



Eindverslag LED Proeven TTO 2010-2011

- Focus op energie -

Peekstok T., Duyvesteijn R., Persoon S., Sanders J., de Jong A

Juli 2011

Contactpersoon:

Stefan Persoon

Inno-Agro

stefan@inno-agro.nl

+ 316 47366020

Financierders:

Samenvatting

Sinds 2008 voert TTO onderzoek uit naar LED belichting in de glastuinbouw. Uit deze onderzoeken, gefinancierd door 'de Kas als Energiebron' en TTO is gebleken dat bij het opgaande groentegewas tomaat de ontwikkelingssnelheid achterblijft indien 'de kop' van de plant niet aanvullend verwarmd wordt. In de LED proeven 2010-2011 werd daarom gefocussed op de volgende hoofddoelstelling:

"Bepalen hoe warmte efficiënt kan worden ingebracht bij een tomatenteelt, geteeld onder LED belichting, met een minimaal gelijke productie als traditionele belichtingssystemen." Een belangrijke onderzoeksvraag hierbij was om te bepalen welke minimale hoeveelheid warmte nodig is en of deze warmte middels convectie- en/of stralingswarmte kan worden ingebracht.

Deze doelstelling heeft het LED Team TTO beantwoord door onderzoek te doen in drie afzonderlijk stuurbare afdelingen van 110 m²:

1. 'Traditioneel' SON-T
2. Water gekoelde LED rood (95%) en blauw (5%) met stralingswarmte middels infrarood verwarming
3. Water gekoelde LED rood (95%) en blauw (5%) met convectieve verwarmte middels een groeibuis 28mm nabij het groeipunt i.s.m. een luchtbehandelings kast (LBK)

In drie stappen is een energiebesparingsstrategie ingezet door de hoeveelheid energie terug te toeren (na 12 weken en na 17 weken vanaf de start). Gesteld kan worden dat het klimaat in de LED afdelingen sterk afweek ten opzichte van de referentie afdeling met SON-T. Dit werd enerzijds veroorzaakt door de interactie tussen energiebesparing en het klimaat en anderzijds door de wijze waarop de energie werd ingebracht.

Infrarode belichting verwarmt het gewas op een *directe* wijze en een groeibuis op een *indirecte* wijze.

Een risico van LED belichting kan zijn dat te ver teruggedaan wordt met energie inbreng; dit verhoogt de kans op een lagere bladkwaliteit en vergroot de kans op ziekten en plagen. De gewassen in de LED afdeling strekten minder, hadden sneller last van bladranden (necrose aan de bladranden) en bladeren toonden "getrokken". Het gebruik van een LBK voor laagwaardige (rest)warmte benutting is lastig, met name de warmte verdeling in de kas. De toepassing van luchtgekoelde LED's ter plaatse van het groeipunt is niet nader onderzocht.

Verscheidene scenario analyses zijn uitgevoerd waarin is gerekend met een warmtepomp welke de restwarmte van de LED opwaardeert met een COP (efficiëntie) van 4. Doorgerekend is het scenario dat de LED installatie 30% efficiënter wordt en dat de geproduceerde warmte door de LED installatie in de kas benut kan worden, waarbij deze dan niet meer hoeft te worden ingebracht met de buisverwarming. Hieruit zou geconcludeerd kunnen worden dat met dit scenario de totale energie behoefte gelijk is aan dat van een SON-T systeem, mits een gelijke groei en ontwikkeling wordt nagestreefd. De verhoudingen tussen elektrische energie en buisverwarming veranderen echter : SON-T: elektrisch: 52%, verwarming 48%; LED: elektrisch: 40%, verwarming 60%.

Infrarode straling leek het meest eenvoudige middel om het bovenste gedeelte van het gewas te verwarmen; de sturing is snel en het bladoppervlak wordt *direct* verwarmd en niet indirect zoals bij convectiewarmte. In het onderzoek heeft de focus gelegen op het

zo ver mogelijk terugbrengen van het aandeel infrarode verwarming. Dit uit het oogpunt van een minimale inzet van elektrisch energie (SON-T of infraroodstralers).

Door de begeleidingscommissie en onderzoekers werd, op basis van gewasmetingen en visuele waarnemingen, geconcludeerd dat 25 W/m² stralingswarmte op de kop van het gewas nodig is om bij watergekoelde LED's een gelijke groei en ontwikkeling te verkrijgen als bij SON-T. Hierbij dient in aanmerking te worden genomen dat het een vrij koude winter was met veel vorstdagen.

In de LED afdelingen is gemiddeld 7% minder geproduceerd. Dit verschil werd voornamelijk veroorzaakt door zwaardere vruchten in de SON-T afdeling ten opzichte van de LED afdelingen. Het verminderde vruchtgewicht wordt veroorzaakt door een combinatie van factoren. Zo was in beide LED afdelingen de LAI lager dan in de SON-T afdeling en was er sprake van een veranderende verhouding tussen blad en vrucht. Onder de begeleidende kwekers en onderzoekers was sterk de indruk dat de negatieve productie mede veroorzaakt werd door het spectrum. Het monochromatische spectrum van slechts rode en blauwe LED's heeft indirect bijgedragen aan een lagere productie door een lagere bladkwaliteit (gevoeliger voor necrose aan de bladranden in combinatie met "getrokken" blad) en direct door een mogelijk verstoorde assimilatenverwerking en -distributie. Ten slotte zal een klein deel van de lagere productie veroorzaakt zijn door onbekendheid met de nieuwe lichtbron en de juiste teeltwijze hierbij.

Na afloop van het onderzoek hebben betrokken kwekers en onderzoekers de voorkeur uitgesproken naar het optimaliseren van het spectrum teneinde de hier boven genoemde negatieve effecten teniet te doen. Hierbij is het (deels) toepassen van LED belichting geen doel op zich maar wel hoogstwaarschijnlijk, gezien de beoogde efficiency verbeteringen van LED.

Inhoud

Samenvatting.....	2
Introductie	6
Financiering.....	6
Leeswijzer	6
1. LED	7
1.1 TTO & LED	7
1.2 LED team TTO.....	8
2. Basis van het onderzoek 2010-2011.....	9
2.1 2008 - Eerste LED proeven in praktijkgelijke kasafdelingen	9
2.2 2009 Licht kleuren & Groeipunt verwarming	10
3. 2010 - Doelstellingen TTO LED	13
3.1 Inleiding.....	13
3.2 Proefopzet.....	13
3.2.1 Metingen.....	14
3.2.2 Onderzoeksafdelingen en technische specificaties	14
3.2.3 Belichtingsinstallatie	15
3.2.4 Infrarode verwarming	15
4. Onderbouwing proefopzet.....	17
4.1 Infrarood verwarming.....	17
4.2 Lage energie kosten per eenheid product.....	17
4.3 Lokaal verwarmen	17
4.4 100% LED (geen hybride belichting)	18
4.5 Geen gecontroleerde buitenlucht bijmenging	18
5. Teeltstrategie.....	19
5.1 Inleiding.....	19
5.2 Energie.....	19
5.3 Veranderingen in kasklimaat regime	19
5.4 Gevolgde strategie per afdeling	20
6. Verloop van de proef	21
6.1 Samenvatting wekelijkse teeltverslagen	23
7. Energie	25
7.1 Inleiding.....	25
7.2 Energie Scenario's.....	25
7.2.1 LED wordt 30 % efficiënter.	25
7.2.2 Alle LED warmte wordt lokaal ingebracht en compenseert de benodigde buiswarmte 1 op 1	25
7.2.3 De LED installatie is 30% efficiënter en alle LED warmte wordt lokaal ingebracht en compenseert de benodigde buiswarmte 1 op 1	25
7.3 Energie discussie	26
8. Klimaat metingen.....	28
8.1 Temperatuur & luchtvochtigheids metingen	28
8.2 Schermen	28

8.3	Klimaat discussie	28
9.	Gewasmetingen	30
9.1	Lengte groei	30
9.2	Oogstcijfers blad en dieven	30
9.3	Vruchtgewicht	30
9.4	Zetting	30
9.5	Bladontwikkeling.....	30
9.6	Vruchtanalyses	31
9.7	Productiecijfers	31
9.8	Gewasmetingen en productiecijfers discussie	32

Introductie

Dit eindverslag is geschreven voor geïnteresseerden in de toepassing van LED belichting in de glastuinbouw, met nadruk op hoogopgaande groentegewassen. In dit verslag wordt het onderzoek met LED belichting in tomaat van telersvereniging 'Tuinbouw Techniek Ontwikkeling' (TTO) uiteengezet. Dit project heeft plaatsgevonden vanaf oktober 2010 tot mei 2011 in de Demokwekerij Westland. Hiernaast worden de proeven met LED belichting, welke uitgevoerd zijn door TTO in 2008 en 2009, kort samengevat.

Financiering

Het LED onderzoek 2010-2011 is voor 80 % gefinancierd door het programma 'de kas als energiebron' van PT en EL&I en voor 20% door TTO zelf.

Leeswijzer

Het verslag omschrijft eerst TTO en het TTO-LED team 2010, waarna de geschiedenis van de LED proeven, waarmee in 2008 werd aangevangen, wordt samengevat. Vervolgens worden de gedachtengangen uiteengezet waarop de LED experimenten van 2010-2011 waren gebaseerd. Hierna volgt een omschrijving van het proefverloop met de gerealiseerde uitkomsten. Afsluitend aan ieder hoofdstuk met resultaten volgt een discussie.

Om voor een ieder de leesbaarheid hoog te houden zijn figuren en tabellen gescheiden van het tekstuele gedeelte en in aparte bijlagen weergegeven. Aangeraden wordt om beiden naast elkaar te houden wanneer het verslag gelezen wordt zodat de tekst gelezen kan worden met de figuur/tabel ernaast.

