



# Tomaten belichten met minder elektriciteit

Anja Dieleman, Jan Janse, Arie de Gelder, Frank Kempkes, Pieter de Visser,  
Peter Lagas, Esther Meinen, Mary Warmenhoven en Anne Elings

Rapport GTB-1338

## Referaat

In de afgelopen 10 jaar is het gebruik van elektriciteit voor assimilatiebelichting in de tuinbouw fors toegenomen, en is nu een belangrijke post in het energiegebruik van de sector. Om deze ontwikkeling te keren, is in het belichtingsseizoen 2013/2014 een proef gedaan met als doel het elektriciteitsgebruik in een belichte tomatenteelt met 35% te verminderen met behoud van productie. Hiervoor zijn twee behandelingen aangelegd: (1) referentieteelt: helder glas en belichting met 50% SON-T belichting en 50% LED tussenbelichting ( $210 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ), (2) energiezuinige teelt: diffuus kasdek en belichting met 50% LED boven- en 50% LED tussenbelichting ( $210 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ). In de energiezuinige teelt van oktober – mei werd 37% minder elektriciteit gebruikt. Het warmteverbruik lag in deze behandeling wel hoger om te compenseren voor het gebrek aan warmtestraling. De lichtsom die de planten gekregen hebben (zonlicht + lamplicht) lag in de energiezuinige teelt 6% lager dan in de referentieteelt door minder belichtingsuren. Echter, de productie verschilde maar  $0.3 \text{ kg}/\text{m}^2$ , minder dan 1%! Uitgebreide plantmetingen lieten zien dat er nauwelijks verschillen waren tussen beide behandelingen in lichtonderschepping, lichtabsorptie door de bladeren, fotosynthese en de aanmaak en verdeling van assimilaten. Uit de analyse met een gewasgroeimodel bleek dat het effect van het lagere aantal belichtingsuren in de energiezuinige teelt volledig gecompenseerd werd door de positieve effecten van het diffuse kasdek met een hogere lichttransmissie.

## Abstract

Over the last 10 years, the use of electricity for assimilation lighting has increased considerably. It is now an important part of the energy use of the horticultural sector. To reverse this trend, in the lighting season 2013/2014, we conducted a trial with the aim to reduce the electricity use in a lighted tomato crop by 35% while maintaining production levels. Two treatments were applied: (1) Reference cultivation: clear glass and lighting by 50% HPS lamps and 50% LED intermittent lighting ( $210 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ), (2) energy efficient cultivation: diffuse greenhouse cover and lighting by 50% LED top lighting and 50% intermittent LED lighting ( $210 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ). In the energy efficient cultivation, 37% less electricity was used in the period October - May. However, energy use for heating in this treatment was higher to compensate for the lack of radiative heat. The light sum the plants received (sunlight + artificial lighting) was 6% lower in the energy efficient cultivation compared to the reference cultivation due to the lower number of lighting hours. However, the production difference was only  $0.3 \text{ kg}/\text{m}^2$ , less than 1%! Detailed plant measurements showed hardly any differences between the treatments in light interception, light absorption by the leaves, photosynthesis and the production and distribution of assimilates. The analysis of the crop growth model showed that the effect of the lower number of lighting hours in the energy efficient cultivation was fully compensated by the positive effects of the diffuse greenhouse cover which has a higher light transmission.

## Rapportgegevens

Rapport GTB-1338

Projectnummer: 3242176800

## Disclaimer

© 2015 Wageningen UR Glastuinbouw (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek), Postbus 20, 2665 MV Bleiswijk, Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk, T 0317 48 56 06, F 010 522 51 93, E [glastuinbouw@wur.nl](mailto:glastuinbouw@wur.nl), [www.wageningenUR.nl/glastuinbouw](http://www.wageningenUR.nl/glastuinbouw). Wageningen UR Glastuinbouw.

Wageningen UR Glastuinbouw aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

## Adresgegevens

### Wageningen UR Glastuinbouw

Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk

Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk

T +31 (0)317 48 56 06

F +31 (0)10 522 51 93

# Inhoud

	<b>Voorwoord</b>	<b>5</b>
	<b>Samenvatting</b>	<b>7</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>9</b>
	1.1 Efficiënt benutten van natuurlijk licht en assimilatielicht	9
	1.2 Doelstelling	10
	1.3 Onderzoeksvragen	10
<b>2</b>	<b>Scenarioberekeningen met een 3D plantmodel</b>	<b>11</b>
	2.1 Inleiding	11
	2.2 Modelbeschrijving en scenariokeuze	11
	2.3 Resultaten	12
	2.4 Discussie	13
<b>3</b>	<b>Proefopzet en metingen</b>	<b>15</b>
	3.1 Teelt en behandelingen	15
	3.1.1 Teeltcondities	15
	3.1.2 Behandelingen	16
	3.2 Planning en uitvoering belichting	17
	3.3 Metingen	17
	3.3.1 Registratie kasklimaat	17
	3.3.2 Lichtmetingen	17
	3.3.2.1 Lichttransmissie van de kas	17
	3.3.2.2 Lichtverdeling van de lampen	17
	3.3.2.3 Lichtonderschepping door het gewas	18
	3.3.3 Waterverbruik	18
	3.3.4 Plantenziektes en gewasbescherming	18
	3.3.5 Plantregistraties en destructieve oogsten	18
	3.3.5.1 Plantwaarnemingen	18
	3.3.5.2 Productie	18
	3.3.5.3 Vruchtkwaliteit	18
	3.3.5.4 Destructieve oogsten	19
	3.3.6 Overige plantmetingen	19
	3.3.6.1 Fotosynthesemetingen	19
	3.3.6.2 Plantarchitectuur	19
	3.3.6.3 Bladreflectie en -transmissie	20
	3.3.7 Energie- en elektriciteitsgebruik	20
	3.4 Teeltbegeleiding en kennisuitwisseling	21
<b>4</b>	<b>Teeltverloop</b>	<b>23</b>

