

## Eindrapportage Praktijkonderzoek LED (groei- & stuurlicht)

Opdrachtgevers : Productschap Tuinbouw  
Ministerie van LNV

Initiatiefnemer : Lioris B.V.  
Projectgroep : Lioris B.V.  
Lans B.V.  
Van den Berg Roses C.V.

PT projectnummer : 13.101  
Intern projectnummer : TP5638  
Looptijd : 1 september 2007 tot en met 30 september 2008

Datum : 9 juni 2009  
Auteur : LTO Groeiservice  
T. van Staalduinen  
*Projectleider*



## Inhoudsopgave

Samenvatting	4
1. Inleiding	5
1.1. Aanleiding en doelstelling	5
1.2. Onderzoeksopzet	6
2. Praktijkproef Tomaat	7
2.1. (Teelt-) technisch verloop praktijkproef	7
2.2. Conclusie	9
3. Praktijkproef Roos	10
3.1. (Teelt-) technisch verloop praktijkproef	10
3.2. Conclusie	11
4. Effect van LED belichting op klimaat en plantfysiologie	12
4.1. Licht hoeveelheid en plantgroei	12
4.2. Verschil bladtemperatuur tussen LED en HD-Na	14
4.3. Verschil vocht en EC in de mat	16
5. Confrontatie met project en planning	18
6. Conclusies en aanbevelingen	20
7. Bijlagen	21
Bijlage 1 : Grow metingen tomaat, Lans 2007	
Bijlage 2 : Grow metingen tomaat, Lans 2008 (hogere belichtingsgraad)	
Bijlage 3 : Plantmetingen tomaat per week	
Bijlage 4 : Grow metingen roos, v/d Berg week 18	
Bijlage 5 : DLV rapport lichtmeting bij v/d Berg	
Bijlage 6 : Artikel in 'Nieuwe Oogst' d.d. 26-04-08	
Bijlage 7 : Artikel in 'Onder Glas' d.d. april 2008	
Bijlage 8 : Concept artikel stand van zaken, zoals verstuurd aan financiers PT en LNV	
Bijlage 9 : Presentatie bij Thema Tuinen, door Grow, november 2008	
Bijlage 10 : Financieel overzicht en afronding	

## Samenvatting

In opdracht van het Productschap Tuinbouw (PT) en het ministerie van LNV is praktijkonderzoek naar LED als groei- en stuurlicht uitgevoerd (tomaten en rozen onder glas) in Nederland. Het onderzoek bestond uit twee teeltproeven met LED belichting in een vak van +/- 100 m<sup>2</sup>; uitgevoerd gedurende de donkere periode in een bestaande commerciële tomaten en rozen kas met Son-T belichting. Vooralsnog bewijzen de proeven nog geen rendabele toepassing van LED assimilatie.

De eerste proef in tomaat werd gekenmerkt door enkele technische tegenslagen, de testen hebben daardoor niet de antwoorden opgeleverd zoals beoogd. Er kon nog niet met zekerheid gemeld worden of de oorzaak van verzwakte plant en verminderde productie, volledig aan de techniek te wijten was. Door verhoging van de kwantiteit LED licht versterkte de plant behoorlijk, een overeenkomstige groei als onder Son-T kon in deze omstandigheden nog niet bewezen worden. Desondanks is er wel praktisch gerichte kennis uit het onderzoek naar voren gekomen. Blad en mat temperatuur lagen door het niet uitstralen van IR straling 1,5 tot 2 graden lager. Ook verdampte de plant veel minder onder LED licht, wat samen met lagere wortelactiviteit een nattere mat (door gelijke watergift als in de referentie) tot gevolg had. In vervolgprouven met tomatenplanten zal getest moeten worden of verhoging van de mat- en eventueel omgevingtemperatuur positieve invloed heeft. Daarbij zal de watergift en de bemesting beter afgestemd moeten kunnen worden op de momentele groeifase van de planten.

Ook de uitgevoerde proefopzet in roos heeft niet voldaan aan de verwachtingen. Zowel het LED armatuur als de Son-T verlichting had meer spreiding dan beoogd, waardoor het proefvak door instraling van Son-T licht verstoord werd. Mede door aanpassingen in de installatie en gebruikte apparatuur voor lichtmeting, kwam de hoeveelheid bemeten LED licht niet in de buurt van de beoogde 200 micromol. De proef werd tevens beïnvloed door een luchtstroom van de meetapparatuur. Door het lagere lichtniveau en de verstoringen van de proef in de praktijk, bleven juist de teeltresultaten zo'n 12% achter op het referentie vak.

Voor volgende testen is duidelijk dat de proefomstandigheden uiterst zorgvuldig verzorgd moeten worden en ook zodanige maatregelen moeten worden getroffen dat de meetresultaten reproduceerbaar zijn. Hoewel een praktijkomgeving snel antwoord geeft op de vraag of iets rendabel is, blijken er proeftechnisch ook veel beperkingen te zijn. Door de proef omstandigheden konden er binnen dit project onvoldoende aanpassingen gedaan worden, die voor de resultaten wel van belang zouden kunnen zijn. Verdere aanpassingen in proefname was niet de opzet van de proef en heeft tevens niet kunnen plaatsvinden, waardoor ook nog niet aangetoond kon worden in hoeverre het gebrek aan IR straling en overige invloeden oorzaak zijn geweest voor de lagere productie.

In gelijke klimaatomstandigheden als onder Son-T, heeft een vak met LED belichting onder andere warmte behoefte in de mat. Ook wordt aangeraden vervolgprouven in omstandigheden uit te voeren, waar de gehele omstandigheid van klimaat en lichtinval geregeld kan worden. Hiervoor kan het aan te bevelen zijn om verdere proeven niet in een praktijksituatie maar in een proefkas te testen waar e.e.a. beter kan worden beheerst en de condities kunnen worden gegarandeerd. De conclusie is getrokken dat LED belichting als groeilicht nog niet geschikt was ter vervanging van Son-T, daarmee ook nog geen energie bespaarde.

## 1. Inleiding

### 1.1. Aanleiding en doelstelling

In de glastuinbouw werd al jaren gesproken over het gebruik van LED's als groeilicht. Tot het moment van projectopzet was er nog geen 'proof of principle' geleverd met de combinatie van een economisch rendabele en technisch haalbare oplossing voor stuur- en groeilicht op basis van LED's.

Diverse partijen met kennis binnen de tuinbouw gaven aan zich bezig te houden met onderzoek en ontwikkeling van LED assimilatie, zoals TNO, WUR, Philips en Hortilux. Deze partijen gaven unaniem aan planten beter te kunnen laten groeien, maar ook dat LED als groeilicht anno 2007 nog niet rendabel te rekenen is. Pas na 4 jaar verwachtte men de eerste serie commerciële lampen op basis van LED's op de markt. Het argument voor deze overbruggingsperiode was de te hoge kostprijs voor voldoende sterke LED's. In de tussentijd richtten onderzoekscentra zich op vraagstukken als de meest groeistimulerende samenstelling van de diverse kleuren licht (golflengtes).

P. de Smit heeft een armatuur met stuurlektronica ontwikkeld waarvan de lichtbron is opgebouwd met diverse soorten LED's. In samenwerking met L. Laseur is het bedrijf Lioris BV opgericht om het concept door te ontwikkelen en te vermarkten. In eigen proeven op laboratorium schaal, is gebleken dat de ontwikkelde lamp vele voordelen heeft ten opzichte van de nu standaard HD-Na lampen. Op basis van deze eerste testresultaten is de investering en terugverdientijd uitgerekend. Hieruit bleek het concept potentieel rendabel en technisch haalbaar. Deze eerste proeven waren echter op heel kleine schaal uitgevoerd (geen praktijk) en met minimale teelttechnische begeleiding uitgevoerd. Een TNO rapport bevestigde reeds de geclaimde lichtproductie en het energieverbruik.

Gezien de ontwikkeling van deze technologie, was een representatieve praktijktoets de volgende logische stap op weg naar een generieke en grootschalige marktintroductie. Uitgangspunt van de proef was daarom het reproduceerbaar aantonen of en hoe deze armaturen kunnen worden ingezet in de glastuinbouw. Doel: in twee gewassen elk een proefoppervlak van ca. 100 m<sup>2</sup> over een periode van 6 maanden met de LED armaturen te belichten en te monitoren. In die periode worden de relevante technische en teelttechnische parameters nauwkeurig in beeld gebracht t.o.v. een referentie vlak (eveneens teeltoppervlak van ca 100 m<sup>2</sup> met Son-T lampen). In dit onderzoek zijn de proefvlakken van beide teelten in bestaande bedrijven opgezet en onder gangbare klimaatcondities en behandelingen geteeld. Metingen vonden plaats in het midden van de proefvlakken, gezien hier bij benadering enkel natuurlijk licht en het licht van het beproefde medium voor assimilatie. Deze test was klein, snel en doeltreffend opgezet, slechts bedoeld om gemaakte claims en vragen omtrent plantgroei en energieverbruik te beantwoorden. Gericht onderzoek naar het mogelijk effect van de LED belichting op omgeving (specifiek kasklimaat, biologische bestrijders en mensen) viel buiten dit plan.