1. *LED belichting*

De ontwikkelingen in verlichting blijven zich aandoen. Na een succesvolle introductie van spaarlampen in de consumentenmarkt werd LED (Light Emitting Diode) tijdens de introductie in 2008 gezien als een potentiële nieuwe vorm van belichting voor tuinbouwgewassen welke voordelen met zich mee kan brengen. De voordelen voor de tuinbouw kunnen zijn: een potentieel laag energieverbruik, een lange levensduur en de mogelijkheid om de warmte van het armatuur af te voeren.

SON-T belichting is een gangbare vorm van belichting in de tuinbouw waarbij een hoge druk natriumlamp toegepast wordt. Telers weten hoe zij om moeten gaan met de beperkingen van deze lichtbron en weten tot op heden de lichtbron op een economisch verantwoorde manier in te zetten, getuige de groei van belichte teelten in de laatste 25 jaar. SON-T als lichtbron is ver ontwikkeld en er zijn weinig verbeteringen meer te verwachten om de energie efficiency, uitgedrukt in $\mu\text{mol PAR per Watt}$, te optimaliseren. In de loop der jaren zijn er een aantal alternatieven voor SON-T belichting bekeken zoals TL-belichting en de toepassing van HD-kwik lampen (gecombineerd met HD-natrium). Beide bleken echter niet efficiënt genoeg om te kunnen worden toegepast in de moderne glastuinbouw. Een potentiële opvolger van SON-T zou LED belichting kunnen zijn eventueel gecombineerd met andere lichtbronnen (waaronder SON-T).

SON-T vs. LED

- Ongeveer 30-35 % van de uitgestraalde energie van een SON-T lamp bevindt zich in het spectrum tot 780 nm (zichtbaar licht).
- Ongeveer 65-70 % van de energie van een SON-T armatuur wordt niet omgezet in licht maar uitgestraald in de vorm van infrarood licht en convectiewarmte (incl. voorschakelapparatuur).
- Volgens toeleveranciers wordt van een SON-T armatuur 50-55% van de elektrische energie omgezet in infrarode stralingswarmte.
- Van rode LED's (660nm) wordt circa 35 % van de uitgestraalde energie omgezet in zichtbaar licht en het restant vrijwel volledig in convectiewarmte, een LED kent vrijwel geen stralingswarmte.

1.1 *TTO & LED*

Telersvereniging TTO is een groep vooruitstrevende telers welke hun krachten bundelen om gezamenlijk innovaties op te pakken (bijlage 8 : Factsheet TTO). Eén van de onderzoekspeilers is LED-belichting, welke in 2008 geïntroduceerd werd in de glastuinbouw en hiermee ook in de onderzoeken van TTO (uitgebreide omschrijvingen in hoofdstuk 2). Hierbij was het uitgangspunt: de betere energie efficiency uitgedrukt in $\mu\text{mol PAR per watt}$ en de gedachte dat er bespaard kon worden door alleen de golflengtes toe te dienen waarmee het gewas de maximale fotosynthese kon behalen (rood licht).

Het onderzoek van TNO samen met TTO in het seizoen 2008-2009 was hier eveneens op gestoeld. Eén van de belangrijkste conclusies van dit onderzoek was dat tomaten geteeld onder LED-licht ten opzichte van SON-T belichting iets 'te kort' kwamen. De sterkste indicatie was dat het gewas onder LED een gemis had aan (stralings-) warmte. Het gewas toonde immers een vertraagde ontwikkeling van plantdelen (blad/vrucht aanmaak). Daarnaast ontstond aan het einde van het jaar de indruk dat het monochromatische spectrum van rood (660nm) en blauw (450nm) een oorzaak was van de verminderde productie.

Hiertoe is door TTO in 2009 een onderzoek opgezet waarbij in twee aparte afdelingen zowel infrarood straling als andere delen van het spectra (groen en geel) werden toegevoegd om hiervan de effecten te onderzoeken. Hieruit kwam de waarde van temperatuur beheersing (van met name het groeipunt) naar voren. De effecten van andere kleuren licht kwamen met name naar voren in de plantbalans, in termen generatief en vegetatief (groen en geel resulteerden in een meer vegetatieve inslag van het gewas).

Na afloop van het onderzoek is besloten om in het teeltseizoen 2010-2011 de focus meer te leggen op het energievraagstuk. Dit om meer duidelijkheid te creëren omtrent het vraagstuk of het in de toekomst mogelijke is energie te besparen met LED belichting.

1.2 LED team TTO

Telersvereniging TTO streeft 'bottom up' innovatie na en doet dit door projecten van derden te faciliteren of zelf projecten op te pakken. De projecten welke zelf worden opgepakt worden veelal uitgevoerd door derden, welke via de projectleider verantwoording afleggen aan twee bestuursleden van TTO. In dit geval waren dit Tom Zwinkels en Arnold Groenewegen.

Hieronder worden de personen beschreven die het LED TeamTTO 2010-2011 vormden:

Projectleiding

- Ing S. Persoon Inno-Agro
Inno-Agro is gespecialiseerd in technische innovatieprojecten in de glastuinbouw. Stefan Persoon van Inno-Agro was projectleider van het onderzoek, verantwoordelijk voor de techniek en eindverantwoordelijk voor het onderzoek. Stefan bracht verantwoording af aan TTO.

Gewasonderzoeker

- Ing. J. Sanders Proeftuin Zwaagdijk
Proeftuin Zwaagdijk is een onderzoekscentrum voor praktijkgericht onderzoek met locaties in Zwaagdijk en het Westland. Jeroen Sanders van locatie Westland was verantwoordelijk voor de plantmetingen en de experimentele metingen in de proef. Hiernaast was Dhr. Sanders verantwoordelijk voor het ziekten- en plaagbeleid welke was gebaseerd op een zero tolerance beleid.

Teelt en organisatie

- A. de Jong Demokwekerij Westland
Demokwekerij Westland faciliteert technische innovatie in de glastuinbouw. Het onderzoek heeft plaatsgevonden in de Demokwekerij. Ary de Jong heeft zorggedragen voor de teelt en het klimaat.

Plantfysiologische ondersteuning:

- Ir. T. Peekstok TICE
- R. Duyvensteijn Natural Power Research
Thijs Peekstok en Ronald Duyvensteijn hebben elke hun eigen adviesbureau en werken samen op het vlak van teeltkundig advies aan binnen- en buitenlandse kwekers. In het onderzoek droegen dhr Peekstok en dhr. Duyvensteijn de verantwoordelijkheid voor de plantfysiologische verklaringen binnen het onderzoek.

Teelt begeleiding

- Hans Zwinkels H.G.L. Zwinkels (Greenlight/Greenbalance)
- Vincent van der Lans LANS
- Jan Mulder Jan Mulder consultancy
Dhr. Zwinkels, dhr. Van der Lans en dhr. Mulder verzorgden de praktische teeltbegeleiding. Alle kwekers hebben geruime ervaring met de belichte tomatenteelt. De heren Lans en Zwinkels hebben de voorgaande onderzoeken eveneens begeleid.

2. Basis van het onderzoek 2010-2011

In het kort zal in dit hoofdstuk ingegaan worden op de ervaringen en voortvloeiende aanbevelingen uit voorgaande onderzoeken uitgevoerd door TTO.

2.1 2008 - Eerste LED proeven in praktijkelijke kasafdelingen

Opzet

Na een jaar van fundamenteel onderzoek door Fytagoras in kleine klimaatcellen is begin 2008 door het Fieldlab (TNO/DLV) de conclusie getrokken dat het nog niet wenselijk was om in het teeltseizoen '08-'09 op praktijkbedrijven onderzoek te doen. Er werd gekozen om verschillende behandelingen met elkaar te vergelijken in kleine kasafdelingen welke compleet separaat stuurbaar waren. Hierin werden zowel tomaat als paprika geteeld onder rode en blauwe LED belichting. In Nederland waren tot dan toe geen vergelijkbare onderzoeken uitgevoerd.

Resultaten

In de LED-proef van 2008 van TNO op de Demokwekerij Westland werd een productieverlies van 20% gemeten over het gehele belichte teeltseizoen ten opzichte van SON-T. Hoofdvragen die uit deze proeven naar voren kwamen concentreerden zich voornamelijk op het ontbrekende deel van het spectrum dat in natuurlijk licht en SON-T verlichting wel aanwezig is en bij LED belichting weggelaten werd; te weten het zichtbare spectrum tussen 500 en 600 nm (geel+groen) en het infra rode gedeelte >780 nm (stralingswarmte). Uit het onderzoek kwamen de volgende conclusies naar voren (uitgebreidere omschrijvingen zijn op te vragen zijn bij TNO):

- Het effect van blauw licht op de stomataire geleidbaarheid ; verschil van max. 20% verdamping tussen 2 verschillende blauwlicht-behandelingen.
- Hoogstwaarschijnlijk werd de benutting van assimilaten verstoord bij LED licht tov SON-T; deze hypothese vloeit voort uit waarnemingen dat assimilaten niet omgezet werden in vruchten, ondanks een lage plantbelasting.
- Waarschijnlijk zorgde de afwezigheid van warmtestraling bij LED op het blad/groeipunt voor stagnatie van groei en ontwikkeling bovenin het gewas (dit werd hoogstwaarschijnlijk versterkt door de strenge winter) na inzet van IR stralers vond verbetering plaats → de kop van de plant begon meer groei te vertonen.
- De totale productie van LED was 20% lager dan de productie onder HD natrium en het aantal gezette trossen was 12% lager.

2.2 2009 *Licht kleuren & Groeipunt verwarming*

De ervaringen van het voorgaande onderzoek (2008/2009; zie voorgaande paragraaf) toonden aan dat de plant weliswaar geteeld kan worden onder rood en blauw licht, maar dat er nog enkele aanvullingen nodig zijn in het spectrum (concluderend uit het vergelijk met SON-T). Daarnaast geldt hoogstwaarschijnlijk, dat de ontwikkelingssnelheid van de plant negatief beïnvloed wordt door het ontbreken van (stralings-)warmte. In 2009 werd door TTO in samenwerking met TNO daarom een praktijkgerichte proef opgezet om deze ontbrekende factor verder te onderzoeken.