<b>5</b>	<b>Resultaten - Klimaat</b>	<b>25</b>
5.1	Licht	25
5.1.1	Lichtplan en realisatie belichting	25
5.1.2	Lichttransmissie van diffuus en helder glas	27
5.1.3	Horizontale en verticale verdeling van de topbelichting	27
5.2	Kasluchttemperatuur en planttemperatuur	29
5.2.1	Kasluchttemperatuur	29
5.2.2	Planttemperatuur	30
5.3	Raamopening en vochtdeficiet	30
5.4	CO <sub>2</sub> concentratie	31
5.5	Energieverbruik	32
<b>6</b>	<b>Resultaten – Plantregistraties en productie</b>	<b>37</b>
6.1	Plantregistraties	37
6.2	Productie	39
6.3	Kwaliteit en houdbaarheid	42
6.4	Waterverbruik	43
6.5	Destructieve plantmetingen	44
<b>7</b>	<b>Resultaten – Plantmetingen</b>	<b>49</b>
7.1	Lichtonderschepping	49
7.2	Plantarchitectuur	51
7.3	Bladreflectie en –transmissie:	52
7.4	Fotosynthesemetingen	53
7.4.1	Lichtresponscurves	53
7.4.2	Fotosynthese van de onder- en bovenzijde blad	57
<b>8</b>	<b>Analyse van de resultaten met behulp van een gewasgroeimodel</b>	<b>59</b>
8.1	Inleiding	59
8.2	Analyse	59
<b>9</b>	<b>Conclusies en leerpunten</b>	<b>63</b>
9.1	Klimaat en energie	63
9.2	Teelt en productie	64
9.3	Plantprocessen	64
<b>10</b>	<b>Communicatie</b>	<b>67</b>
<b>11</b>	<b>Literatuur</b>	<b>69</b>
	<b>Bijlage I. Teeltconcept voor een elektriciteit besparende tomatenteelt</b>	<b>71</b>

# Voorwoord

In de afgelopen 10 jaar is het areaal belichte teelt in de glastuinbouw flink toegenomen, evenals de geïnstalleerde vermogens. Daarmee is het gebruik van elektriciteit voor groeilicht een belangrijke post in het energiegebruik van de sector. Om een afname van het energiegebruik te realiseren, is het nu van belang het elektriciteitsverbruik te verlagen, zonder grote gevolgen voor productie en productkwaliteit.

In de afgelopen jaren is een aantal onderzoeken uitgevoerd waarin aangetoond is dat het goed mogelijk is met uitsluitend LED belichting tomaten te telen. Het streven is nu om het elektriciteitsgebruik voor belichting te verminderen, zonder concessies te doen aan de productie. In dit project is hiervoor de eerste stap gezet, door na te gaan of het mogelijk is met 35% minder elektriciteit tomaten te telen zonder effecten op de productie.

Hiervoor is een proef ingericht bij Wageningen UR Glastuinbouw met twee behandelingen:

- De referentie: belichting met SON-T belichting ( $105 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ) en LED tussenbelichting ( $105 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ), helder glas en een maximale belichtingsduur van 16 uur.
- De energiezuinige afdeling: belichting met 50% LED topbelichting ( $105 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ) en LED tussenbelichting ( $105 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ), diffuus kasdek met een 3% hogere lichtdoorlatendheid en een haze van 62% en een lichtplan op basis van plantbehoefte waarbij maximaal 13 uur belicht mocht worden.

De teeltbegeleiding in deze proef werd gedaan door Jasper Oussoren en Jan Mulder, die de proef (twee) wekelijks bezochten. De voortgang van de proef, resultaten en implicaties werden iedere 6 weken besproken in de grote begeleidingscommissie, waarin naast Jasper Oussoren en Jan Mulder ook Pieter van Staalduinen, Nic van Roosmalen, Esther Hogeveen-van Echtelt, Leo Oprel en Dennis Medema aanwezig waren.

Het project werd uitgevoerd in het kader van het programma Kas als Energiebron en gefinancierd door Productschap Tuinbouw en het Ministerie van EZ. Philips Lighting stelde de nieuwe, efficiënte top LED modules ter beschikking.

Wij willen allen van harte bedanken voor hun bijdragen aan dit project.

Wageningen/Bleiswijk, maart 2015  
Anja Dieleman en Jan Janse



# Samenvatting

## Inleiding

In de afgelopen 10 jaar is het areaal belichte teelt in de glastuinbouw flink toegenomen, evenals de geïnstalleerde vermogens. Daarmee is het gebruik van elektriciteit voor groeilicht een belangrijke post in het energiegebruik van de sector. Om een afname van het energiegebruik te realiseren, is het nu van belang het elektriciteitsverbruik te verlagen, zonder grote gevolgen voor productie en productkwaliteit.