## 1.2. Onderzoeksopzet

In een stuk van de kas ter grootte van 100 m<sup>2</sup> zouden de SunLED armaturen voor een half jaar als belichting meedraaien. Het referentie vak met HD-Na lampen betrof eveneens 100 m<sup>2</sup>. De proefvakken zijn niet afgebakend zodat de planten in precies hetzelfde klimaat geteeld konden worden. De proefvakken zouden geen invloed van andere belichting ondervinden, zodat naast natuurlijk licht enkel de gekozen lichtsoort van invloed zou zijn op de plant, bloem en vruchtgroei. In de vergelijking tussen de proefvakken is gekeken naar o.a. groei, product kwaliteit en stressgevoeligheid. Het ging bij de proeven om de productie van droge stof en de manier van groei.

### Teelten

De proef is opgezet in zowel tomaat als roos, bij een reeds belichtende tuinder van het betreffende gewas. De proeven zijn bij telers uitgevoerd om zo de specifieke werking van de LED armaturen goed, objectief en representatief te vergelijken met HD-Na assimilatie. Voor juiste diepgang en acceptatie van de uitkomsten is Grow-inIT ingehuurd om te meten, analyseren en adviseren. Hiervoor installeerden zij het 'Growwatch systeem, waarmee o.a. plantreacties geregistreerd zijn. Een tweede vereiste was de deelname van de teeltadviseurs welke op voorhand al aan de bedrijven waren verbonden.

Keuze voor deze twee teelten:

- Tomaat. Dit is de grootste teelt in Nederland. Voordelige belichting is belangrijk in lange termijn planning van de kwekerijen. De proef is opgezet bij Van der Lans.
- Rozen. Deze teelt heeft voor het voortbestaan een spoedig kostprijsverlaging nodig, er zullen snelle beslissingen vallen. Proef is opgezet bij van der Berg Roses.

## 2. Praktijkproef Tomaat

Als voorwaarde voor een goede proefopzet in tomaat, was het noodzakelijk te testen in de donkerste periode. De bouw en ontwikkeling van de 200 Watt LED lamp werd hierdoor versneld. Door deze versnelling was de ontwikkeling van waterkoeling nog niet gereed. Voor de proeven is gekozen voor een luchtgekoelde versie, doordat deze armatuur minder licht produceert dan de watergekoelde variant, zijn de lampen dicht bij elkaar gehangen.

Diverse parameters zijn gedurende de proef met behulp van GrowWatch geregistreerd, metingen en enkele analyses van de gegevens zijn in Bijlage 1 en 2 opgenomen. Door medewerkers van het tuinbouwbedrijf zijn wekelijks gewasmetingen bijgehouden, deze zijn te vinden in Bijlage 3

### 2.1. (Teelt-) technisch verloop praktijkproef

In november 2007 is de proef van start gegaan met een proefvak van +/- 100 m<sup>2</sup>. Er werd belicht met 20 LED armaturen van 200 Watt. Het vermogen van de LED installatie betrof daardoor +/- 25 Watt per m<sup>2</sup>, tegen een HD-Na installatie van 105 Watt per m<sup>2</sup>. De Son-T lampen werden vervangen door LED armaturen. De tijdelijk gekozen luchtkoeling van het armatuur maakte dit prototype groter en zwaarder, maar zou niet onderdoen in lichtproductie.

In de eerste weken bleek de bladtemperatuur en de mattemperatuur zowel overdag als 's nachts ongeveer 2 graden lager te zijn, dit kan verklaard worden door het gebrek aan warmte van infrarood licht (IR straling). In de kas wordt het klimaat immers gestuurd op de aanwezigheid van Son-T lampen, waar IR licht standaard in zit. De planten in het proefvak kregen dunnere koppen, meer strekking en een groter maar ook dunner bladoppervlak. Eveneens was er een licht verminderde vruchtzetting te bemerken. Vochtigheid in de mat was hoog en de EC laag. Door gebrek aan warmte van IR licht, kan de lagere temperatuur in de mat verklaard worden alsook de verminderde verdamping. Dit met als logisch gevolg de verhoogde matvochtigheid en verlaagde EC in de mat. Hierdoor wordt de groei van de plant nadelig beïnvloed, maar het grotere en dunne blad, alsook de verhoogde strekking, werden bij benadering door zowel van der Lans als de teelt adviseur aan lichtgebrek toegeschreven. De gemeten lichtproductie was eveneens beduidend lager dan verwacht (27  $\mu\text{mol}$ ). De verwachtingen waren gebaseerd op metingen van TNO. Tevens bleek het niet mogelijk de watergift, warmteproductie en bemesting goed aan te passen aan de nieuwe situatie. Het tekort aan warmte bij de wortels en het teveel aan water en bemesting heeft de groei van de planten in het proefvak, zeker in de opgroei, zeer waarschijnlijk nadelig beïnvloed.

Oorzaken voor het lagere lichtniveau waren hoofdzakelijk technisch. Zo sloeg de beveiliging tegen oververhitting van de armaturen te snel aan, daardoor werd slechts 20  $\mu\text{mol}$  licht gemeten. Na modificatie bleek een spoel in de lampen te zwaar belast te worden, hierdoor raakten de lampen binnen een week defect en moesten gerepareerd worden. Na reparatie werd zo'n 30  $\mu\text{mol}$  licht gemeten. Gewasmetingen en metingen van Grow toonden dat de planten na de wijzigingen aanzienlijk aansterkte.

In de projectgroep werd besproken van hoeveel invloed het gemis aan IR straling zou hebben op het gewas. De lagere bladtemperatuur hoeft geen directe gevolgen te hebben op het gewas. In geval van jong gewas heeft het gemis aan IR straling echter tot gevolg dat de wortels niet voldoende worden opgewarmd, waardoor minder wortelgroei en minder opname van voeding het resultaat is. Dit gebrek zou opgevangen kunnen worden door een hogere buistemperatuur, eventueel zelfs directe matverwarming. In het proefveld bij het praktijkbedrijf was deze aanpassing niet te beproeven, aangezien het klimaat is ingesteld op de omstandigheid bij andere planten. Het

inbrengen van een extra stuk warmte net was geen optie, doordat het gewas al zwak stond en verwacht werd dat door toevoegen van warmte de plant nog verder zou verzwakken.

Enkele weken later groeiden de planten tot normale teelhoogte, het bladerdek zorgde er voor dat het gemis van IR straling minder invloed had op de mat temperatuur. Metingen wezen uit dat de plant ook na de technische wijziging nog steeds minder verdampte waardoor de mat in het proefvak natter bleef. Aangenomen mag worden dat de kwaliteit en hoeveelheid van de wortels in het proefvak op dit moment lager was dan in het referentie vak; om de planten en wortels niet te beschadigen is dit niet bemeten.

De bladtemperatuur in het proefvak bleef gemiddeld 1.5 graden lager. Wel werd een verdikking van de koppen merkbaar. Zowel de lengtegroei, het internodiën en de bladlengte bleven iets groter maar kwamen dichterbij de meet resultaten van het referentievak. De koppen werden nog niet 'paars van assimilaten', het aantal gezette tomaten wijzigde met eenzelfde percentage als in het referentie vak onder Son-T, maar bleef duidelijk achter in omvang. Doordat het gewas verzwakt was op het moment dat de beoogde lichthoeveelheid aangeboden kon worden, kon het vergelijk met het referentievak niet 1 op 1 gelegd worden. Het zwakke gewas had immers minder plantbelasting en kon dus in theorie per eenheid licht of voeding meer groei realiseren.

In de stuurgroepvergadering begin januari werd de discussie gevoerd, waardoor de tegenvallende teelt resultaten veroorzaakt konden worden, hieruit kwamen 3 mogelijke oorzaken:

- lichtkwantiteit (te weinig micromol)
- lichtkwaliteit (verhouding aangeboden spectrum, of gemis van kleuren als IR en groen)
- koude val door het gat in de 'warmte laag van IR'.

Het derde punt zou in een geïsoleerde proefopstelling niet voorkomen, maar was in de huidige situatie ook niet te beproeven of te verhelpen. Daarnaast lijkt het aannemelijk dat het koude gat, ontstaan door gemis aan IR, wordt opgevuld door de convectie warmte van de in deze proef luchtgekoelde LED armaturen.

Om meer inzicht te krijgen in de eerste twee potentiële oorzaken, werd in week 1 besloten om de lampen tijdelijk dicht bij elkaar te hangen, geconcentreerd boven het midden van het proefvak om daar een hogere kwantiteit aan licht te produceren. Het vermogen van de LED installatie kwam daarmee op +/- 45 Watt per m<sup>2</sup>. De verbetering van het gewas werd duidelijk zichtbaar in (gewas) metingen en na enkele dagen stonden de koppen wel paars van assimilaten. Het was in deze proef niet te meten of verbreding van aangeboden spectrum meer voordeel op kan leveren, aangezien het verzwakte gewas bij aanvang van deze laatste beproeving een lage plantbelasting had (weinig en kleine vruchten, weinig bloemen, dun blad, etc.).