Opzet

TNO en TTO hebben er in het onderzoek van 2009/2010 voor gekozen om de verschillen van LED ten opzichte van SON-T te isoleren en te onderzoeken. De geïdentificeerde verschillen tussen LED belichting en SON-T zijn:

- Aandeel infrarode straling (ontbreekt bij LED belichting).
- Lichtkleuren tussen 500-600 nm welke bij LED rood-blauw ontbreken tov het SON-T spectrum.

De hoofddoelstelling van het onderzoek was het analyseren van hoe het lichtspectrum en de inzet van stralingswarmte de groei en plantontwikkeling van een tomatengewas onder LED belichting beïnvloeden. Hiervoor werden drie afzonderlijk stuurbare kasafdelingen, gelijk aan praktijk omstandigheden, ingericht met als behandelingen:

1. LED rood, blauw (7% blauw) met infrarood verwarming.
2. LED rood, blauw, geel, groen (7% blauw, 17 % groen & geel) met infrarood verwarming.
3. Referentie afdeling: SON-T.

In alle afdelingen werd het ras Timotion van de Ruiters Seeds geteeld onder een belichtingssterkte van 145 $\mu\text{mol PAR}$. Voor beide LED afdelingen gold dat de intensiteit van de infraroodstralers gelijk was aan het aandeel infrarood in de SON-T afdeling: circa 55 Watt/m^2 . Er is bewust voor gekozen om niet de stralingswarmte in te zetten met een bron welke ook licht gaf in het PAR spectrum. Aan het begin van de proef is er voor gekozen om geen infrarood verwarming in te zetten tot een vertraging van de groei en ontwikkeling zou optreden om zo de resultaten van 2008/2009 te kunnen bevestigen.

Resultaten

Toen in de beide LED afdelingen een groei- en ontwikkelingsvertraging optrad ten opzichte van de referentie afdeling (SON-T), is de infrarood installatie ingeschakeld. Hierna waren de groei en ontwikkelingssnelheid gelijk tussen de drie afdelingen. In de LED afdelingen was de planttemperatuur, zonder infrarood inzet, beduidend lager (0,5 °C tot 2,5 °C) dan de ruimtetemperatuur. Nadat de warmtestralers waren ingeschakeld gingen de gewassen in de LED-afdelingen meer lijken op het gewas in de SON-T afdeling en was de planttemperatuur dichtbij de ruimte temperatuur gedurende belichting zoals bij SON-T zichtbaar was.

Opmerkelijk was dat planten in de LED-behandelingen veel sterker reageerden op overgangen van instraling dan het gewas in de SON-T afdeling. Vooral in relatief snelle overgangen van donker naar lichte dagen was het morfologisch effect op het LED gewas groter dan op het SON-T gewas:

1. In de LED afdeling met alleen rood en blauw licht speelde buitenlicht een grote rol in de stand van het gewas in termen van generatieve- en vegetatieve ontwikkeling. Na 2 donkere dagen was er sterke chlorose in het blad zichtbaar. Na één of meer dagen met zonnig weer trok dit weer bij. De plantbalans vertoonde grotere schommelingen waarbij het gewas bij dagen met minder buitenlicht de vruchten minder opvulde wat resulteerde in een daling in vruchtgewicht. Het gewas met alleen rood en blauw licht had een sterk generatieve inslag.
2. In de afdeling met de verschillende kleurtjes LED belichting was de bladgroei hoog (het gewas had een vegetatieve inslag). Het vruchtgewicht viel tegen (lager dan SON-T) terwijl de vruchten wel de juiste grote leken te hebben. Hierbij merkten telers op dat het leek alsof het gewas bij weinig buitenlicht gedrongen groeide (kortere bladeren, minder lengte groei, minder uitdikking van de stam en een donkerdere kleur van het gewas) en na een periode buitenlicht veel vegetatieve ontwikkeling (groei/opzwellen van bladeren, lichtere kleur) vertoonde.

Met behulp van time-lapse films werd duidelijk dat het bewegen van planten anders verliep in de LED afdelingen tov de SON-T afdeling. Het bewegen van de planten is hierbij een maatstaf voor het openen en sluiten van de huidmondjes van de plant. In een behandeling waar rood licht overheerst komen de effecten, zoals het omhoog staan van bladeren in combinatie met beweging en de ontbrekende strekking in de voornacht, overeen met eerder verrichte onderzoeken. Het minder bewegen van het gewas wanneer infrarood wordt weggenomen is wellicht direct gelinkt aan de vertraagde groei en ontwikkeling zoals die het voorgaande jaar werd waargenomen. Wellicht is de hoeveelheid beweging gekoppeld aan de activiteit van groei en ontwikkeling.

Aan het einde van de gehele proefperiode lag het productiecijfer in de SON-T afdeling 11,4% hoger dan de productie in de LED afdeling met de kleuren rood en blauw. In vergelijking met de LED afdeling met alle kleuren lag de productie in de SON-T afdeling 12,2% hoger. Een deel van de lagere productie in de LED afdelingen zou kunnen worden toegeschreven aan het bewust laten optreden van een groei en ontwikkelingsvertraging aan het begin van de proef. Opmerkelijk was dat het productieverhaal voornamelijk gemaakt werd door zwaardere vruchten in de SON-T afdeling. Het verschil in productie tussen de beide LED-afdelingen was tot week 5, 2010 relatief laag.

Opmerkelijke zaken

Na deze periode nam de productie in de LED-afdeling met rood/blauwe kleuren toe t.o.v. van de LED-afdeling met alle kleuren. Het tomatengewas dat werd geteeld onder rood en blauw LED licht vertoonde een ander wateropnamepatroon dan het gewas onder rood, blauw, geel en groen licht. Twee maal werd met twee verschillende soortenmeetapparatuur gedurende een periode van vijf weken het watergehalte van het substraat geregistreerd. Het patroon dat opviel was dat het watergehalte gedurende de donkerperiode in de LED afdeling rood blauw rechtlijnig bleef zakken, terwijl deze in zowel de SON-T afdeling als in de LED afdeling rood, blauw, geel, groen een vermindering vertoonde naarmate de donkerperiode vorderde. Opmerkelijk was dat dit patroon op zonnige dagen het watergehalte in de substraten nagenoeg gelijke progressies vertoonden.

3. 2010 - Doelstellingen TTO LED

3.1 Inleiding

Op basis van de voorgaande proeven was er nog geen basis om LED belichting toe te passen in de praktijk. Buiten het feit dat nog niet eenzelfde productie als SON-T behaald werd, bleek het ook nodig om extra energie toe te voeren. Het LED team was van mening dat het doen van onderzoek naar het optimaliseren van het spectrum pas zin had wanneer er duidelijkheid was over de energie component. Namelijk: indien zou blijken dat bij de teelt van opgaande groentegewassen onder LED eenzelfde hoeveelheid infrarode energie toegevoegd zou moeten worden als bij SON-T, dan kan men vraagtekens zetten bij de haalbaarheid van deze 'koude' lichtbron.

Om deze reden werd het energievraagstuk benoemd als onderzoeksrichting, waarbij een minimale energie input en de systeem configuratie hoofdrollen speelden. Vanuit meerdere brainstorm sessies met betrokken partijen werd de volgende hoofddoelstelling van het TTO LED 2010 onderzoek geformuleerd:

“Bepalen hoe warmte efficient kan worden ingebracht bij een tomatenteelt dat geteeld wordt onder LED belichting met een minimaal gelijke productie als onder traditionele belichtingssystemen.”

Vanuit deze hoofddoelstelling werden onderzoeksvragen geformuleerd om zo tot een gedegen opbouw van de proef te komen:

- Is het mogelijk om met LED belichting een hogere productie te behalen dan SON-T belichting over de periode 1 oktober (planting) tot 1 mei (laatste oogst), indien er actief gestuurd wordt op gewastemperatuur?
Toelichting: Deze onderzoeksvraag was opgesteld met de gedachtengang dat door het gekozen spectrum (rood & blauw) de fotosynthese in theorie hoger zou moeten zijn in vergelijking met de SON-T verlichting (onderzoek van S. Hoogenwoning Wageningen UR 2007).
- Wat is de minimale IR input waarmee groei en ontwikkeling van het gewas op het gewenste niveau kunnen worden gehouden en wat is het teveel aan warmte dat een traditioneel hoge druk natrium belichtingssysteem inbrengt?
- In hoeverre kan de warmte, zoals deze door de LED wordt geproduceerd, nuttig worden ingezet in een kas, uitgerust met een LBK, traditionele buisrail verwarming en een lokale verwarmingbuis gedurende het traditionele belichtingseizoen?
- Hoe zijn de energie kosten van de drie systemen opgebouwd onder verschillende omstandigheden?