Bij Wageningen UR Glastuinbouw is in het belichtingsseizoen 2013/2014 een proef gedaan met als doelstelling het elektriciteitsgebruik in een belichte tomatenteelt met 35% te verminderen met behoud van productie. Deze 35% werd als volgt opgebouwd:

- Het gebruik van efficiëntere lampen (LED topbelichting met een efficiëntie van 2.3  $\mu\text{mol}/\text{J}$  in plaats van SON-T lampen met een efficiëntie van 1.8  $\mu\text{mol}/\text{J}$ ).
- Toepassing van diffuus kasdek met een 3% hogere lichttransmissie dan helder glas.
- Verlaging van het aantal belichtingsuren met ca. 20%.

## Proefopzet

Op 23 oktober 2013 zijn geënt-getopte tomatenplanten van het ras Komeett geplant in twee kasafdelingen. De referentieafdeling (Direct hybride) werd belicht met 50% SON-T belichting en 50% LED tussenbelichting van in totaal 210  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ , was gedekt met helder glas en had een maximale belichtingsduur van 16 uur. In de energiezuinige afdeling (Diffuus LED -35%) werd belicht met 50% LED boven- en 50% LED tussenbelichting van in totaal 210  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ , had een diffuus kasdek met een 3% hogere lichtdoorlatendheid en een haze van 62% en er werd gebruik gemaakt van een lichtplan op basis van plantbehoefte waarbij maximaal 13 uur belicht mocht worden. De teelt werd beëindigd op 21 mei 2014.

## Resultaten

Over de teeltperiode van 23 oktober tot en met 20 mei 2014 bleek dat er in de energiezuinige afdeling 37% minder elektriciteit is gebruikt. Het warmteverbruik lag in deze afdeling (Diffuus LED -35%) echter wel hoger, om te compenseren voor het gebrek aan warmtestraling. De lichtsom die de planten gekregen hebben (zonlicht + lamplicht) lag in de energiezuinige afdeling 6% lager dan in de afdeling met helder glas en het hybride belichtingssysteem door minder belichtingsuren. Echter, de productie verschilde maar 0.3  $\text{kg}/\text{m}^2$ , minder dan 1%!

Deze resultaten zijn geanalyseerd met behulp van een gewasgroeimodel. Hiermee kunnen de afzonderlijke effecten van belichtingsuren, kasdek en overige klimaatfactoren op groei en productie bepaald worden. Het verschil in  $\text{CO}_2$  concentratie tussen de behandelingen bleek een klein maar positief effect van 0.3% te hebben op de droge stof productie. Het verschil in vochtdeficiet tussen beide behandelingen (door minder ventilatie in de behandeling Diffuus LED -35%) had geen effect op de productie. Het aantal belichtingsuren van de top- en tussenbelichting in de behandeling Diffuus LED -35% is 17% lager dan in de behandeling Direct hybride. Wanneer dit aantal uren belicht zou worden in de behandeling Direct hybride zou dit leiden tot 8% minder licht, en daarmee tot 6.5% minder droge stof productie. Uit de berekeningen blijkt dat dit effect op de groei volledig gecompenseerd wordt door het kasdek. Het diffuse kasdek met een iets hogere lichtdoorlatendheid en een haze van 62% heeft een positief effect van 6.5% op de productie van droge stof. Dat betekent dat het lagere aantal belichtingsuren dat gegeven is in de behandeling Diffuus LED -35% volledig wordt gecompenseerd door de haze en lichtdoorlatendheid van het diffuse kasdek.

Gedurende de teelt was het streven de planttemperatuur en daarmee de plantontwikkeling in beide behandelingen gelijk te houden. Uit de tabel blijkt dat dat goed gelukt is. Om dit te realiseren moest in de Diffuus LED -35% behandeling 5.7  $\text{m}^3$  gas extra aan warmte ingebracht worden. Redenen hiervoor zijn dat er minder uren werd belicht in deze behandeling en dat de LED's minder stralingswarmte produceren dan de SON-T lampen.

In deze proef zijn uitgebreide plantmetingen gedaan om het effect van verschillen in LED belichting en SON-T belichting op fotosynthese, lichtonderschepping, lichtabsorptie door de bladeren, aanmaak van assimilaten en verdeling van assimilaten over vruchten en de rest van de plant te begrijpen. Uit al deze metingen blijkt dat er nauwelijks verschillen zijn in plantprocessen, gewasontwikkeling, groei en productie tussen beide behandelingen.

De leerpunten uit deze proef nog even kort op een rijtje:

- Het is prima mogelijk tomaten te telen met alleen LED belichting.
- Het teeltconcept waarin LED belichting werd gecombineerd met diffuus kasdek, 17% minder belichtingsuren en een lichtplan heeft geleid tot 37% besparing in elektriciteitsgebruik met een klein effect op de productie.
- De reden hiervoor is dat het lagere aantal belichtingsuren volledig wordt gecompenseerd door de hogere lichtdoorlatendheid van het diffuse kasdek en de positieve effecten van het diffuse licht gecombineerd met LED licht op de droge stof productie.
- De aangelegde lichtbehandelingen zorgden niet voor veranderingen in planteigenschappen. Onder LED topbelichting met diffuus glas verschilden de bladeigenschappen, lichtonderschepping of fotosynthese niet aantoonbaar of systematisch ten opzichte van SON-T belichting onder helder glas.
- Er waren geen duidelijke verschillen in vruchtkwaliteit of houdbaarheid onder LED belichting + diffuus kasdek of SON-T belichting + helder glas.
- Ongeveer de helft van de elektriciteitsbesparing van 37% moest als warmte in de kas gebracht worden om de plantontwikkeling op peil te houden.
- Omdat er minder geventileerd hoefde te worden, werd er bijna 20% minder CO<sub>2</sub> gedoseerd in de behandeling Diffuus LED -35% om dezelfde CO<sub>2</sub> concentratie te realiseren.
- Door het feit dat er minder warmte ingebracht werd in de behandeling Diffuus LED -35% en de luchtvochtigheid er hoger was, was het waterverbruik in deze behandeling 15% lager dan in de behandeling Direct hybride.



