrood heeft een negatieve invloed op de kleur van rode slatypes en kropsla kan onder led geteeld worden met verrood en een ondernet.

Komkommer:

In een belichte komkommerteelt hogedraad blijkt het 'tomatenrecept' van 95% rood en 5% blauw onvoldoende te zijn om een waardig alternatief te vormen voor HPS, vooral in de winter. In die periode loopt het spectrum vast op vruchtzetting en -uitgroei, waardoor in vergelijking met HPS geen meeropbrengst gerealiseerd kan worden, berekend in lichtefficiëntie. Toevoeging van verrood aan het ledspectrum heeft wel dat potentieel én kan de lichtefficiëntie zelfs opdrijven.

Ook het hybridebelichtingssysteem kan mooie resultaten voorleggen, alleen lopen we momenteel nog vast bij hogere lichtintensiteiten.

Tot slot kunnen we stellen dat belichting niet zomaar een extra parameter aan de teelt toevoegt, maar eigenlijk een volledig nieuwe teelt vormt. Hierbij zal rekening moeten gehouden worden met een andere klimaatsturing en het zoeken naar een goede plantbalans.

Tomaat:

Het is perfect mogelijk om tomaten te telen met een geïnstalleerd lichtniveau tot 385 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ led licht. De productie zal nog steeds hoger zijn dan wanneer je een lager lichtniveau zou installeren, maar de geproduceerde tomaten worden wel duurder. De 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 de lampen zal je dus de afweging moeten maken tussen de gewenste maximale productie en je investeringsvermogen.

De teeltresultaten onder een hybride belichtingssysteem zijn gelijkaardig als onder SON-T. Wel wordt er per kilogram geproduceerde tomaat 18% energie bespaard.

Door met hybride belichting het lichtniveau te verhogen, kan er een hogere productie behaald worden op eenzelfde oppervlakte. In combinatie met de juiste teelttechniek (verschillende stengeldichtheid, plantafstand...) kan bovendien de lichtefficiëntie verhoogd worden. Zo kan er met 4% meer licht (hybride) 10% meer productie gerealiseerd worden. De stengeldichtheid verhogen heeft wel een negatief effect op het vruchtgewicht. Interlight led kan dit (deels) opvangen, maar toplight led minder. Het is dus een afweging tussen meer productie door meer tomaten te oogsten met een iets lager vruchtgewicht, en net iets minder productie door minder tomaten te oogsten met een hoger (normaal) vruchtgewicht.

In de winter lijken de lineaire leds in het voordeel ten opzichte van compact leds, maar in de zomer is dit omgekeerd. Over een heel teeltseizoen gezien is er dus geen verschil in productie tussen beide types led lampen. Het verschil in lichtverdeling (zowel horizontaal als verticaal) lijkt in een hybride belichtingssysteem minder belangrijk dan bij full-led. Ook de kwaliteit van de vruchten en het elektriciteitsverbruik is gelijk voor beide types led lampen.

Overschakelen naar full led met verrood zorgt voor een energiebesparing van 37% en levert in het voorjaar en de zomer een mooie meerproductie op.



Het verticale led-interlight, dat werd getest, verbruikt meer energie doordat er meer lampen per m² hangen. Daar staat wel een hogere tomatenproductie tegenover: 8% meer licht resulteert in een meeropbrengst van 6%. De efficiëntie voor omzetting van licht naar productie is vergelijkbaar met de horizontale leds.

De klok rond belichten met led-interlights is niet schadelijk voor tomatenplanten. In de winter is het verschil in aantal branduren met de referentie, waar de leds maximaal 18 uur per dag branden, te klein om een verschil in productie te maken. Door meer te belichten hou je wel het vruchtgewicht op peil. We slagen er in om de productie in het voorjaar en de zomer te verhogen, weliswaar aan een lagere efficiëntie voor omzetting van licht naar productie. Misschien kunnen we met minder branduren hetzelfde resultaat bereiken.

Belichtingsevaluaties:

Het gebruik van lichtintegratie als sturing van de assimilatiebelichting werd in dit project onderzocht. Het doel van lichtintegratie is om een goede, kwalitatieve productie te hebben, en dit door rekening te houden met 1) de plantbalans en 2) het elektriciteitsverbruik. Uit de analyse volgt dat er met het gebruik van een sturing met behulp van lichtintegratie energie bespaard kan worden. Het gebruik van een sturing naar een gewenst DLI-niveau kan een elektriciteitsbesparing opleveren van gemiddeld 6.9 %. Er moet wel de kanttekening gemaakt worden dat er, door minder te belichten, op die manier ook minder licht aan het gewas gegeven wordt (-3.1 %). Wanneer het effect van de voorbije 2 dagen hierbovenop nog wordt meegenomen in de analyse is de energiebesparing iets kleiner over de volledige periode bekeken. De schokken in ontvangen lichthoeveelheid zijn echter kleiner. In het begin van de teelt kan hier een aanzienlijke energiebesparing bekomen worden, zelfs in vergelijking met een sturing die enkel een gewenst DLI-niveau probeert te volgen. Opgemerkt moet hier worden dat we hier spreken over simulaties, waarbij er vanuit gegaan wordt dat de voorspellingen perfect zijn. Dit is in praktijksituaties niet het geval.