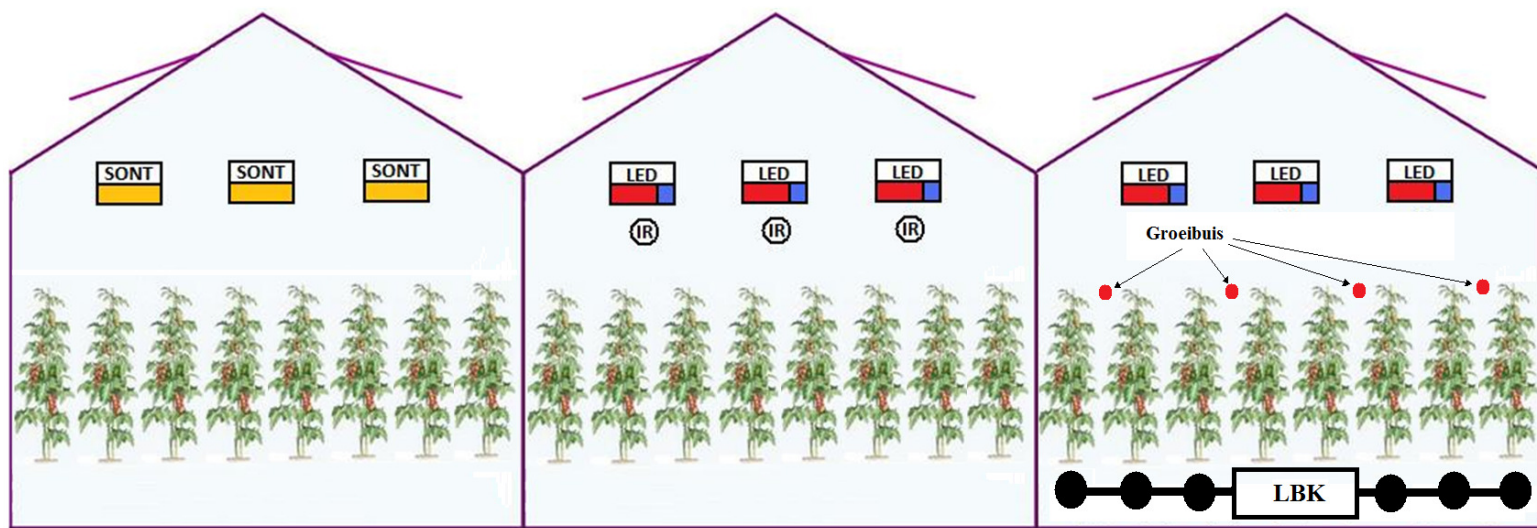
3.2 Proefopzet

De heldere onderzoeksvragen die het TTO LED team voor ogen had maakten het mogelijk de proeven gestructureerd op te bouwen. TTO achtte de tijd nog niet rijp om de proefnemingen op te schalen. Het team had daarom drie kas afdelingen van ieder 108 m² ter beschikking welke als volgt werden ingericht:

1. SON-T (Hoge druk natrium lampen);
 2. LED (watergekoeld) met infrarood;
 3. LED (watergekoeld) met een Groeibuis 28mm.
- (Zie afbeelding 1)

Strategie

Omdat de focus lag op energie, is besloten om twee maal de energie input te limiteren (na 12 weken en na 17 weken vanaf de start). Alle afdelingen waren uitgerust met een energiescherm, buisrailsysteem, nok ventilatie en CO₂ toediening. In dit hoofdstuk staan achtereenvolgens een uiteenzetting van de metingen, de overkoepelende teeltstrategie en de afzonderlijke teeltstrategieën voor de afzonderlijke afdelingen.



Afbeelding 1: een grafische weergave van de verschillende afdelingen vlnr: afdeling 1: 'Traditioneel' SON-T; Afdeling 2: LED met IR; Afdeling 3: LED met Groeibuis en LBK.

3.2.1 Metingen

Over de gehele proefduur (week 41 2010 tot en met week 15 2011) zijn er verscheidene metingen uitgevoerd op het vlak van klimaat, plantgroei, voeding en vochtopname. In bijlage 1 zijn deze metingen weergegeven. Alle metingen die aan het gewas plaatsvonden zijn uitgevoerd op 15 gemarkeerde planten, willekeurig verdeeld over de drie middelste teeltgoten. Ter plaatse van dit meetveld was de lichtverdeling en de absolute output van het licht gelijk, te weten 145 μmol . De buitenste plantrijen zijn in geen van de metingen meegenomen. De metingen zijn wekelijks in het TTO LED team besproken. Deze metingen hebben een belangrijke rol gespeeld in het doorvoeren en evalueren van eventuele aanpassingen in de teeltstrategie.

3.2.2 Onderzoeksafdelingen en technische specificaties

De proeven zijn uitgevoerd in de onderzoeksafdelingen 17, 18 en 19 van Demokwekerij Westland. In tabel 1 zijn de specificaties van de kasafdelingen weergegeven.

Tabel 1 : Specificaties onderzoeksafdeling

1	Kastype	Venlo
2	Tralie	8 m
3	Vakmaat	4,5 m
4	Oppervlakte	8 x 13,5 m = 108 m ² (incl pad 1,5 m)
5	Poothoogte	4,5 m
6	Luchting	2 ruits voorzien van insektengaas
7	Gootsysteem	5 goten (AG 200) in 8 m; hoogte 0,6 m
8	Watergift	druppelsysteem 2 L druppelaars
9	Substraat	steenwol 20 x 7 x 133 cm

3.2.3 Belichtingsinstallatie

Alle kasafdelingen waren voorzien van een belichtingsinstallatie waarin een lichtniveau van 145 μmol PAR werd aangehouden. Een PAR sensor meet het lichtbereik tussen de 400 en 700 nm. De LED afdelingen waren uitgerust met watergekoelde 110 Watt armaturen van Lemnis lighting. Het spectrum van de LED belichtingsinstallaties bestond uit 95 % rood licht (660nm) en 5 % blauw licht (450 nm). De SON-T afdeling was uitgerust met Hortilux 600 W HS remote armaturen. Verschillen in lichttransmissie door het type installatie zijn opgeheven door 5 cm brede plasticstroken in de afdeling met SON-T boven het gewas te hangen. Gedurende het onderzoek is de prestatie van de lichtinstallatie driemaal gemeten. De afwijkingen betroffen ten hoogste 3%.



3.2.4 Infrarode verwarming

De afdelingen waren uitgerust met een installatie welke straling op kan wekken in het infrarode deel van het spectrum. Het infrarode deel van het spectrum begint vanaf 780 nm en loopt tot aan 1 mio nm. Voorafgaande aan het teeltkundige onderzoek is veel aandacht besteed aan het juiste spectrum voor de plant. Uit onderzoek (Gates et al. , 1995) is bekend dat infrarode golflengte tussen de 780 en 2000 nm voor slechts 40-50% wordt geabsorbeerd. Naarmate de golflengte (te) groot is, is er steeds meer sprake van warmte die gemakkelijk omgezet wordt in convectieve warmte.

Uitgangspunt voorafgaande aan het teeltkundige onderzoek was om infrarode straling toe te dienen tussen de 2000 en circa 4000 nm. Dit heeft geresulteerd in het toepassen van een 'low glare' medium infrarood heater van Philips met een piek van 2500 nm. Een tweede uitgangspunt van de installatie was dat deze regelbaar diende te zijn. Een belangrijke onderzoeksvraag betrof immers welke hoeveelheid infrarood een gewas nodig heeft. Om deze reden is gekozen voor een regelbaar vermogen in 3 stappen,

waarbij het uitgangspunt was dat er nimmer meer infrarood dan een SON-T wordt gegeven. Het is bekend dat een SON-T lamp circa 50% van het opgenomen vermogen omzet in stralingswarmte. Zodoende was de infrarood installatie opgebouwd uit de volgende stappen: 22,5 / 34 / 45 Watt. Het verlagen van het vermogen werd bereikt door het verlagen van het voltage. Hierdoor schoof de maximum peak van het spectrum circa 1000 nm op, te weten van 2500 naar 3500 nm.

4. Onderbouwing proefopzet

In dit hoofdstuk wordt de onderbouwing gegeven van de genomen beslissingen die geresulteerd hebben in de uiteindelijke opzet van het TTO LED onderzoek 2010-2011.

4.1 *Infrarood verwarming*

Traditionele verlichtingssystemen leveren naast fotonen voor de fotosynthese grote hoeveelheden energie in de vorm van stralingswarmte. Ruwweg 50% van de ingebrachte warmte van een SON-T lamp is stralingswarmte. In eerste instantie dacht men dat door het achterwege blijven van deze stralingswarmte LED verlichting een groot voordeel had ten opzichte van de traditionele verlichting systemen. Meerdere onderzoeken hebben aangetoond dat in periodes waar de energie afvoer uit de kas dermate groot is dat de gewenste gewastemperatuur niet gehaald kan worden er ongewenste vertraging van de groei- en ontwikkeling optreedt. Door IR naast LED in te zetten verkrijgen we een traditionele verlichting installatie met het verschil dat '(PAR-) licht' en 'warmte' gescheiden worden. Op deze manier kan worden benaderd hoeveel warmte nodig is om een gewenst niveau van groei en ontwikkeling te handhaven. Hieruit kan ook benaderd worden hoeveel warmte teveel wordt ingebracht door traditionele verlichtingsystemen

4.2 *Lage energie kosten per eenheid product*

Lagere energiekosten moeten gepaard gaan met een vergroting van de winstgevendheid. Wanneer door energiekostenverlaging op andere punten wordt ingeleverd bijvoorbeeld een lagere productie of grotere kans op negatieve invloeden, dan is dit wellicht niet verstandig. Door de twee verschillende vormen van warmte compensatie in de LED proeven kon inzicht worden verkregen in hoeverre beiden opties mogelijkheden voor de toekomst bieden. Echter dient hierbij het onderscheid tussen energiekosten en het type energie input (gas/electriciteit) in het achterhoofd gehouden te worden. Verder kan gesteld worden dat wanneer de hoeveel extra toe te voeren energie groter is dan de energiebesparing van LED (voorzien 30% in 2013), de business case lastig gaat worden.

4.3 *Lokaal verwarmen*

'Telen in de kou' en 'gewasdelen verwarmen' zijn gestoeld op gedachten dat wanneer de gewasdelen de minimale streeftemperatuur hebben de temperatuur van de omgeving niet van invloed is. Enkele deskstudies met betrekking tot deze gedachtengang zijn uitgevoerd maar intensieve praktijkproeven zijn achterwege gebleven. De deskstudies die zijn uitgevoerd rekenen met gelijke waarden voor alle parameters zoals deze in metingen met traditionele systemen zijn geregistreerd. Het is echter niet waarschijnlijk dat parameters zoals luchtbeweging en luchtvochtigheid gelijke streefwaardes zullen hebben bij lokaal verwarmen. Immers: bij een hogere luchtvochtigheid wordt de verdamping beperkt waardoor minder snel energie wordt afgevoerd en door lagere luchtbeweging is de warmtestroming te verlagen. Deze voorbeelden, hogere luchtvochtigheid en een lagere luchtbeweging gaan in tegen het traditionele gedachtegoed in de glastuinbouw.