# 1 Inleiding

## 1.1 Efficiënt benutten van natuurlijk licht en assimilatielicht

Al jaren is het gebruik van elektriciteit voor groeilicht de grootste stijger in het energieverbruik van de glastuinbouw. Doordat de elektriciteit meestal in WKK's op het eigen bedrijf wordt opgewekt, gaat het gepaard met een flink verbruik aan fossiele energie en is besparing op warmtegebruik in de teelt ook minder interessant door de gecombineerde opwekking. De sector staat dus voor de grote opgave om het elektriciteitsverbruik te reduceren. Deze reductie mag niet leiden tot een verslechtering van het economisch rendement. Dit betekent dat er gezocht moet worden naar methodes om zowel het natuurlijke licht als het assimilatielicht zo goed mogelijk te benutten.

Door Marcelis en De Gelder<sup>1</sup> (2013) zijn de volgende vijf stappen beschreven om licht beter te benutten in de glastuinbouw:

1. Zoveel mogelijk molen natuurlijk licht in de kas.
2. Zoveel mogelijk molen uit een kWh elektriciteit in de kas.
3. Zoveel mogelijk molen onderscheppen door het gewas.
4. Zoveel mogelijk assimilaten uit een onderschepte mol.
5. Zoveel mogelijk assimilaten naar te oogsten product.

In de afgelopen jaren is er een aantal onderzoeken uitgevoerd waarin aangetoond is dat het goed mogelijk is met uitsluitend LED belichting tomaten te telen (Dueck e.a., 2012, 2013, 2014). De volgende stap is om te onderzoeken hoe een goed belichtingsconcept neergezet kan worden met 50% minder elektriciteit. Dit is een erg grote stap om in een keer te realiseren. Het doel van dit project is dan ook na te gaan of het mogelijk is met 35% minder elektriciteit een vergelijkbare productie te realiseren. Daarnaast is de doelstelling te begrijpen wat de specifieke effecten van LED licht op het gewas zijn, in termen van lichtonderschepping, fotosynthese en verdeling van assimilaten.

Op 12 juni 2013 is er een Arenasessie "LED licht tomaat" gehouden in het kader van het project Samenwerken aan Vaardigheden (Bijlage I). In deze arenasessie werd dit project uitgebreid besproken, en werd het teeltconcept vastgesteld dat de basis vormt voor de twee behandelingen die in deze proef zijn aangelegd. De referentiebehandeling is een teelt van Komeett, plantdatum 23 oktober, helder glas, belicht met  $105 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  SON-T belichting en 2 modules van  $53 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  LED belichting als tussenbelichting. Er is gekozen voor deze strategie, omdat deze het dichtst in de buurt komt van de toepassing van LED belichting zoals die nu in de praktijk op enkele bedrijven wordt gebruikt.

In de LED behandeling worden de 5 stappen van een betere lichtbenutting als volgt toegepast:

1. Zoveel mogelijk molen natuurlijk licht in de kas: de kas is gedekt met diffuus kasdek met een ca. 3% hogere lichttransmissie. Het diffuse kasdek zorgt voor een betere lichtverdeling in de kas.
2. Zoveel mogelijk molen uit een kWh elektriciteit in de kas: De SON-T belichting wordt vervangen door LED lampen met een hogere efficiëntie. Hiervoor heeft Philips het nieuwste type GreenPower LED met een efficiëntie van  $2.3 \mu\text{mol/J}$  (vergeleken met de  $1.8 \mu\text{mol/J}$  van de SON-T).
3. Zoveel mogelijk molen onderscheppen door het gewas: Een "open" gewas realiseren, met een goede lichtdoordringing, zodat ook de lager gelegen bladlagen voldoende licht op kunnen vangen
4. Zoveel mogelijk assimilaten uit een onderschepte mol: Er wordt een lichtplan gebruikt, waarbij de hoeveelheid licht die gegeven wordt, wordt afgestemd op de assimilatenbehoefte van de plant. Hierbij wordt rekening gehouden met de plantbelasting en de hoeveelheid natuurlijk licht.
5. Zoveel mogelijk assimilaten naar te oogsten product: uit dit onderzoek moet blijken hoe de assimilatenverdeling in de plant beïnvloed wordt door LED belichting.

---

<sup>1</sup> Marcelis, L.F.M. en A. de Gelder, 2013. Notitie 50% elektrabesparing door betere lichtbenutting in kassen

De doelstelling van 35% minder elektriciteitsgebruik moet als volgt gerealiseerd worden:

1. De lichtdoorlatendheid van het diffuse kasdek is ca. 3% hoger dan van het heldere glas. Dat betekent dat er eenzelfde hoeveelheid minder belicht hoeft te worden.
2. De LED topbelichting heeft een efficiëntie van 2.3  $\mu\text{mol}/\text{J}$ , de SON-T belichting heeft een efficiëntie van 1.8  $\mu\text{mol}/\text{J}$ . Dit betekent een verbetering van 28%. Omdat de topbelichting maar de helft is van de totale belichtingssom betekent dit een reductie van het elektriciteitsverbruik van de totale belichting van 14%.
3. In beide behandelingen wordt met een lichtplan gewerkt, waarbij het aantal belichtingsuren in de energiezuinige behandeling ongeveer 20% lager wordt ingesteld dan in de referentiebehandeling.