De instraling liep vanaf februari behoorlijk op wat direct effect had op het gewas. Duidelijk bleek dat de uitwerking van het LED licht nog lang niet gelijk was aan het effect van Son-T licht. Door de groeiende instraling, kreeg de hoeveelheid LED licht een steeds kleiner aandeel in de totale lichtsom, waardoor vanaf februari de effecten van de LED installatie niet meer als aantoonbaar of herleidbaar werden beschouwd. Het proefvak had ook nog eens te maken met een nog steeds achterblijvend gewas, waardoor geen reëel vergelijk met de referentie getrokken kon worden. Met deze redenen werd besloten de proefopstelling in tomaat vroegtijdig af te breken.

## 2.2. Conclusie

Uit de proef in tomaat is geleerd dat de juiste lichtsterkte of golflengten nog niet gevonden zijn. Tot dan toe waren de diverse leveranciers van LED armatuur er vanuit gegaan, dat eenzelfde productie behaald kan worden met slechts 20 tot 30 % van het licht. In het door PT en LNV geïnitieerde ondernemersplatform Licht, waren onderzoekers en ondernemers het er over eens dat nog niet is aangetoond dat een aanzienlijk lagere hoeveelheid LED licht ten opzichte van Son-T, uitgedrukt in micromol, een gelijke productie kan leveren. Samen met de resultaten van de proef was dit reden voor de projectgroep om te stellen dat volgende proeven met LED, een gelijke hoeveelheid micromol als de referentie proef moeten hebben. Dit om eerst zeker te kunnen stellen, dat met een gelijke hoeveelheid LED licht een gelijke productie en kwaliteit behaald kan worden. Met een dusdanige opstelling, kan in later stadium van een proef eenvoudig de lichtsterkte van de LED's gedimd worden, tot het niveau wat een gelijkwaardige groei en kwaliteit tot gevolg heeft. En daarbij kan het economische breakeven punt behaald worden.



### 3. Praktijkproef Roos

Gezien de voorgekomen technische problemen met de ontwikkelde 200 Watt armaturen, werd besloten voor de proef in roos de 80 Watt armaturen te gebruiken. Deze waren immers verder ontwikkeld en vaker beproefd.

De proef in roos startte in week 9 met 60 m<sup>2</sup> proefoppervlakte. 60 lampen van 80 Watt hingen op 100 cm afstand van elkaar. Het vermogen kwam daarmee op 80 Watt per m<sup>2</sup>. Volgens berekening van de projectgroep (op basis van de ervaringen in Tomaat en de door TNO uitgebrachte testrapport van 1 lamp) moest deze opstelling voor de gewenste 200  $\mu\text{mol}$  zorgen.

Helaas hebben de metingen van Growwatch in deze proef niet volledig kunnen plaatsvinden door diverse storingen. De beschikbare metingen zijn van 1 week weergegeven in Bijlage 4.

#### 3.1. (Teelt-) technisch verloop praktijkproef

Om de plantivity te meten wordt onder een meetinstrument één blad ingeklemd. Medewerkers lopen en werken tijdens oogst- en gewaswerkzaamheden echter dusdanig ruw, dat het ingeklemd rozenblad zo goed als dagelijks uit de klem schoot. De fout bleek lastig te corrigeren in een commerciële kas. Om de registraties van dit meetinstrument goed te kunnen beoordelen, is het nodig van één blad een continue meting gedurende een etmaal uit te voeren. Door de manier van oogst- en gewaswerkzaamheden was dit helaas niet mogelijk.

Eerste metingen wezen uit dat in het midden van de proef slechts 140  $\mu\text{mol}$  licht op plantniveau terecht kwam (in de nacht). Het gebrek aan IR-straling zorgde eveneens voor een lagere planttemperatuur, het verschil was gemiddeld 0,4 graden Celsius. De VPD en de ruimtetemperatuur waren echter hoger onder LED.

In de berekening voor het oorspronkelijke lichtplan (het ophang schema), werd uitgegaan van maximaal 2 meter afstand tussen de kop van het gewas en de lichtbron. Echter doordat op de locatie met een spuitboom gewerkt wordt, konden de lampen niet dichterbij dan 3.5 meter boven de top van het gewas hangen.

Door DLV zijn lichtmetingen gedaan om inzicht te krijgen in het verloop van lichtintensiteit (Bijlage 5). In het midden van het proefveld, bij volledige belichting Son-T en LED, werd 140  $\mu\text{mol}$  gemeten. De hoeveelheid liep op naarmate de meting verder naar de buitenrand van het proefvak wordt verricht. Bij enkel Son-T aan en de LED's uit, werd in het midden van het LED proefvak 110  $\mu\text{mol}$  gemeten. Bij enkel LED aan en dus Son-T uit, werd in datzelfde proefvak 35 tot 40  $\mu\text{mol}$  gemeten. De gebruikte meetapparatuur voor lichtsterkte werd echter door de lampfabrikant bekritiseerd. Er is namelijk een LI-COR LI-250 lichtmeter gebruikt, deze meet de lichtsom aan golflengten van 400 tot 700 nanometer. De golflengten aan de rand van het bereik, worden echter minder sterk gemeten. De gebruikte LED's produceren echter vooral licht met een golflengte aan de randen van dit zogenaamde PAR gebied. Door de werking van de lichtmeter wordt de werkelijk geproduceerde hoeveelheid licht van deze golflengte, slechts ten dele en daarmee onnauwkeurig gemeten.

Tellingen en gewichtsbepaling van de oogst van struiken in de middelste twee vierkante meter van het proefvak zijn specifiek bijgehouden. De gesteldheid van de planten bleef goed, echter gedurende de looptijd van de proef is 10 tot 12% minder opbrengst in kilo's behaald. Dit uitte zich in een verlaagd aantal takken en een verlaagd gemiddeld gewicht per tak. De verminderde hoeveelheid geproduceerde vaste stof en het aantal stelen, leek vooral veroorzaakt te worden door het grote verschil in lichthoeveelheid ( $\mu\text{mol}$ ). Tevens bleek bij nader onderzoek een ventilator van

een meetkast van de Growwatch, een constante luchtstroom op één van de struiken binnen het meet gebied te blazen. Het moment waarop dit werd ontdekt was helaas tegen het einde van de proef, waardoor geen duidelijkheid bestaat over de eventuele uitwerking van deze luchtstroom op de groei van takken. Wel had deze struik op moment van constateren slechts korte scheuten.

De projectgroep beraadde zich over de juistheid van de proef, de gehele installatie en het te bereiken effect van de proefopstelling. Duidelijk was dat verder testen met de huidige opstelling weinig nut zou hebben, aangezien er ten opzichte van LED licht tot zelfs 2 maal zoveel licht van de Son-T in het midden van het proefvak gemeten werd (te weten met de genoemde Li-Cor meter).

De lampfabrikant ontdekte bij eigen metingen dat de in deze serie lampen gebruikte LED's, een groot deel van de lichtproductie onder een hoek van 180 graden uitstraalde, in plaats van de in theorie voorziene 60 graden. Door de LED lampen lager te hangen en met reflectoren te werken, zou het totaal aan geproduceerd LED licht binnen het proefvak gehouden kunnen worden en daardoor meer licht op de planten uitstralen. Ook had zij bedoeld de lampen 80 cm uit elkaar te hangen, de installateur heeft deze echter op 1 meter afstand gehangen, wat ook een deel van het lichtverlies zal veroorzaken.

Met de wijziging van lagerhangen, een tussenafstand van 80cm en ophanging van reflectoren, zou de hoeveelheid licht aanzienlijk vergroot kunnen worden, maar naar verwachting nog niet de gewenste 200 micromol behaald worden. Dit ondanks dat de rapporten van TNO waarop de proefopzet is gebaseerd anders aangaven. De licht meting van DLV toonde slechts 39  $\mu\text{mol}$  LED licht in het midden van het proefvak. Doordat rozen niet zo hoog groeien en de licht installatie niet lager gehangen kon worden, had het Son-T licht in deze opstelling relatief te veel invloed op de proef wat de meetresultaten onbetrouwbaar maakt. De tuinder en teeltadviseur zijn ervan overtuigd dat de overmatige toetreding van Son-T licht als voordelige effect heeft gehad dat het gewas nog redelijk bleef produceren. Met andere woorden dat afscherming van Son-T in het proefvak een nog lagere opbrengst zou hebben gegeven.