4.4 100% LED (*geen hybride belichting*)

Vanuit voorgaand onderzoek zijn vele vragen opgeroepen. Met nog steeds als hoofdvragen óf en hoe LED in te passen in de (tomaten) teelt. Pragmatisch gezien was het op het moment van de proef het meest zinvol om LED te combineren met SON-T. In de proef is hier bewust niet voor gekozen. De proef kan bestempeld worden als een onderzoek naar energie met een wetenschappelijke benadering.

Er is gekozen voor het toepassen van één enkele lichtbron vanwege de betrouwbaarheid van de resultaten en om oorzaak en gevolg beter aan elkaar te kunnen koppelen. Indien gekozen zou zijn om warmte in te brengen middels SON-T lampen zou de proefopzet verstoord zijn geweest. Het spectrum heeft namelijk ook invloed op de onderzoeksresultaten. Daarnaast kan de gift van warmte en licht niet losgekoppeld worden.

Voorafgaande was dus duidelijk dat de proef opgezet was om een onderzoeksvraag te beantwoorden, gericht op de mogelijke toepassing van LED op de lange termijn.

4.5 *Geen gecontroleerde buitenlucht bijmenging*

Het aantonen van energiebesparing middels buitenlucht bijmenging vormde geen onderdeel van de doelstellingen van deze proef. Door buitenlucht gecontroleerd bij te mengen kan een grote besparing op de energie behoefte worden gerealiseerd (Campen et al, 2009) en dit zal een goede aanvulling zijn bij LED belichting om vocht gecontroleerd af te voeren. Hierbij zou naar behoefte de restwarmte uit de LED's gebruikt kunnen worden om de buitenlucht te verwarmen. Een opzet met buitenlucht bijmenging zou echter de proefuitkomsten dermate verstoord hebben dat effecten niet aan afzonderlijke oorzaken verbonden kunnen worden. Als voorbeeld kunnen we hierbij het 'probleem' van relatief koudere vruchten ten opzichte van het groeipunt (zoals dit in vele (semi-) gesloten kassen wordt waargenomen) nemen. Praktisch zal buitenlucht bijmengen in de LED experimenten lastig worden (vanwege de ligging van de vakken) en veel verstoring kunnen geven binnen de uitwerking van de proef. Verder is het in kaart brengen van hoeveelheden bijgemengde lucht moeilijk.

5. *Teeltstrategie*

5.1 *Inleiding*

Voor aanvang van de proef is een teeltstrategie opgesteld (bijlage 8), waarin de mogelijkheden voor de BegeleidingsCommissie Onderzoek (BCO) zijn omschreven en welke acties genomen dienden te worden bij bepaalde metingen of waarnemingen. Tussen de afdelingen kunnen overeenkomsten worden benoemd met betrekking tot de gevolgde teeltstrategie. Voor alle afdelingen gold:

- Dat in vergelijking met de praktijk er 'snel' geteeld werd. Dit omdat de gewassen een minder lange levensduur hebben ten opzichte van de praktijk. Snel telen houdt in grove lijn in dat 24 uur temperaturen hoger zullen zijn dan wat men in de praktijk volgt.
- De CO₂ concentraties tussen de afdelingen is gelijk gehouden.
- Stabiel telen, dat houdt in dat er gestreefd werd naar een minimum aan veranderingen in de klimaataansturing. Veranderingen die werden doorgevoerd in de klimaatstrategie werden minimaal een week aangehouden alvorens nieuwe veranderingen geïmplementeerd werden.

5.2 *Energie*

In alle afdelingen is gestreefd naar het minimaliseren van de energie-input door middel van de volgende instrumenten;

- Beperking minimum buis.
- Afkoeling naar de voornacht werd niet geforceerd met ventilatie.
- Temperatuur integratie over meerdere (3-5) dagen.
- Donkerperiode >6 uur.
- Ruime marges op directe en indirecte invloeden.
- Schermen wanneer dit kon.

5.3 *Veranderingen in kasklimaat regime*

Wanneer de groei en ontwikkeling afweek van het gewenste werd ingegrepen. Op basis van metingen werd de bijgaande veranderingen als volgt doorgevoerd:

- Vertragende groei en ontwikkeling : verhoging 24 uur plant temperatuur.
- Vertragende tros afsplitsing : verhoging 24 uur plant temperatuur.
- Toenemende stam diameter : verhoging 24 uur plant temperatuur.
- Vertragende / verlaging tros bloei : groter verschil dag & nacht T.
- Vertragende vrucht uitgroei : verhoging van de 24 uur vrucht T.
- Verminderde zwelling van vruchten: : snellere en grotere afkoeling aan het einde van de licht periode / begin van de donkerperiode.
- Bladlengte neemt af : afhankelijk van de voorgaande omstandigheden wordt ofwel het vocht verhoogd ofwel de planttemperatuur gedurende de lichtperiode verhoogd.

5.4 Gevolgde strategie per afdeling

➤ SONT

In de SON-T afdeling werd de 24 uur streef gewastemperatuur gerelateerd aan de lichtsom van zowel het groeilicht als het buitenlicht. Hierbij speelde ook de plantstatus (balans vegetatieve / generatieve groei en ontwikkeling) een rol waarbij de leidraad was dat bij een vegetatief gewas een hogere 24-uur temperatuur en een grotere DIF werden aangehouden ten opzichte van een generatief gewas. De belichting werd uitgeschakeld wanneer de energie afvoer onvoldoende was om de beoogde maximale temperatuur van het gewas te handhaven. Hierbij werd als vuistregel gesteld dat de maximum planttemperatuur gelijk was aan de ingestelde kaslucht temperatuur plus 2 °C (dus als de plant bij belichting 2 °C boven de streef temperatuur kwam werd de belichting uitgeschakeld).

➤ LED IR

In deze afdeling was het type warmte inbreng vergelijkbaar met die van de referentie (SON-T) afdeling, te weten : infrarode straling. Het streven van deze afdeling was om een gelijke teeltstrategie te handhaven als in de SON-T afdeling. Op basis van de ervaring van afgelopen jaren waren er echter een aantal kleine afwijkingen doorgevoerd in teeltstrategie, met name om de plantbalans in termen van generatief/vegetatief te kunnen sturen. Wanneer belicht werd en de planttemperatuur werd niet gehaald, was IR leidend (Master) ten opzichte van het traditionele verwarmingsnet (buisrail) (Slave). Uit voorgaande proeven met LED en IR was duidelijk geworden dat een knelpunt de integratie van LED en IR in het geheel van de klimaat regeling is. Dit jaar waren alle instrumenten op de klimaatregeling aangesloten om zo de registratie en aansturing overzichtelijk te krijgen maar ook om de interactie mogelijkheden tussen de verschillende instrumenten te vergroten. De IR regeling was als volgt ingesteld:

Overkoepelende uit-sturing:

Inbreng 22,5 W/m² bij 300 W/m² instraling

Inbreng 34 W/m² bij 200 W/m² instraling

Inbreng 45 W/m² bij 150 W/m² instraling

Directe sturing:

Inbreng 22,5 W/m² bij -2 °C buitentemperatuur

Inbreng 34 W/m² bij 4 °C buitentemperatuur

Inbreng 45 W/m² bij 10 °C buitentemperatuur

➤ LED Groeibuis

De LED groeibuis afdeling focuste op maximale energiebesparing door middel van gebruik van laagwaardige warmte en lokaal verwarmen door middel van een groeibuis 28 mm. Een LBK en ondernet (verwarming via de buisrail) focusten voornamelijk op vochtbeheersing en vruchttemperatuur. Een lokale verwarmingsbuis, welke 10 centimeter onder het groeipunt tussen de plantrijen in gehangen was, focust voornamelijk op de planttemperatuur bovenin het gewas (gemeten door middel van een infrarood sensor). Wanneer belicht werd en de planttemperatuur niet gehaald werd was de lokale buis verwarming leidend (Master) ten opzichte van het traditionele verwarmingsnet (Slave). De vochtbeheersing vond primair middels het 'traditionele' verwarmingssysteem plaats.

6. *Verloop van de proef*

De proef is goed verlopen en er was duidelijk sprake van een gedrevenheid in het team. Soms waren er verschillen van mening binnen het TTO LED team Vantevoren was afgesproken dat de projectleider de eindstem had. Toch heeft de projectleider geen gebruik hoeven maken van een 'veto'; de onderzoekslijnen zijn altijd bewaakt. Het verloop van de proef is weergegeven in tabel 2, waarin ook algemene zaken, veranderingen aan de instellingen en de belangrijkste opmerkingen uit het commentaar van het TTO LED team staan weergegeven. Gedurende de hele proef zijn trosbeugels aangebracht. In de voorgaande proef 'knikten' enkele trosstelen waardoor mogelijk de doorstroming niet optimaal was. Door continue trosbeugels aan te brengen is het effect hiervan geminimaliseerd.

Na 12 weken met de initiële opzet gedraaid te hebben zijn enkele wezenlijke veranderingen in de strategie doorgevoerd:

1. De LBK is volledig uitgeschakeld. De reden om de LBK uit te schakelen was tweeledig:
 - a. door de verscheidenheid aan factoren was het lastig oorzaak en gevolg aan elkaar te koppelen;
 - b. na twaalf weken geëxperimenteerd te hebben met de LBK was voldoende data verzameld om de mogelijkheden van hergebruik van LED warmte in de afdeling voldoende in kaart gebracht.
2. De IR verwarming werd afgebouwd van gemiddeld 40 W/m^2 naar 20 W/m^2 . Hierbij was de 40 W/m^2 net iets minder dan het IR deel van de SON-T (45 W/m^2).
3. De groeibuis werd in temperatuur verhoogd (van 35°C naar 42°C). Dit werd gedaan omdat het gewas zeer zwak oogde in de kop en niet de gewenste vegetatieve ontwikkeling vertoonde.