Samenvattend betekent dit dat in dit project tomaten geteeld werden bij de volgende twee behandelingen:

**1. Referentiebehandeling: Hybride direct**

Kasdek: helder glas, hemisferische transmissie van 83%, haze factor van 0%

Belichting: SON-T toplicht, 105  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  en LED tussenbelichting, 106  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

Belichting met behulp van lichtplan, maximaal 16 uur per dag belichten

**2. Energiezuinige behandeling: LED -35% diffuus**

Kasdek: diffuus glas, hemisferische transmissie van 85%, haze factor van 62%

Belichting: LED toplicht, 105  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  en LED tussenbelichting, 106  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

Belichting met behulp van lichtplan, maximaal 13 uur per dag belichten

(20% minder belichtingsuren dan de referentiebehandeling)

## 1.2 Doelstelling

De ambitieuze doelstelling is om in beide behandelingen een productie van ca. 40 kg/m<sup>2</sup> te realiseren. Omdat in de energiezuinige behandeling er ca. 20% minder uren belicht zal worden, zullen deze planten efficiënter met het licht om moeten gaan om deze doelstelling te realiseren.

De prognose is dat de referentiebehandeling daarvoor 260 kWh/m<sup>2</sup> zal gebruiken. In de energiezuinige behandeling moet een besparing van 35% op elektriciteitsgebruik gerealiseerd worden, dus die behandeling zou uitkomen op 168 kWh/m<sup>2</sup>.

De stappen zoals genoemd in paragraaf 1.1 moeten een belangrijke bijdrage leveren voor het bereiken van het uiteindelijke doel 50% besparing op elektriciteit voor belichting met behoud van rendement.

## 1.3 Onderzoeksvragen

Om de energiedoelstelling van dit project te realiseren en te begrijpen wat de belichtingsstrategie betekent voor de ontwikkeling, groei en productie van de planten, en de onderliggende plantprocessen, zijn de volgende onderzoeksvragen geformuleerd:

Als een vergelijking wordt gemaakt tussen tomaten geteeld onder helder glas met een hybride belichtingssysteem van SON-T en LED (referentie) met een teelt onder diffuus glas met een belichtingssysteem met LED Top belichting en LED interlighting (energiezuinige teelt):

1. Wat zijn dan de verschillen in gewasontwikkeling en assimilatenverdeling?
2. Wat is de fysiologische achtergrond hiervan? Dat wil zeggen, wat zijn de verschillen in fotosynthesecapaciteit, lichtonderschepping, bladontwikkeling en -opbouw, gewasarchitectuur, ontwikkelingssnelheid van groeipunt en de groei en ontwikkeling van de vruchten?
3. Wat is het verloop van de fotosynthese van boven naar beneden in het gewas onder beide belichtingssystemen?
4. Wat is de kwaliteit van vruchten en trossen bij de belichtingssystemen?
5. Wat is het energiegebruik van de verschillende belichtingssystemen en hoe is deze opgebouwd?

## 2 Scenarioberekeningen met een 3D plantmodel

### 2.1 Inleiding

Om de keuze van de behandelingen in dit project te ondersteunen, zijn eerst scenarioberekeningen gedaan met een 3D plantmodel. Dit is een virtueel plant model dat de lichtverdeling in de ruimte berekent, de lichtonderschepping door het gewas berekent en de fotosynthese, en de structuur van het gewas bepaald in 3 richtingen. Daarmee is het effect van verschillende belichtingsstrategieën op lichtonderschepping, fotosynthese en groei van het gewas te berekenen. De scenarioberekeningen voor dit project hebben als doel te laten zien wat de effecten zijn van het ophangen van LED tussenbelichting op verschillende hoogtes in het gewas, de positionering in het pad of in de rij, en het veranderen van de hoek van lichtuitval van de LEDs.