De discussie werd gevoerd over het nut van voortzetten van de proef. Aan één van de belangrijkste voorwaarden voor de proef, te starten met 200  $\mu\text{mol}$ , werd niet voldaan. Ook de genoemde aanpassingen zullen naar verwachting slechts een deel van de achterstand inhalen. De projectgroep is het er over eens dat LED de toekomst voor belichting in de tuinbouw wordt/is, dit mede door de snelle ontwikkelingen op LED gebied en hoge verwachtingen van optimalisatie (meer  $\mu\text{mol}$  per Watt) in de toekomst. Tot nu toe heeft echter nog geen van de prototypes de beloften bij benadering weten te vervullen. Daarmee is de stelling 'door slechts een deel van het spectrum en de kwantiteit licht te geven is gelijke productie mogelijk' vooralsnog niet bewezen. Daarbij komt dat de tuinder met wie we de proef is opgezet terecht verlangde dat er voordat er verdere aanpassingen zouden worden gedaan aan de proefopzet, de armaturen eerst de 200 micromol zouden moeten leveren. Deze eis, hoe terecht ook, bleek niet direct te kunnen worden ingevuld. De eis van dhr. van der Berg werd ingegeven mede door de wens op termijn meer dan 10.000 lux aan de planten toe te dienen in een combinatie van Son T en LED armaturen.

### 3.2. Conclusie

Voorwaarde voor de start van een volgende proef is dat er evenveel  $\mu\text{mol}$  LED licht gerealiseerd moet worden als in de bestaande Son-T lampen en dat er overeenstemming is over de meetmethoden. Onderzoekstechnisch is het in dit stadium van minder belang of het beloofde lage energieverbruik al behaald kan worden. Prioriteit moet gegeven worden aan de vraagstukken hoeveel en welke kleuren licht nodig zijn, alsook de samenstelling van het klimaat en teeltplan, om

te komen tot een minimaal gelijke productie. Deze kennis kan al opgedaan worden gedurende de ontwikkeling van rendabele LED's en armatuur. Gegeven deze situatie was de projectgroep van mening in de rozen proef nu geen verdere nieuwe kennis op te kunnen doen en besloot daarom de proef te staken, om geen verder budget te verspillen.

## 4. Effect van LED belichting op klimaat en plantfysiologie

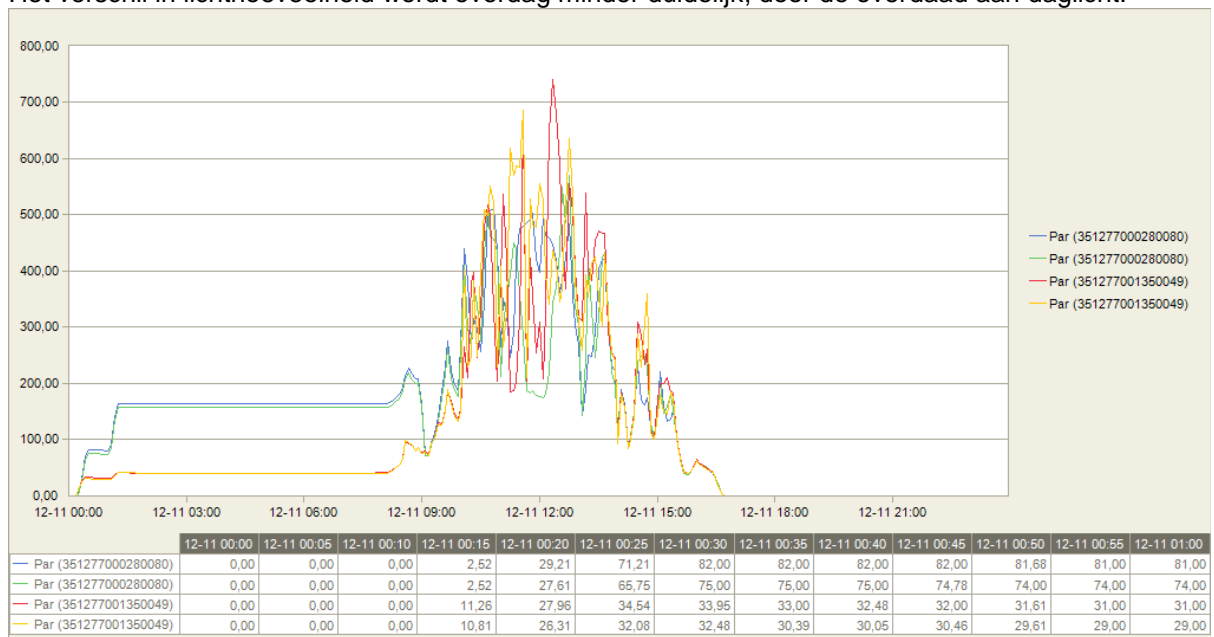
LED belichting heeft ten opzichte van HD-Na een ander effect op het klimaat en de plantfysiologie. LED geeft immers geen warmte aan het groeimedium of het plantoppervlak via infrarode straling. In dit hoofdstuk beschrijven we aan de hand van metingen, theorie en praktijkervaring welke effecten optreden.

### 4.1. Licht hoeveelheid en plantgroei

Wanneer we het hebben over de hoeveelheid groeilicht die geproduceerd wordt, is het beter te praten in micromol ( $\mu\text{mol}$ , of  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) PAR licht, dan de hoeveelheid Lux.

Om het verschil in lichtproductie van de lampen te herleiden, kijken we naar metingen in de nacht, wanneer er geen lichtinvloed van buitenaf is.

Figuur 1 geeft de lichtmeting van een willekeurige proefdag in tomaat weer. De gele en rode lijn zijn bemeaten in het proefvak LED, de blauwe en groene lijn in het proefvak met HD-Na lampen. Ook is af te lezen dat de LED lamp (geel en rood) al snel de maximale hoeveelheid licht produceert, waar de HD-Na lamp het lichtniveau iets rustiger opbouwt. Ook is bij de metingen in de nacht duidelijk te zien, dat de LED lampen minder groeilicht produceren dan de HD-Na lampen. Het verschil in lighthoeveelheid wordt overdag minder duidelijk, door de overdaad aan daglicht.



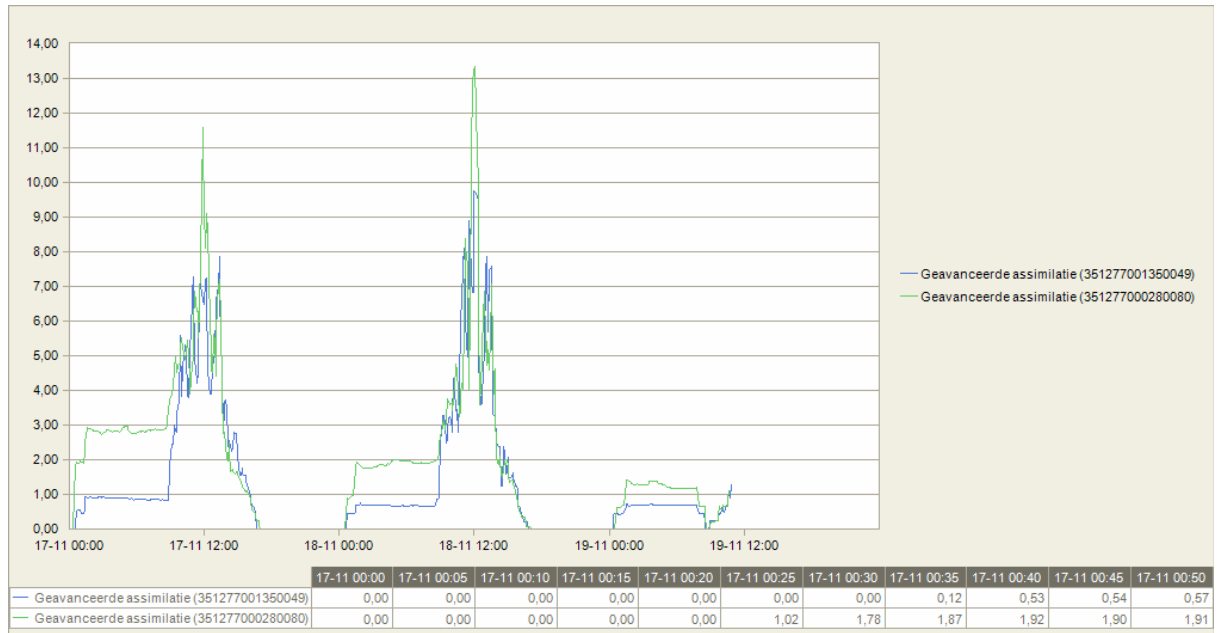
Figuur 1.

Figuur 2 laat de assimilatie ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ blad s}^{-1}$ ) van het blad zien. De groene lijn betreft metingen in het vak met HD-Na, de blauwe lijn in het vak met LED belichting. Wanneer we weer naar de nachtelijke metingen kijken, is duidelijk een afname van assimilatie te zien voor beide behandelingen. Dit komt doordat de hoeveelheid PAR licht op bladniveau (=Par PAM = blad in Plantivity klem) afneemt.

De afname van ParPAM licht is bij HD-Na lampen groter dan bij de LED verlichting terwijl de "gewone" PAR sensoren geen vermindering van PAR laten zien.