Betreffende de IR bleek na een korte tijd dat de vermindering naar 20 W/m^2 , zodat dit iets is verhoogd naar gemiddeld 25 W/m^2 . Deze input leek voldoende om de groei en ontwikkeling gelijk te houden aan die van SON-T.

Betreffende de afdeling met de groeibuis werd na 5 weken door de begeleidingscommissie geadviseerd de groeibuis te verlagen omdat het gewas een generatief uiterlijk vertoonde (dunnere stam met korte bladeren in het bovenste gedeelte). De groeibuisverlaging versterkte echter het generatieve uiterlijk en na een verhoging van de groeibuis temperatuur begon het gewas weer te groeien en ontwikkelen zoals gewenst. Het aantal geoogste vruchten was voor alle afdelingen vrijwel de hele proefperiode gelijk. De vruchten uit de SON-T afdeling waren echter consequent zwaarder waardoor een productieverval optrad.

De gewasbescherming is ingezet conform praktijk, waarbij maximaal biologisch het streven was. De bestrijding is uitgevoerd onder begeleiding van Koppert Biological systems. Tegen het einde van de proef nam wittevlug toe, zoals ook in traditionele teelten in het voorjaar gebeurt. Toen biologische bestrijding niet afdoende bleek is er driemaal een gewasbespuiting uitgevoerd met Oberon en tweemaal gespoten met Preveral. Daarnaast waren er sporadisch enkele plekken met Botrytis-aantasting welke werden weggesneden en werden ingesmeerd met ScaniaVital.

Tabel 2: Algemene zaken, veranderingen aan de instellingen en de belangrijkste opmerkingen uit het commentaar van het TTO LED team.

Datum	Algemeen	Groei- buis °C	IR Max W/m ²	LBK	Wekelijks commentaar TTO LED groep		
28-8-'10	Zaai		47		LED groeibuis	LED IR	SON-T
5-10-'10	Planten		47	Aan			
12-10-'10	Zeer ongelijk gewas		47				
19-10-'10			47		Niet generatief, langzaam gewas		Ongelijk gewas
26-10-'10	Op plantgat		47		Kopdikte te laag		Belichting aan
2-11-'10		35	47		Bestuiving slecht	Generatiever dan LED groeibuis	Gewas zwaarder geworden
9-11-'10		40	47		Te vegetatief		
16-11-'10		35	47				Bestuiving slecht
23-11-'10		35	47				
30-11-'10	Start bladrandjes, 1/3 LED blauw weg	35	47			Sterk	
7-12-'10		35	47				
14-12-'10	Scherf meer gesloten	35	47				
21-12-'10		35	47	Lager	Bladranden, kracht is weg	Gewas en blad- kwaliteit zwak	
28-12-'10		35	47				
4-1-'11	Focus op teruggaan in energie	41	33	Uit			
11-1-'11		42	33				
18-1-'11	Blad wordt duidelijk kleiner in LED	42	33				
25-1-'11	Bladkwaliteit verslechterd	42	33				
1-2-'11	Graterige gewassen LED: LAI -13%	42	33				
8-2-'11	Getopte dief aanhouden	35	22		Onderste groeibuis isolatie		
15-2-'11	Toename meeldauw en Botrytis	35	22		Hard en dik, niet groeizaam		
22-2-'11		43	22		Kop achteruit, generatief uiterlijk		Wittevlieg is geëxplodeerd
1-3-'11	Kieren in scherm	43	22				
8-3-'11		43	22				
15-3-'11		43	22				
22-3-'11	Groeibuis verhoogd	50	22				
29-3-'11		50					

6.1 Samenvatting wekelijkse teeltverslagen

Bij de start van de proef was het gewas erg ongelijk en de kopdiktes bleven langere tijd laag. De eerste twee weken was het moeilijk om de LBK uitblaastemperatuur over de gehele lengte van de slurven gelijk te krijgen. Met belichten is gestart vanaf 7:00. Begin november was de bestuiving zwak en werden planten sterker, wat zich o.a. vertaalde in een dikkere stamdiameter. De groeibuis werd hierop van 30 naar 35 °C gezet. In de LED IR afdeling werd het klimaat een lange tijd als bedompter, vochtiger aanvoeld door de telers. Dit kwam in metingen niet terug. Mogelijk dat dit te maken had met het feit dat er in de afdeling met de LBK meer luchtbeweging was en in de SON-T afdeling meer stralingsenergie vanaf de belichtingsinstallatie kwam.

Thijs Peekstok:

“In SON-T weten we het effect van klimaat- en teelt maatregelen, bij de LED systemen is dit minder het geval waardoor mogelijk strategie veranderingen een ander effect hebben gehad dan beoogd.”

Eind november werden de eerste geluiden gegeven dat het lastig was om oorzaak en gevolg aan elkaar te koppelen in de afdeling met de LBK en de groeibuis. Eind november begon de SON-T afdeling uit te lopen qua lengte groei. De afdeling met de LBK en

Ary de Jong:

“De gewassen in de LED afdelingen voelen vaker stug aan, met indraaien is hierdoor meer kans op breuken.”

groeibuis vertoonde duidelijk meer verdamping (bijlage 3 figuur 2).

Begin december begonnen de LED gewassen beiden een generatiever en donkerder uiterlijk te vertonen. De telers gaven aan voorstander te

zijn van het verlagen van de groeibuis in de kop van het gewas. Begin december werd de DIF in de LED verkleind om meer vegetatieve groei te stimuleren.

Eind december vertoonden beide LED gewassen veel slijtage (necrose) aan de buitenste randen van het blad. De indruk bestond in de gehele BCO dat dit hoogstwaarschijnlijk kwam door teveel schermen. Eind december is de groeibuis in temperatuur verhoogd en is besloten minder te schermen en sneller een kier toe te staan. Ook is de besloten om de LBK uit te schakelen, hoofdzakelijk om de eindresultaten van de proef betrouwbaar te houden. De groeibuis werd verhoogd om meer assimilaten voor het bovenste gedeelte van het gewas aan te wenden.

Eind januari was de bladkwaliteit in de afdeling met IR (en voorheen ook de LBK) zeer sterk achteruit gegaan in de vorm van necrose aan de randen van de bladeren. Begin februari was het dusdanig koud buiten dat het moeilijk was om de gewenste temperaturen te halen in alle afdelingen, hierdoor vertraagde de groei en ontwikkeling enigszins. Een LAI meting begin februari bevestigde het vermoeden dat de LAI lager was in de LED afdelingen; - 17% ten opzichte van de SON-T afdeling. Er wordt gesuggereerd dat de bladkwaliteit in

Ary de Jong:

“Bij een hogere temperatuur van de buis bij de kop blijft de planttemperatuur gelijk maar is de verdamping hoger, ik heb het idee dat dit de conditie/kwaliteit van het blad verbeterd.”

de LED afdelingen mogelijk slechter is door meer gebruik van het energiescherm en de lagere verdamping gedurende bepaalde momenten van de dag. De telers hadden weinig vertrouwen in de groeibuis en wilden deze verlagen, daarom is begin februari de groeibuis verlaagd in temperatuur.

Na twee weken met een lagere groeibuis temperatuur kreeg het gewas in de groeibuis afdeling een zeer generatief uiterlijk (dunne stam in combinatie met klein en getrokken blad dat niet strekte). Door de verlaging van de groeibuis liep de verdamping sterk terug (Bijlage 3, Figuur 2). Het verlagen van de buistemperatuur was achteraf een foute keuze. Daarom werd eind februari besloten de groeibuis weer in te brengen. Na een week had het verhogeren reeds een positieve reactie op de stand van het gewas (betere bladkwaliteit en een vollere kop). Er werd besloten om een blad op de dieven te laten staan om voldoende assimilerend vermogen te behouden. Door de positieve reactie van het gewas op het verhogen van de groeibuis werd eind maart de groeibuis nogmaals verhoogd, welke een groeizamere (meer blad) kop tot gevolg had. De hoeveelheid geoogste vruchten was voor alle afdelingen vrijwel de hele proefperiode gelijk. De vruchten uit de SON-T afdeling waren consequent zwaarder waardoor een productieverval optrad.

7. *Energie*

7.1 *Inleiding*

De energie huishouding is voor alle drie de vakken in detail gemonitord. In bijlage 2, Figuur 1 is weergegeven hoe het totale verbruik voor de drie afdelingen per week is geweest. Hierbij is duidelijk aangegeven wanneer de teeltstrategie gewijzigd is naar meer energiebesparing. Hierin is duidelijk te zien dat de SON-T afdeling, na het inzetten van de energiebesparingsstrategie, gemiddeld 20 % minder energie in totaliteit heeft gebruikt.

In bijlage 2 Figuur 2 is het energie gebruik per afdeling gesplitst in:

- Electra
- Electra voor infrarood (Alleen voor LED IR afdeling)
- Energie ingebracht door de buisverwarming (Voor de LED groeibuis zit de energie van de groeibuis hierbij).

Zichtbaar is dat het electra gebruik voor de drie afdelingen vrijwel gelijk is wat betreft de belichtingsinstallaties. Verder is zichtbaar dat de extra energie die in beiden LED afdelingen moet worden gegeven, in vergelijking met de SON-T afdeling, vrijwel gelijk is. Er bestaat geen verschil tussen de afdelingen waar de extra warmte wordt ingebracht middels alleen een buisverwarming of middels buisverwarming in combinatie met een infrarood installatie.

7.2 *Energie Scenario's*

7.2.1 *LED wordt 30 % efficiënter.*

In bijlage 2 Figuur 3 is zichtbaar wat het effect is wanneer de LED installatie 30% efficiënter wordt (gelijke licht output met 30% minder elektriciteit, waarbij ook de warmteproductie met 30% wordt verkleind). Hier is zichtbaar dat met een teeltstrategie gefocussed op energie besparing, de SON-T installatie in vergelijking met een 30% efficiëntere LED installatie gemiddeld minder energie nodig heeft (gemiddeld 10 % minder).