### 2.2 Modelbeschrijving en scenariokeuze

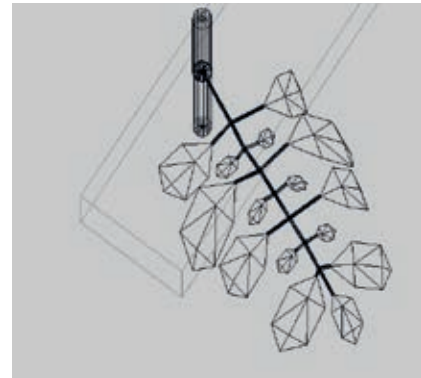
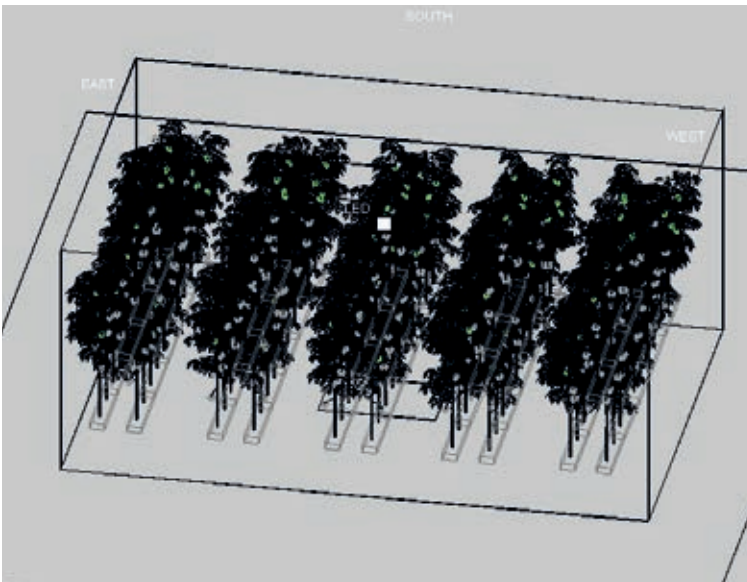
Het toegepaste simulatiemodel (De Visser *et al.*, 2014) bevat een 3D gewas in een virtuele kas met lampen (Figuur 1). We hebben het aantal planten aangehouden dat maximaal met het beschikbare computergeheugen mogelijk was, i.e. 5 dubbele rijen planten, elke rij is 5 m lang, plantdichtheid is 2.5 planten per m<sup>2</sup>. De vorm van het blad is gegenereerd door een set van polygonen (zie Figuur 1). De optische eigenschappen die in dit model gebruikt zijn, zijn gelijk aan de gemeten waarden (zie hoofdstuk 6.2) voor reflectie en transmissie van bladeren waarbij we onder- en bovenzijde apart hebben ingesteld. De fotosynthese eigenschappen worden door parameters beschreven ( $J_{max}$ ,  $\alpha$ ,  $VC_{max}$ ) en zijn conform een belicht tomatengewas in de winter.

Voor simulatie van de fotosynthese zijn de LED-modules in alle gewasrijen ingezet. Daarbij is voor enkele centraal gepositioneerde planten vervolgens de fotosynthese gesimuleerd, terwijl de omringende planten als randplanten de functie hadden om een correct en realistisch lichtklimaat te genereren voor de centrale planten in het model. Specifiek voor de simulatie van het lichtverlies uit het gewas van het LED-licht is per LED-scenario met slechts een zeer kort gedeelte (5 cm) van de LED tussenbelichtingsmodules in één gewasrij gerekend. Een dergelijke kleine lichtbron in een naar verhouding groot volume aan omringend gewas geeft namelijk het meest nauwkeurige beeld van absorptie en verlies, terwijl lange LED-modules die tot de rand van het gemodelleerde systeem reiken voor veel verlies aan de randen leiden. Vervolgens kon door combinatie van het gesimuleerde percentage geabsorbeerd LED-licht en de lichtbenutting volgend uit de fotosyntheseberekening het lichtrendement van een LED-scenario worden uitgerekend.

Er is een aantal scenario's met belichtingsstrategieën doorgerekend, waarbij de LEDs 104  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  PAR per (dubbele) LED tussenbelichtingsmodules uitstralen, met 95% rood en 5% blauw. Het gewas heeft de structuur als gemeten in januari 2014 (zie hoofdstuk 6.5) met een LAI van 3 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>.

De scenario's zijn:

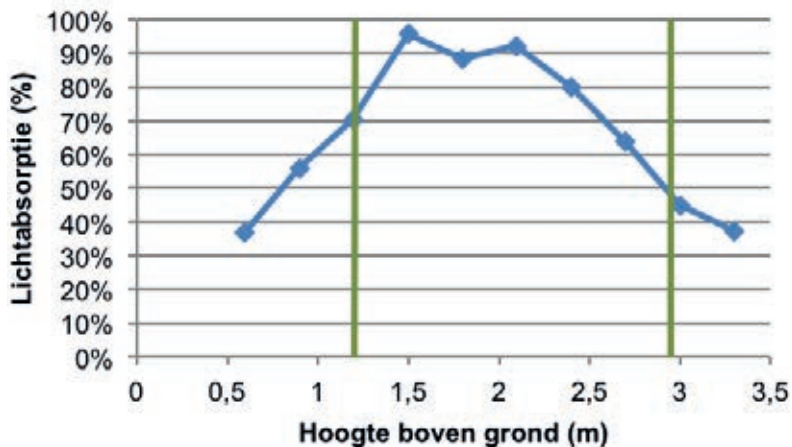
1. Tussenbelichting met 2 LED modules boven het pad, op 1.75 (ter hoogte van 5<sup>de</sup> blad vanaf onder) en 2.15 m hoogte boven de grond, LED richting: horizontaal.
2. 2 LED tussenbelichtingsmodules hangen in de gewasrij, hoogte als bij (1), LED richting: horizontaal.
3. Als (2), nu LED richting -30 ° t.o.v. horizontaal, voor scenario's 1 & 2.
4. 1 module LED lampen op een reeks van hoogten boven de grond: 0.6, 0.9, 1.2, 1.5, 1.8, 2.1, 2.4, 2.7 en 3 meter, LED richting: horizontaal.



**Figuur 1** De gemodelleerde opstelling (links) en de bladvorm (rechts) om gewasabsorptie en lichtverlies van een LED module te simuleren. De kleine LED module (5 cm lang) hangt hier binnen één van vijf dubbele gewasrijen.