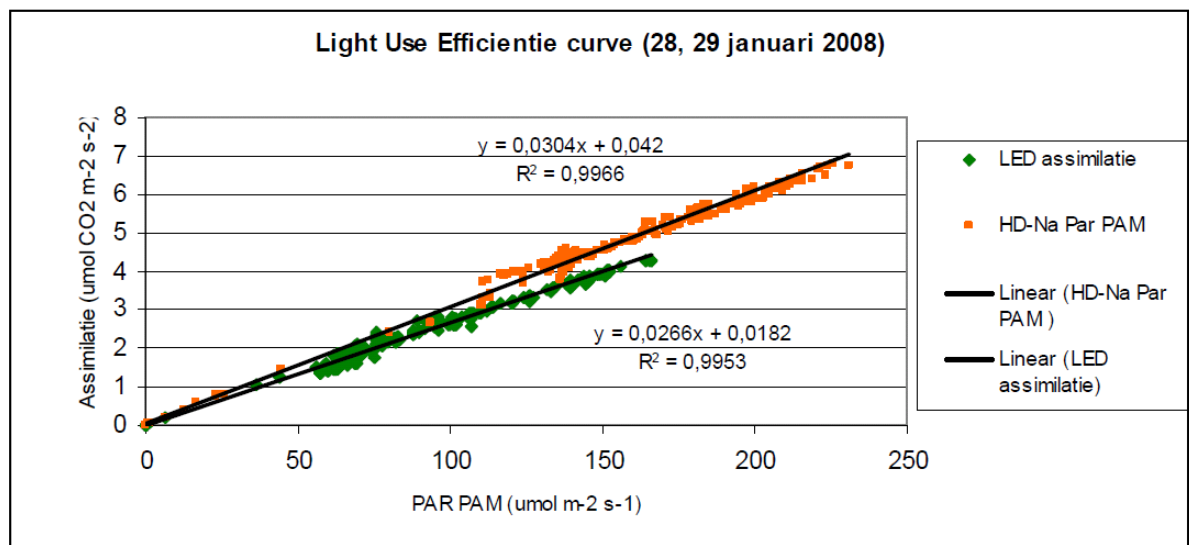
De afname van ParPAM is te verklaren doordat er meer groei van de planten onder HD-Na

was dan onder LED. Het mag duidelijk zijn dat de LED lamp in deze opstelling geen betere prestaties leverde dan Son-T.



Figuur 2.

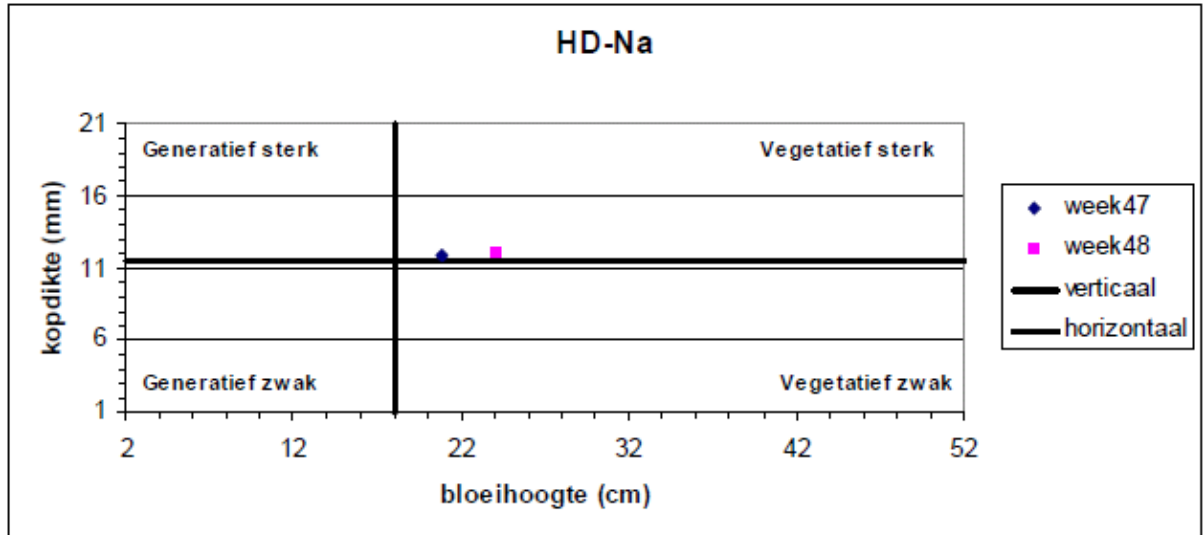
De lijnen in figuur 3 zijn opgebouwd uit "5-minuten" metingen van twee dagen. De helling van de lijn, die overeenkomt met de richtingscoëfficiënt, is een maat voor de licht efficiëntie. Een grotere helling houdt in dat er met minder licht meer geassimileerd wordt, i.e. meer CO<sub>2</sub> vastgelegd met minder licht. De helling van de HD-Na lamp is 0,031 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> per μmol PAR PAM m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> en voor de LED lamp is dat 0,027 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> per μmol PAR PAM m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>. Dit betekent niet dat de LED verlichting per direct minder efficiënt is dan de HD-Na verlichting, het verschil is dermate klein dat er op basis van deze metingen geen harde conclusies kunnen worden getrokken. Maar het kan echter wel een indicatie zijn dat het blad iets anders opgebouwd wordt (bijv. morfologisch). De keus voor het gebruikte spectrum is gebaseerd op meer algemene proeven, door gewasgericht op zoek te gaan naar de juiste kleurcombinatie, zal het verschil in efficiëntie verwaarloosbaar worden.



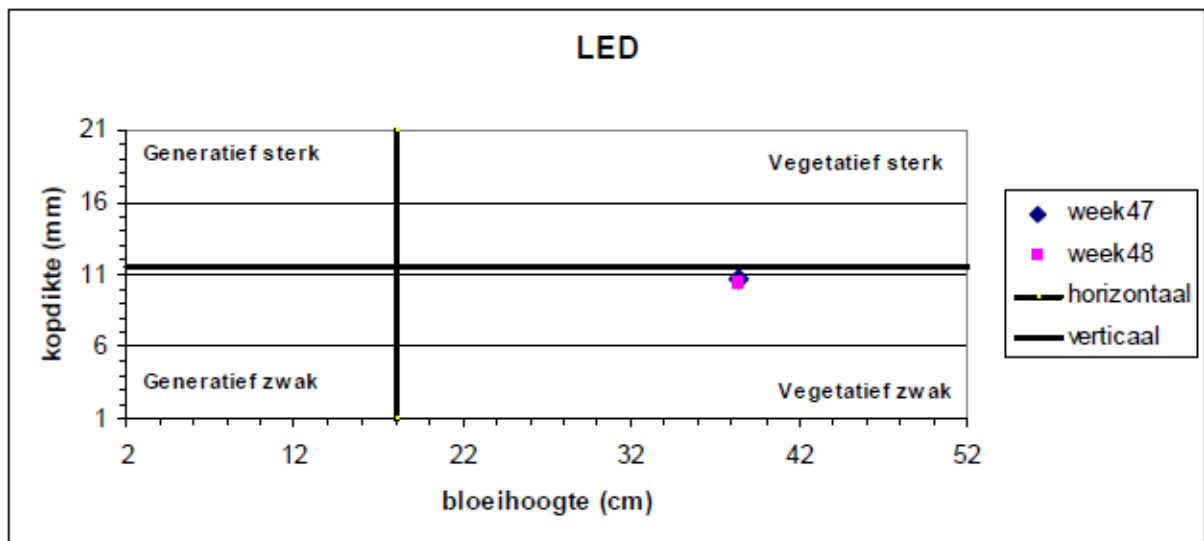
Figuur 3.

Dit verschil in bladopbouw, werd door de kweker en teeltadviseur zichtbaar geacht en tevens bevestigd door analyse van de handmatige gewasmetingen. Figuur 4 toont de generatieve en vegetatieve stand van het gewas onder de HD-Na lampen. De metingen zijn genomen op het

moment dat de planten van redelijk formaat waren. De stand van de teelt onder HD-Na is zowel gemiddeld in sterkte als in de balans tussen generatief en vegetatief. Zoals bedoeld in dit groei stadium, toont de grafiek een gematigde verschuiving naar meer vegetatieve groei. De tomatenplanten onder LED (figuur 5) staan in dit stadium duidelijk te weinig generatief, ook is er een verzwakte vrucht ontwikkeling te zien.