7.2.2 *Alle LED warmte wordt lokaal ingebracht en compenseert de benodigde buiswarmte 1 op 1*

In bijlage 2 Figuur 4 visualiseert het scenario wanneer de energie vernietiging die heeft plaatsgevonden voor de overtollige warmte uit de LED belichting gecompenseerd wordt op de buisverwarming. Hier gaan we ervanuit dat de vernietigde energie nuttig is aan te wenden in de afdelingen en dat deze 1 op 1 gecompenseerd mag worden op de buisverwarming. Hiervoor zijn we uitgegaan dat een warmtepomp nodig is met een gemiddelde COP van 4. In de figuur is zichtbaar dat de gemiddelde energie behoefte van de SON-T afdeling lager is voor dit scenario. Ten opzichte van de LED met groeibuis is dit 6 % gedurende de periode dat de focus op energie besparing lag.

7.2.3 *De LED installatie is 30% efficiënter en alle LED warmte wordt lokaal ingebracht en compenseert de benodigde buiswarmte 1 op 1*

De figuur in bijlage 2 Figuur 5 laat zien wat het effect is wanneer de LED installatie 30% efficiënter zou zijn en wanneer alle geproduceerde warmte nuttig aangewend kan worden in de kas. Hier gaan we ervanuit dat de warmte productie voor de LED installatie procentueel gelijk blijft en dat de warmte productie 1 op 1 gecompenseerd mag worden

op de buisverwarming. Hiervoor zijn we ervan uitgegaan dat een warmtepomp nodig is met een gemiddelde COP van 4. Zichtbaar is dat de SON-T en LED vrij weinig afwijken (gemiddeld was de energie behoefte voor de de LED Groeibuis afdeling in de periode dat de focus op energiebesparing lag 4% lager). Echter verandert de verhouding tussen de benodigde energiedragers. Onderstaande berekende getallen gaan uit van de afdeling met LED verlichting en met groeibuis waarbij de LED 30% efficiënter is en alle geproduceerde warmte nuttig in de kas benut kan worden.

	SON-T	LED 30% efficiënter en 100% warmte benutting LED
GJ/m ² /wk Electrisch in kas	0,035 (52%)	0,024 (40%)
GJ/m ² /wk Buiswarmte in kas	0,031 (48%)	0,036 (60%)

7.3 Energie discussie

Aangezien de gebruikte SON-T installatie enige jaren oud was, is in de praktijk op een tweetal bedrijven met nieuwe SON-T installaties de efficiëntie gemeten. Deze gegevens zijn gebruikt in de berekeningen van dit verslag.

Uit deze metingen bleek dat de efficiency van een moderne SON-T installatie momenteel gelijk is aan de LED installatie in het onderzoek. De efficiency kwam hierbij uit op 1,6 $\mu\text{mol PAR/watt}$, gemeten ter plaatse van de kop van het gewas zonder correctie van de gewasdraden en klosjes in de kas.

De verwachting is dat LEDs naar de toekomst toe grotere efficiëntie slagen zullen maken in vergelijking met SON-T met betrekking tot lichtproductie per eenheid energie input. De uitdaging blijft echter het ontbreken van energie in de vorm van warmte op de juiste locatie. Figuur 5 in bijlage 2 laat zien dat wanneer het mogelijk is de LEDs 30 % efficiënter te maken en alle geproduceerde warmte van de LED installatie in de kas te gebruiken een gelijke energie behoefte ontstaat als SON-T. Echter verandert de verhouding elektrische energiebehoefte ten opzichte van SON-T (SON-T: Electrisch: 52%, Buiswarmte: 48%, LED: Electrisch: 40%, Buiswarmte: 60%).

Een minimale behoefte aan infrarood is lastig te geven omdat deze afhankelijk is van de buitenomstandigheden. Uit de proef is gebleken dat met 22 W/m² de gewenste groei en ontwikkeling gehaald worden, gelijk aan dat van een SON-T afdelingen met 80 $\mu\text{mol/m}^2$. De BCO adviseerde tijdens branduren gemiddeld 30 W/m² als uitgangspositie te nemen, wat gelijk staat aan circa 107 $\mu\text{mol SON-T}$.

Ondanks indicaties van de begeleidingscommissie dat het gewas anders reageerde op IR verwarming in vergelijking tot groeibuisverwarming is dit verschil op basis van de gewasmetingen niet gevonden. Toch gaat de sterke voorkeur van de kwekers uit naar het toepassen van een bron met infrarode warmte, gezien de mogelijkheid van een 'snelle sturing'.

Conclusie Energie

Concluderend zou gesteld kunnen worden dat wanneer LED belichting 30% efficiënter wordt, de totale energiebehoefte gelijk blijft maar dat de verhoudingen tussen elektrische energie en buisverwarming veranderen (hierbij wordt uitgegaan van een gelijke groei en ontwikkeling als SON-T). Hierbij dient wel de opmerking gemaakt te worden dat de installatie anders zal zijn door toevoeging van onder andere een warmtepomp.

Zonder additionele verwarming van het groeipunt van het gewas bij LED belichting zal niet de gewenste groei en ontwikkeling kunnen worden gehaald. Met het oog op hybride belichting (SON-T in combinatie met LED) lijkt een minimale input van 30 W/m² stralingswarmte (vanuit de SON-T installatie) voldoende, gebaseerd op het klimaat van belichtingsseizoen 2010/2011.

8. *Klimaat metingen*

8.1 *Temperatuur & luchtvochtigheids metingen*

De gewenste temperaturen in de afdelingen konden goed gerealiseerd worden. Slechts gedurende een week toen de buitentemperatuur extreem laag ($< -8\text{ }^{\circ}\text{C}$) was in combinatie met hoge windsnelheden werden streeftemperaturen niet gerealiseerd. Opvallend was dat de planttemperatuur in de SON-T afdelingen veel dichterbij de ruimtetemperatuur lag dan in de LED afdelingen (Bijlage 4 Figuur 1). De planttemperaturen zijn voor alle drie de afdelingen de gehele proef vrijwel gelijk geweest.

Voor zowel de IR als de groeibuis was de intensiteit van de warmtebron van belang voor de verhouding tussen ruimte en planttemperatuur. Na het uitschakelen van de LBK was de verdamping beduidend lager (Bijlage 4 Figuur 2). Het verschil in verdamping tussen de afdelingen SON-T en LED groeibuis was na uitschakeling van de LBK constant te noemen. Echter toen in week 5 de groeibuistemperatuur werd teruggezet van $42\text{ }^{\circ}\text{C}$ naar $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ging de verdamping van de LED groeibuis afdeling beduidend omlaag ten opzichte van de trend en kwam dichterbij de verdamping van de LED IR afdeling (Bijlage 4 Figuur 2). De verdamping in de afdeling met infrarood was gedurende over het gehele seizoen 14% lager dan de andere twee afdelingen. Het verhogen of verlagen van de IR leek een minder groot effect te hebben op de verdamping en een groter effect op de planttemperatuur in vergelijking met een verhoging van de groeibuis. Opvallend, maar niet verder statistisch onderbouwd waren de verschillen in wortelvorming; de LED afdeling met IR heeft minder wortels gevormd (bijlage 6).

8.2 *Schermen*

Het schermen in de LED afdelingen geschiedde anders dan in de SON-T afdeling. Hier is geen verschil gecreeerd in de hoeveelheid toegetreden buitenlicht in de afdelingen. In Bijlage 4 Figuur 4, en 5 zijn de schermstanden in combinatie met de raamstanden en de buitentemperatuur weergegeven. Hierin is zichtbaar dat de SON-T bij een buitentemperatuur van $0 - 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ reeds moet kieren in het scherm om energie af te voeren (Bijlage 4 Figuur 4). Ook is zichtbaar dat de SON-T iets eerder geopend kon worden in de ochtend. Bij een buitentemperatuur van $8-11\text{ }^{\circ}\text{C}$ neemt dit verschil toe; waar de SON-T een kier van 10 % in combinatie met luchting nodig heeft om de streef temperatuur te kunnen handhaven, kon in de LED afdelingen zowel het scherm als de ramen gesloten gehouden worden (Bijlage 4 Figuur 5).

Ditzelfde verschijnsel van warmte overschot is terug te zien in het aantal uren dat belicht is. Toen de SON-T uit moest vanwege een warmte overschot kon de LED belichting aan blijven zonder last van een warmte overschot te krijgen (Bijlage 4 Figuur 3).

8.3 *Klimaat discussie*

De CO_2 gehalten in alle drie de afdelingen zijn de gehele proef gelijk geweest.

Wanneer gekeken wordt naar de ontwikkelingssnelheid van het gewas wordt dit bevestigd (zie § 9.4). Het verhogen of verlagen van de groeibuis leek een groter effect op verdamping te hebben in vergelijking met een gelijke verhoging van de IR. Dit heeft echter niet geleid tot verschillen welke hier duidelijk aan toe te wijzen zijn.

Het langer kunnen schermen en het langer kunnen belichten staan ter discussie. Telers geven aan dat een groot gedeelte van het achteruitgaan van bladkwaliteit toe te schrijven is aan veel schermen; hierdoor ontstaat een te vochtig klimaat. Dit geeft verhoogde risico's op kwaliteit van bladeren en een toename van de druk van ziekten en plagen.

De kwekers verwachten bij het lichtniveau van 145 umol weinig voordelen door het langer kunnen belichten met LED dan met SON-T. In deze periode neemt het natuurlijk licht dusdanig snel toe en komen on-belichtende telers op de markt dat hieruit geen grote voordelen worden verwacht. Wanneer de lichtniveau's hoger zijn en er sprake is van een milde winter zal bij SON-T een groter overschot aan warmte optreden. Bij niveau's boven de 160 umol worden voordelen verwacht.