## 2.3 Resultaten

De modelberekening van de invloed van de hoogte van 1 LED module geeft aan dat ophanging ter hoogte van het onderste of bovenste blad voor ca. 30-50% aan lichtverlies leidt (Figuur 2). Opvallend is de afname met de hoogte, vooral de op ca. 2.2 m al ingezette daling van de absorptie. Dit wordt veroorzaakt door de geleidelijk kleiner wordende bladeren boven in het gewas.



**Figuur 2** Absorptie van LED licht door het gewas waarbij de LED module steeds op een andere hoogte hing. Begin en einde van bladpakket is aangegeven met een groene lijn.

In de standaard ophanging, zoals in de proef maar dan zonder de topbelichting, berekent het model ca. 5% lichtverlies naar het kasdek en 2.5% naar de grond (Tabel 1). Die verliezen zijn een optelsom van direct en indirect (reflecterend aan blad, stengels, mat, etc.) LED licht. Als de 2 LED tussenbelichtingsmodules in het midden van het pad hangen i.p.v. binnen de gewasrij is de totale gewasabsorptie ca. 3% minder, in gelijke mate veroorzaakt door verlies naar grond en kasdek (Tabel 1). Apart is dat naar beneden draaien van de LEDs een verhoogde lichtabsorptie laten zien, waarbij het verhoogde verlies naar de grond meer dan gecompenseerd wordt door het verminderde verlies naar het kasdek. Ook opmerkelijk is de verhoogde LUE (light use efficiency) die werd berekend als de LED modules in het pad werden opgehangen. Draaien van de LEDs als ze in het pad hangen is zeer ongunstig voor de lichtabsorptie door het gewas. De berekende fotosynthese is voor laatstgenoemd scenario het laagst van alle vier, terwijl 30 graden omlaag draaien bij LEDs in de rij de meeste fotosynthese oplevert. Deze fotosynthese waarde is een relatieve maat, de werkelijke fotosynthese is alleen te berekenen als ook de topbelichting en het natuurlijke licht meegenomen wordt.

Tabel 1

*Bestemming van het LED licht ( $208 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) bij de gemodelleerde scenario's.*

Scenario	Lichtabsorptie gewas (%)	Lichtverlies naar boven (kasdek) (%)	Lichtabsorptie grond en goot (%)	LUE (g DS MJ <sup>-1</sup> )	Fotosynthese (g DS lichtbron <sup>-1</sup> )
Standaard, in rij	92.7	4.8	2.5	4.34	2.33
-30 graden, in rij	94.5	1.2	4.4	4.43	2.42
Standaard, in pad	89.4	6.0	4.6	4.68	2.32
-30 graden, in pad	84.3	1.0	14.7	4.44	2.18

## 2.4 Discussie

De modelresultaten hebben betrekking op de teelt in dit project en de waardes die in deze teelt gemeten zijn. Daarmee zijn de modelresultaten dus vrij specifiek. Extrapolatie van berekende lichtabsorpties en verloop met de hoogte naar andere tomatenteelten moet zorgvuldig, liefst m.b.v. aanvullende metingen, gedaan worden. Evenwel kan geconcludeerd worden dat (a) licht naar beneden draaien van de LEDs gunstig is voor de lichtonderschepping en de fotosynthese mits de LEDs in de gewasrij hangen, (b) LEDs in het pad wel wat meer fotosynthese per mol geabsorbeerd licht (=LUE) geven maar door de lagere lichtonderschepping de ophanging in het pad uiteindelijk minder gunstig is dan in het gewas.