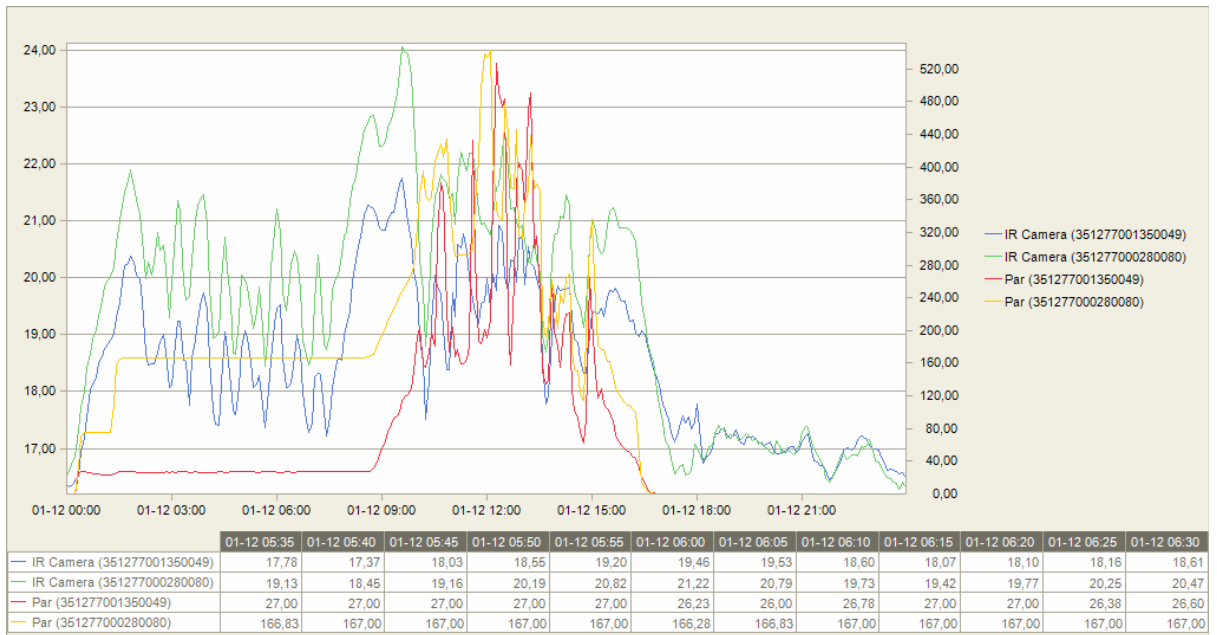
Figuur 4.



Figuur 5.

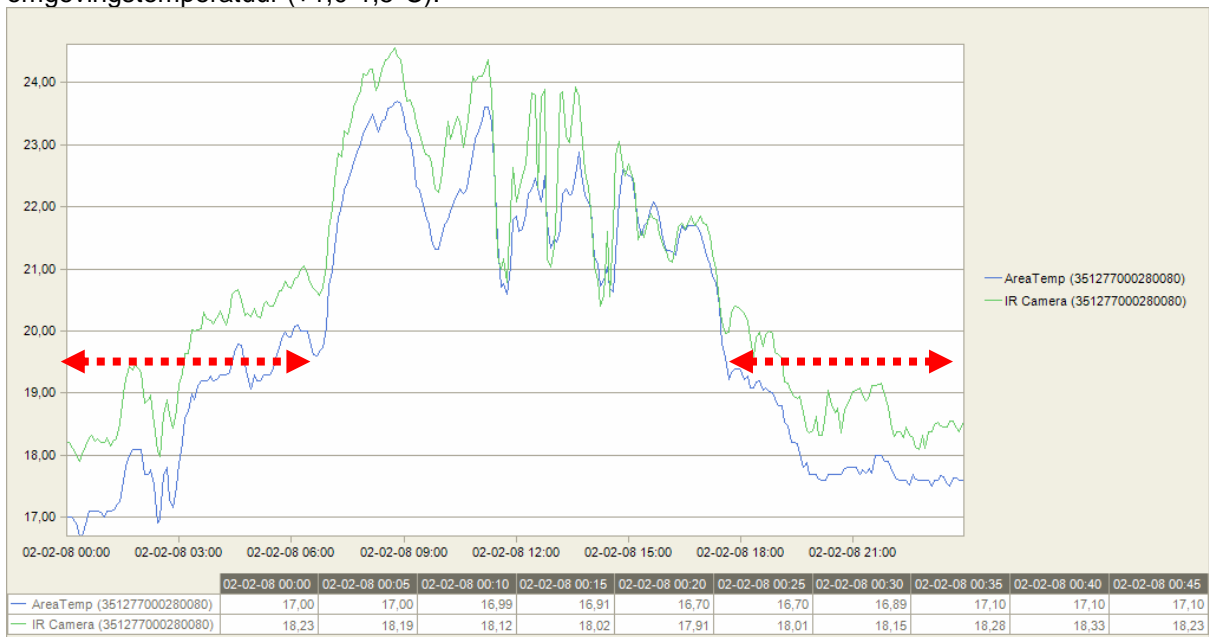
#### 4.2. Verschil bladtemperatuur tussen LED en HD-Na

Het verschil in planttemperatuur en licht hoeveelheid tijdens de nacht is te zien in figuur 6. De blauwe lijn is hier de bladtemperatuur onder LED en de groene lijn onder HD-Na. Tijdens de dag is het verschil in  $\mu\text{mol PAR}$  naar verhouding kleiner omdat beide behandelingen dezelfde hoeveelheid daglicht krijgen. Daarentegen blijft het verschil in bladtemperatuur nagenoeg gelijk zolang er belicht wordt. Wanneer de lampen uit gaan en de zon ondergaat, daalt de bladtemperatuur onder HD-Na sneller dan onder LED. Dit kan mede verklaard worden door dat de infrarode straling (IR) van zowel de zon als de HD-Na lampen wegvalt. De planten onder LED koelen daardoor gematigder af, slechts beïnvloed door de ondergaande zon, klimaat temperatuur en koeling door de processen van de plant zelf (zoals verdamping).



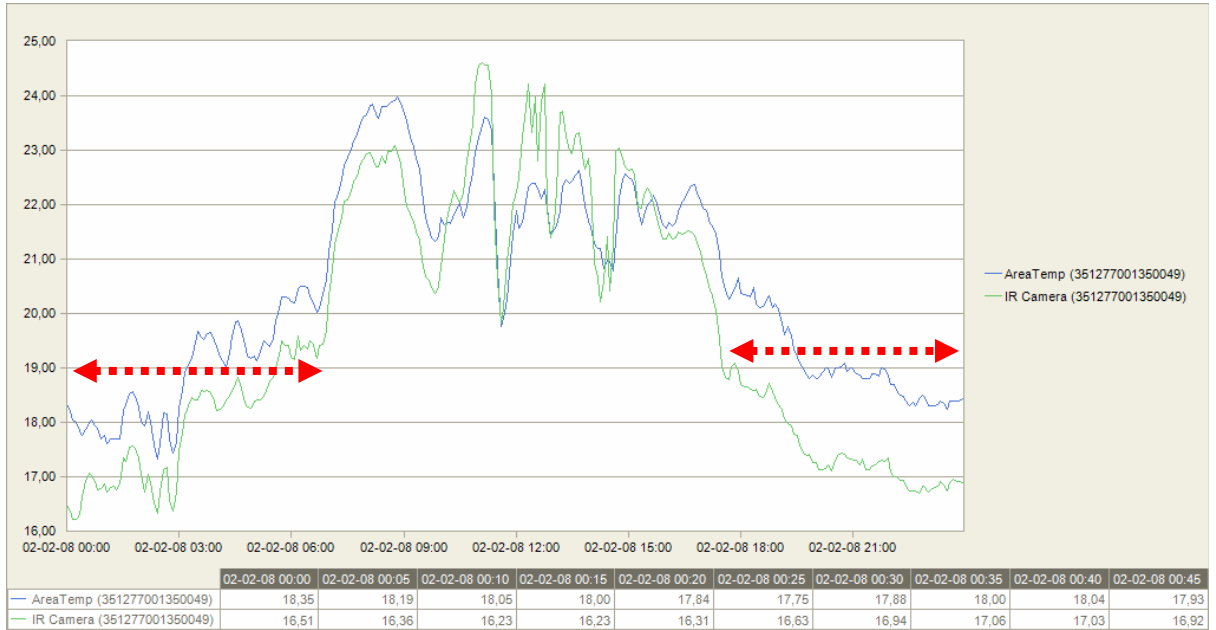
Figuur 6.

In figuur 7 wordt een vergelijk getrokken tussen het verloop van ruimte- en planttemperatuur onder HD-Na gedurende een dag. Hierbij is de blauwe lijn de ruimtetemperatuur en de groene lijn de bladtemperatuur. Met de rode pijlen is aangegeven wanneer er geen natuurlijk licht aanwezig is (zon onder). Het valt op dat de bladtemperatuur in deze perioden een stuk hoger ligt dan de omgevingstemperatuur (+1,0-1,5°C).



Figuur 7.