Conclusie Klimaat

Concluderend kan gesteld worden dat het klimaat dat in deLED afdelingen gecreëerd werd sterk afweek van een traditionele teeltwijze. Een risico is dat te ver teruggegaan wordt met energie inbreng, waardoor er een verhoogde kans is op een slechte kwaliteit blad en een verhoogde kans op ziektes en plagen.

9. Gewasmetingen

In de periode van 14 oktober 2010 tot en met half april 2011 zijn er verscheidene registraties/metingen uitgevoerd op zowel plant-, voeding-, en substraatniveau. Het volledige meetoverzicht is weergegeven in bijlage 5. Alle gewasmetingen zijn uitgevoerd op 15 gemarkeerde planten, willekeurig verdeeld over de drie middelste teeltgoten. De buitenste plantrijen zijn in geen van de metingen meegenomen.



9.1 Lengte groei

De totale lengtegroei van SON-T was groter dan die van beide LED afdelingen (bijlage 5 Figuur 1). De eerste 7 weken na planten waren er geen verschillen in lengtegroei. Na ongeveer negen weken (gezamenlijk met het inzetten van de energie besparingsstrategieën) begon de SON-T afdeling iedere week iets meer lengtegroei te vertonen (+3 cm/wk) t.o.v. de LED afdelingen.

9.2 Oogstcijfers blad en dieven

De totale gewichten van de geoogste vruchten, bladeren en dieven zijn weergegeven in bijlage 5 tabellen 1 en 2. Opvallend is dat het verschil in geplukt blad tussen de afdelingen nauwelijks verschilde, maar dat in de LED afdelingen meer gewicht in de geoogste dieven werd gemeten dan in de SON-T afdeling.

9.3 Vruchtgewicht

Het gemiddeld (vers)vruchtgewicht van de oogstbare vruchten lag bij de SON-T afdeling met 39,9 gram gedurende de gehele proefperiode, beduidend hoger dan LED IR met 34,7 gram en LED groeibuis met 34,6 gram (Bijlage 5 Figuur 2). Ook was de gemeten dichtheid van de 2^e vrucht per tros, op basis van totaal gewicht van de vrucht gedeeld door de maximale diameter van de vruchten, in de SON-T met 0,98 hoger dan in LED IR met 0,89 en LED groeibuis met 0,91 (Bijlage 5 Figuur 3).

9.4 Zetting

De zetting van de trossen tussen de afdelingen heeft niet ver uit elkaar gelopen. De patronen van zetting van de verschillende afdelingen hebben eenzelfde verloop vertoond gedurende de gehele proef (Bijlage 5 Figuur 4 en 5).

9.5 Bladontwikkeling

De kwaliteit van het blad is op verscheidene manieren in kaart gebracht. Een manier welke in de proef van 2009-2010 ook werd uitgevoerd is een kwalificatie van de hoeveelheid bladrandjes. Zowel de metingen van 2009-2010 als van 2010-2011 zijn in Bijlage 5 Figuur 6 (2010) en 7 (2009) gevisualiseerd. De tijdsperiode waarin bladrandjes ontstaan is in de SON-T afdeling in beide teeltseizoenen nagenoeg hetzelfde. Dit jaar vertoonden de LED afdelingen wel meer symptomen dan in het vorige teeltseizoen (Bijlage 5 Figuur 8). Vooral in de periode tot en met week 5 waren de symptomen met bladrandjes in de LED afdelingen veel extremer dan het jaar ervoor.

De lengte/breedte verhouding van de bladeren was tussen alle afdelingen constant. Het blad in de LED afdelingen werd echter steeds korter ofwel 'grateriger'. Gemiddeld lag de gemiddelde bladlengte van de LED afdelingen 2 cm onder de lengte van de volwassen bladeren in de SON-T afdeling. Om de LAI in de LED afdelingen op gelijk niveau te krijgen is in week 8 een extra blad aangehouden (het blad van de verwijderde kopdief). Hierdoor kregen de LED-gewassen gemiddeld meer bladeren per stengel en dus ook per m² (Bijlage 5 Figuur 9).

Het gewenste effect van het aanhouden van een extra blad leek in LED IR te zijn gerealiseerd, blijkend uit de LAI metingen (Bijlage 5 Tabel 3). In de afdeling LED groeibuis blijft dit effect echter uit. Bij de derde LAI bepaling, toen de kopdieven reeds 7 weken werden aangehouden, was de LAI van LED IR beduidend hoger ten opzichte van LED groeibuis (+ 35 %) en licht hoger dan SON-T (+ 9 %). Hoewel deze metingen slechts op een beperkt aantal planten is uitgevoerd kwam ditzelfde beeld terug in de bladlengte- en bladdiametermetingen. Wekelijks is de maximale lengte en breedte van het eerste volwassen blad van de telplanten gemeten. In de figuur 9 en tabel 4 van bijlage 5 is duidelijk te zien dat de werkelijke verschillen in bladlengte bij de LED afdelingen veel groter zijn dan die bij de SON-T planten. Dit effect is door de BCO en proefuitvoerende ook visueel geconstateerd.

Driemaal zijn er in het blad drogestofanalyses uitgevoerd op hoofd- en spoorelementen. In tabel 5 van bijlage 5 is dit weergegeven. Hieruit zijn geen verschillen naar voren gekomen. Heb je hier een statistische analyse gedaan, anders moet je deze zin eruit laten. Het gemiddeld drogestofpercentage lag in week 3 rond de 11% en in week 10 rond de 16%.

9.6 Vruchtanalyses

Gelijk aan de bladeren zijn er van rode vruchten ook drogestof analyses uitgevoerd op hoofd- en spoorelementen (bijlage 5 ; tabel 6). Er werden geen verschillen gevonden tussen de afdelingen.

Ook zijn er met een bepaalde regelmaat suikeranalyse uitgevoerd (bijlage 5 ; figuur 10). De verschillen in suikerconcentratie tussen de verschillende afdelingen waren laag. Er waren geen verschillen in houdbaarheid (bijlage 5 ; figuur 13).

9.7 Productiecijfers

Na iedere oogst, welke wekelijks plaatsvond, is de productie in kaart gebracht. In week 50 van 2010 zijn de eerste rode trossen geoogst. In bijlage 5 wordt het productieverloop weergegeven in tabel 7 en gevisualiseerd in figuren 11 en 12. Aan het einde van de proefperiode (week 15) waren er in de SON-T afdeling gemiddeld 18,8 trossen geoogst. In de LED afdelingen met respectievelijk 18,2 (groeibuis) en 18,4 (IR) trossen lag het aantal geoogste trossen nagenoeg op hetzelfde niveau. De totale productie tussen de afdelingen verschilde. De SON-T afdeling had een eindproductie van 12,8 kg/m² 8% meer productie dan de LED groeibuis afdeling met een eindproductie van 11,7 kg/m² en 7% meer dan de LED IR



afdeling waar een eindproductie van 11,8 kg/m² werd gerealiseerd. Dit verschil in productie is na week 6 wekelijks groter geworden (bijlage 5 Figuur 11,12).

9.8 Gewasmetingen en productiecijfers discussie

Lengte groei: Zowel in het teeltseizoen 2009/2010 als in dit teeltseizoen waren de lengtegroeiverschillen tussen de SON-T afdeling en LED afdelingen groot.

Oogstcijfers: Het verschil in gewicht van de dieven is opmerkelijk. De apicale dominantie lijkt in de LED afdelingen minder te zijn waardoor dieven meer kunnen uitgroeien. Mogelijk dat dit door het spectrum beïnvloed is.

Het verschil in vruchtgewicht is opmerkelijk, dit komt 1 op 1 terug in het verschil in uiteindelijke oogstcijfers. Ook het voorgaande onderzoek in 2009-2010 bevestigt dit patroon. Dit kan meerdere verklaringen hebben:

- Een lagere LAI die in de LED afdelingen vrij snel werd waargenomen.
- Een andere assimilaten verdeling tussen vruchten en bladeren door het aanhouden van een extra blad op de kopdief.
- Een andere temperatuurverdeling over het gewas.
- Beïnvloeding van het assimilaten transport door een ander spectrum.
- Verschil in uren belichting (de totale lichtsommen zijn de gehele proef gelijk geweest) is te verwaarlozen.

Zetting: De planttemperaturen, gemeten in de top van het gewas, verschilden niet wezenlijk waardoor de zetting vrijwel gelijk was tussen alle afdelingen.

Bladontwikkeling: Hoogstwaarschijnlijk heeft de focus op energiebesparing een bijdrage geleverd in de achteruitgang van de bladkwaliteit, omdat nadat deze strategie werd ingezet de kwaliteit versneld terugliep. Ook zou de graterigheid van de bladeren kunnen worden verklaard door energie besparingen en meer scherm gebruik. De indruk bestaat echter dat het andere spectrum dat door de LED belichting wordt gegenereerd ook heeft bijgedragen aan de achteruitgang van het blad en de graterigheid. De lagere LAI in de LED afdelingen (-6% tov SON-T) kan verklaard worden door zowel de lage bladkwaliteit (necrose aan de bladranden) als door de graterigheid, echter ook de getrokkenheid van bladeren zal hier een rol in hebben gespeeld.

Conclusie gewasmetingen en productiecijfers

De gewassen in LED afdelingen vertoonden een ander uiterlijk dan dat van de SON-T afdelingen. De gewassen in de LED afdelingen strekten minder, hadden sneller last van bladranden (necrose aan de bladranden) en bladeren waren “getrokken”. De LAI in de LED afdelingen was ook lager. Het andere ‘gedrag’ van de gewassen in de LED afdelingen kan worden verklaard door een ander klimaat en daarnaast bestaat de indruk dat het andere lichtspectrum ook van invloed is. Uiteindelijk was de productie in beide LED afdelingen lager dan in de SON-T afdeling.