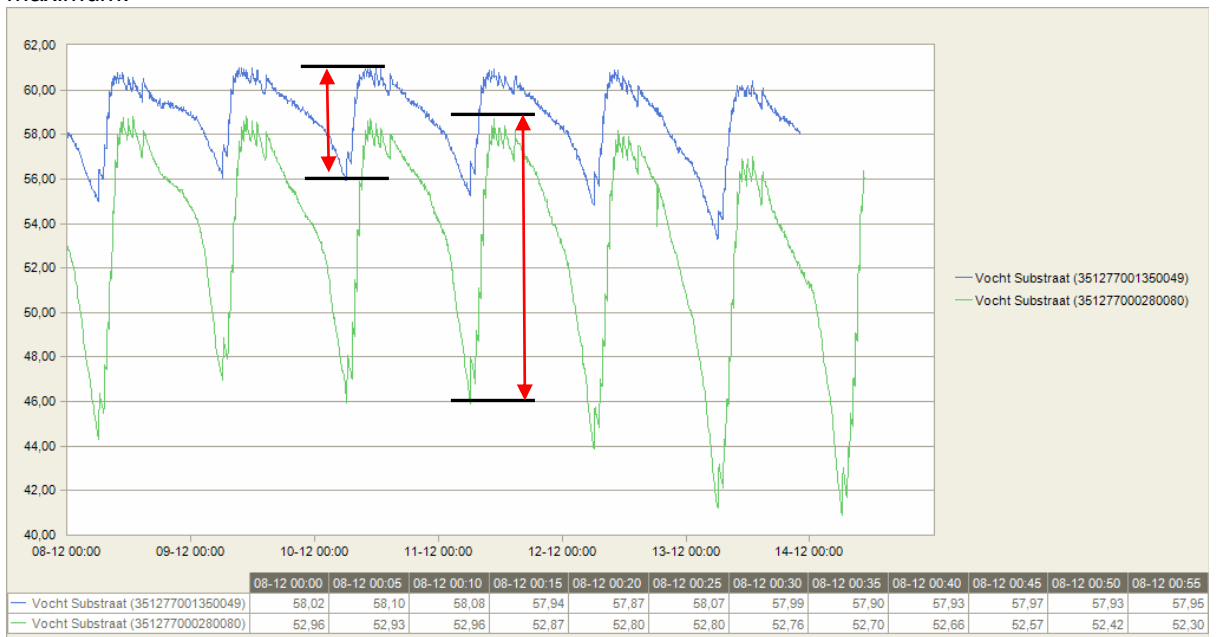
Dit effect is omgekeerd bij de planten in het LED vak. In figuur 8 is te zien dat de planttemperatuur onder LED met name in de perioden zonder natuurlijk daglicht lager ligt dan de omgevingstemperatuur.



Figuur 8.

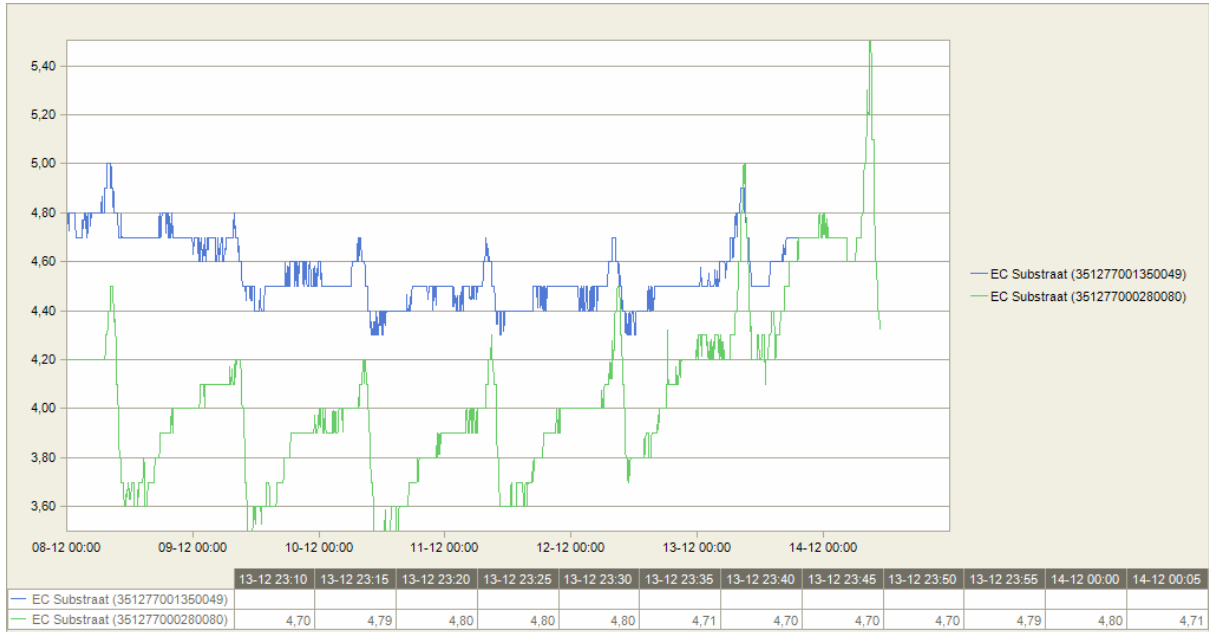
### 4.3. Verschil vocht en EC in de mat

De rode pijlen in figuur 9 geven van de beide proefvelden in tomaten, het verschil in maximale en minimale vocht percentage in de mat. De grafiek geeft de metingen gedurende een week. De groene lijn is het vochtgehalte in de mat onder HD-Na verlichting en de blauwe voor de LED verlichting. Doordat de planten onder LED minder vocht opnemen is het verschil tussen maximale en minimale vocht percentage ook veel minder. Doordat de automatische watergift in beide proefvelden gelijk was, bereikte het vochtpercentage in de mat onder LED bij elke watergift het maximum.



Figuur 9.

Tijdens de nacht verdampt het tomatengewas onder LED verlichting minder dan onder HD-Na verlichting. In figuur 10 laat zien dat de EC in het substraat onder de LED verlichting (blauwe lijn) hoger ligt dan bij de HD-Na lampen (groene lijn).



Figuur 10.

Gezien de planten onder LED minder vocht opnemen, is het interessant te kijken of er een correlatie is met de dampdrukspanning (VPD, Vapour pressure difference). VPD is geeft als meetwaarde het verschil tussen de actuele waterdampdruk van de lucht en de verzadigende waterdampdruk van de lucht bij een gelijke temperatuur als gedurende de meting. Eenvoudig gezegd, geeft de VPD waarde inzicht in hoeveel vocht er mogelijk door de lucht kan worden opgenomen en zegt iets over de kans op verdamping of condensatie.

Als er meer vocht wordt toegevoegd aan de lucht dan de verzadigende waterdampdruk bij die temperatuur ontstaat er condens. Een lagere VPD betekent een hogere lucht vochtigheid, en omgekeerd. Hoe groter de VPD hoe sterker het drogende effect van de lucht, dus een grote drijvende kracht voor de plant om vocht naar het bladoppervlak te transporteren tegen uitdroging. Mede met het transporteren van vocht kunnen voedingsstoffen door de plant getransporteerd worden en zal meer vocht en voedingsstoffen door de wortels opgenomen worden.

In figuur 11 staat de VPD waarde in de tomaten proefvelden af te lezen, bemeten over een periode van 3 dagen. Het verschil in VPD tussen het LED vak en het HD-Na vak toont dat er onder LED een hogere luchtvochtigheid en daardoor een verminderd drogend effect is. Bepaling van de oorzaak of de oplossing hiervan, heeft in deze proeven niet plaats kunnen vinden.

	Minimum	Maximum	$\Delta$ (verschil)	Gemiddeld
VPD LED (kPa)	0,16	1,06	0,9	0,45
VPD HD-Na (kPa)	0,33	1,09	0,76	0,6

Figuur 11.



## 5. Confrontatie met project en planning

De resultaten lieten het niet toe berekeningen te maken die qua energiewinst zo duidelijk en eenduidig zouden zijn dat verantwoord en onderbouwd kan worden geïnvesteerd in een kas vol LED belichting. Wel is meer duidelijkheid verkregen in welke stappen de ontwikkeling van techniek en kennis nodig zijn, om te komen tot een renderend product en op termijn tot verantwoorde investeringen.

Ten opzichte van het oorspronkelijke projectplan, zijn de volgende wijzigingen aangebracht:

- 1) Testen in de donkere periode was een vereiste voor de tuinbouwondernemers. De bouw en ontwikkeling van de LED lamp werd hierdoor versneld. Door deze versnelling was de ontwikkeling van waterkoeling nog niet gereed. Voor de proeven werd gekozen voor een luchtgekoelde versie.
- 2) In de proef met tomaat bleek de lichtopbrengst meermaals te laag. Oorzaken hoofdzakelijk technisch:
  - i) Technisch mankement: hitte beveiliging sloeg te snel aan, daardoor slechts 20  $\mu\text{mol}$  licht gemeten.
  - ii) Na modificatie ivm. punt i, werd een spoel in de lamp te zwaar belast waardoor de lampen een voor een defect raakten.
  - iii) Ook in de donkere periode na verhelpen van de technische problemen, toonden de planten nog veel strekking in de kop, dunne grote bladeren, echter geen zichtbare assimilaten in de kop. Dit alles wees op licht tekort, gekozen werd om de lampen 2 maal zo dicht bij elkaar te hangen..
  - iv) Bovenstaande wijzigingen bracht de hoeveelheid licht tot zo'n 30  $\mu\text{mol}$ , gewasmetingen en metingen van Grow toonden dat de planten aanzienlijk aansterkte.
  - v) Door naderen van einde belichtingseizoen tomaat, liep de natuurlijke lichtinval behoorlijk op. Hierdoor was de hoeveelheid LED licht nog maar 10 % van de totale lichtsom.
  - vi) Door bovenstaande gebeurtenissen heeft de projectgroep besloten de proef vroegtijdig te staken.
- 3) In het beginstadium proef tomaat werd door het gemis aan IR licht een koude mat en plant gemeten, met verminderde wortelgroei als gevolg. Duidelijk werd dat de wortels met LED belichting anders opgewarmd moeten worden. De mogelijkheid werd geschetst dit in de toekomst te doen met het opgewarmde koelwater van de lampen.
- 4) Naar aanleiding van de proef in Tomaat en gesprekken met onderzoekers en ondernemers binnen Ondernemersplatform Licht, werd besloten de vervolgproef roos met 200  $\mu\text{mol}$  licht in te gaan. Mocht dit teveel blijken, kan het lichtniveau nog eenvoudig teruggebracht worden.
- 5) Na 4 weken rozenproef bleek het proefvak ongeveer 12% productie achterstand te hebben t.o.v. de referentie.

- 6) Lichtmeting in de roosproef toonde dat de LED lampen slechts 40  $\mu\text{mol}$  gaven in het midden van het proefvak. Instraling van HD-Na licht bleek op dat punt +/- 100  $\mu\text{mol}$  te zijn. Het nut en de noodzaak van proefvoortzetting werd veelvuldig besproken, waarbij volgende leerpunten van belang waren:
  - i) Lichtmetingen waren tot nu toe met een meetinstrument gedaan, welke het spectrum van 400 tot 700 nm registreert. Gebleken is echter dat de curve van meetgevoeligheid, aan de randen van het spectrum afnemen. De LED's van de Lioris lamp maken voor een groot deel licht wat aan de randen van het meetspectrum van dit apparaat liggen terwijl de lichtoutput van HD-Na lampen aan de randen van dit spectrum juist minder licht produceren. Er is dus een serieus verschil in geproduceerd LED licht en wat wordt bemeten.
  - ii) De lampen in de rozenproef hingen zo'n 2.5 á 3 meter boven het gewas. Gebleken is dat de afstand van de lamp van degelijke invloed is op de effectiviteit van het licht. Een afstand van 1 meter, in plaats van 2, zorgt voor zo'n 15% meer lichtopbrengst.
  - iii) Gebleken is ook dat de LED's nog een behoorlijke hoeveelheid licht onder een hoek van +/- 180 graden uitstralen. Door toevoeging van reflectoren zou de lichtopbrengst op gewas niveau met zo'n 30% vergroot kunnen worden.
  - iv) Door bovenstaande gebeurtenissen heeft de projectgroep besloten de proef vroegtijdig te staken.
- 7) Gebleken is dat het maximum op te hangen vermogen aan HD-Na lampen bij rozentelers bepaald word door de warmte productie van deze lampen. Dit levert in de zomer namelijk teveel problemen op. Wanneer door bijvoorbeeld LED lampen het warmteprobleem verholpen zou worden, kan meer licht voor meer productie zorgen. De belangen en daarmee de break even voor het juist beproeven van de LED armaturen liggen voor een rozen teler anders dan voor een tomatenteler.
- 8) Na vervroegd stopzetten van de rozenproef heeft de projectgroep uitgesproken een nieuwe proef op te willen zetten met tenminste 200  $\mu\text{mol}$  LED licht in een aparte proefkas. Men heeft hiertoe een projectplan en voorstel willen schrijven om het resterend budget van het huidige project beschikbaar te stellen voor de nieuwe proef. De projectgroep heeft na meerdere overleggen en veel inspanning besloten niet gezamenlijk tot een projectopzet over te gaan.

## 6. Conclusies en aanbevelingen

LED straalt geen IR uit, wat leidt tot andere plantreacties (o.a. op gebied van verdamping en planttemperatuur). Voor volgende testen is duidelijk dat de proefomstandigheden uiterst zorgvuldig verzorgd moeten worden en ook zodanige maatregelen moeten worden getroffen dat de meetresultaten reproduceerbaar zijn. Hoewel een praktijkomgeving snel antwoord geeft op de vraag of iets rendabel is, blijken er proeftechnisch ook veel beperkingen te zijn. Door de proefomstandigheden konden er binnen dit project onvoldoende aanpassingen gedaan worden, die voor de resultaten wel van belang zouden kunnen zijn. Hierdoor kon ook nog niet worden aangetoond in hoeverre het gebrek aan IR straling en overige invloeden oorzaak zijn geweest voor de lagere productie. De meting van groeilicht in  $\mu\text{mol}$  blijkt een goede vergelijking te zijn voor vergelijkende proefnemingen. Inmiddels is deze eenheid al meer bekendheid in de sector gekregen.

Uit de proeven blijkt bij telen onder LED belichting een warmte behoefte in de mat, voorzorgsmaatregelen getroffen moeten worden. Ook is het nodig, in volgende proeven de gehele omstandigheid van klimaat en lichtinval te kunnen reguleren (inclusief afscherming tegen directe invloeden van buiten). Hiervoor kan het aan te bevelen zijn om verdere proeven niet in een praktijksituatie maar in een proefkas te testen waar e.e.a. beter kan worden beheerst en de condities kunnen worden gegarandeerd.

De bij dit project betrokken partijen (ver)volgen onderzoek en ontwikkelingen in een andere samenstelling. Voor eventueel volgende proefnemingen is het van belang dat de gebruikte technologie (lampen én meet apparatuur) in een vergevorderd stadium van ontwikkeling zijn. De te gebruiken hardware dient beproefd en betrouwbaar te zijn, een te vroeg stadium van technische ontwikkeling blijkt immers een groot risico voor het kostbare praktijkonderzoek. De opzet van meet en proef omstandigheden verdienen meer afstemming in de projectgroep, als ook de inbreng van meer ervaren onderzoekers, opdat tussentijdse wijzigingen in proefopzet zeer nadelig werken op de betrouwbaarheid en inhoud van analyses. Voor gebruikers van een nieuw systeem behoeft het aanbeveling vooraf duidelijke eisen te stellen, bijvoorbeeld aan het lichtniveau en het ontwerp.

Voor de planning van nieuwe proeven, verdient het aanbeveling deze door te spreken met het inmiddels opgezette 'ondernemersplatform licht'. Dit platform vormt een schakel tussen tuinbouwondernemers, toeleveranciers, onderzoekers en beleidsmakers wie binnen de tuinbouw te maken hebben met het gebruik, ontwikkeling en onderzoek naar het kunstmatig belichten van teelten. Het ondernemersplatform licht creëert door gestructureerd overleg een heldere blik op lopende onderzoeken naar optimalisatie en energiebesparing, de ontwikkeling van kennis en het benoemen van aandachtsgebieden voor onderzoek, op het gebied van belichting.

### Geleverde producten gedurende projectduur

- 12-02-08 : Berichtgeving stand van zaken t.b.v. bijeenkomst ondernemersplatform Licht.
- 25-03-08 : Werkgroep Economie en Techniek van LTO Groeiservice legt bezoek af.
- 26-04-08 : Artikel in 'Nieuwe Oogst' (Bijlage 6).
- April 2008 : 2 pagina's groot artikel in 'Onder Glas' (Bijlage 7).
- 05-05-08 : Concept tussenrapportage aan PT gestuurd.
- Oktober '08 : Op verzoek nieuws artikel in concept aan PT gestuurd (Bijlage 8).
- 26-11-08 : Presentatie bij Thema Tuinen, door Grow (Bijlage 9).

## 7. Bijlagen

Aan deze eindrapportage zijn volgende bijlagen toegevoegd:

- Bijlage 1 : Grow metingen tomaat, Lans 2007
- Bijlage 2 : Grow metingen tomaat, Lans 2008 (hogere belichtingsgraad)
- Bijlage 3 : Plantmetingen tomaat per week
- Bijlage 4 : Grow metingen roos, v/d Berg week 18
- Bijlage 5 : DLV rapport lichtmeting bij v/d Berg
- Bijlage 6 : Artikel in 'Nieuwe Oogst' d.d. 26-04-08
- Bijlage 7 : Artikel in 'Onder Glas' d.d. april 2008
- Bijlage 8 : Concept artikel stand van zaken, zoals verstuurd aan financiers PT en LNV
- Bijlage 9 : Presentatie bij Thema Tuinen, door Grow, november 2008
- Bijlage 10 : Financieel overzicht en afronding