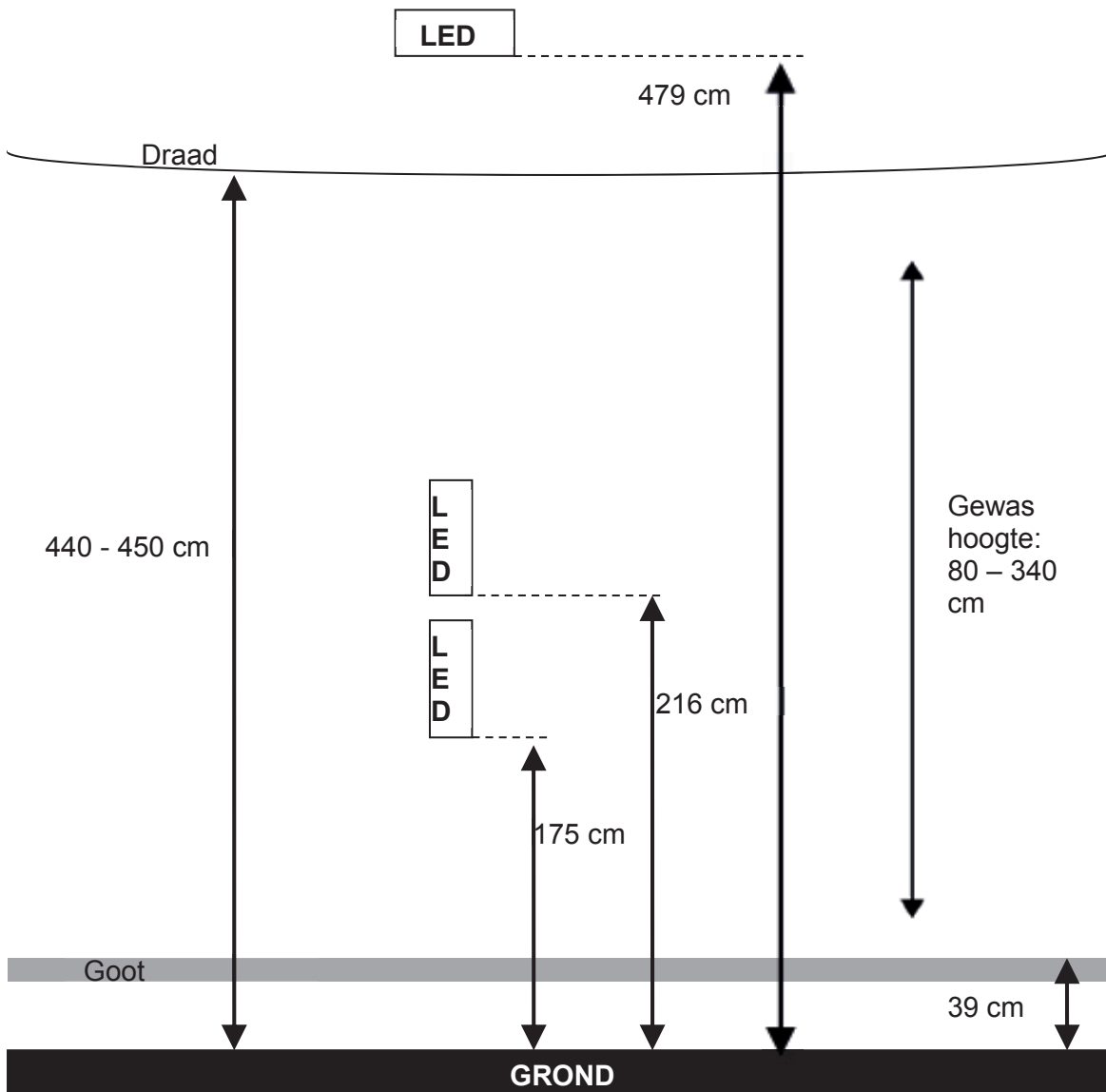
# 3 Proefopzet en metingen

## 3.1 Teelt en behandelingen

### 3.1.1 Teeltcondities

Locatie en kasafdelingen	Wageningen UR Glastuinbouw te Bleiswijk Afdelingen 6.06 (LED + diffuus kasdek) en 6.07 (hybride belichting). Oppervlakte afdelingen 144 m <sup>2</sup> (lengte 15 m, breedte 9.6 m). Kolomhoogte 5.50 m met doorlopende nokluchting
Ras:	Komeett (de Ruiters Seeds), een grove trostomaat, geënt/getopt op Maxifort (De Ruiters Seeds)
Zaai- en plantdatum:	Zaaidatum: 27 augustus 2013 Plantdatum: 23 oktober 2013
Stengeldichtheid	Plantdichtheid: 1.25 planten/m <sup>2</sup> met twee stengels per plant, dus stengeldichtheid 2.5 stengels/m <sup>2</sup> . In week 49 naar 3.3 stengels/m <sup>2</sup> (1 op 3) en in week 2 naar 3.75 stengels/m <sup>2</sup> (1 op 6)
Trossnoei:	Eerste tros op 4 vruchten, overige trossen op 5 vruchten
Hoogtes mat en gewasdraad:	Goothoogte: 30 cm boven de grond Hoogte gewasdraad: 4.45 m boven de grond
Substraatmat:	Cutilene excellent, afmetingen 100 x 15 x 7.5 cm.
Schermb:	Energieschermb (LS 10 plus) en lichthinderschermb (95%)
Glas:	Afdeling 6.06: Diffuus glas met hemisferische transmissie van 85% en haze factor van 62% (Agro P high AR van Guardian) Afdeling 6.07: Helder glas met hemisferische transmissie van 83% en haze factor van 0%
Belichting:	Afdeling 6.06: 105 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ LED GreenPower toplicht (efficiëntie 2.3 $\mu\text{mol/J}$ ) en 2 modules LED tussenbelichting van elk 53 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (efficiëntie 2.1 $\mu\text{mol/J}$ ) Afdeling 6.07: 105 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ SON-T toplicht (efficiëntie 1.8 $\mu\text{mol/J}$ ) en 2 modules LED tussenbelichting van elk 53 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (efficiëntie 2.1 $\mu\text{mol/J}$ )
Aantallen lampen	Afdeling 6.06: 4 rijen van 8 toplicht LEDs, vermogen per LED balk 190 W en 7 rijen van 2 modules van 6 tussenlicht LEDs, vermogen per LED balk 105 W Afdeling 6.07: 2 rijen van 5 SON-T lampen, vermogen per lamp 1032 W en 7 rijen van 2 modules van 6 tussenlicht LEDs, vermogen per LED balk 105 W
Hoogtes lampen:	Toplicht (LED of SON-T): 4.80 m boven de grond Tussenbelichting (LED). Onderste module: 1.75 m boven de grond (onderkant LED balk). Bovenste module: 2.15 m boven de grond (onderkant LED balk)
Verwarming:	Buisrailnet (51 mm) en groeibuis (35 mm)
CO <sub>2</sub> dosering:	Het setpoint voor de CO <sub>2</sub> concentratie was in beide behandelingen bij planten 500 ppm, vanaf 2 weken na planten in beide behandelingen 600 ppm
Einde experiment:	21 mei 2014

De plaatsing van de goten en de ophanging van de LED balken staat in Figuur 3 weergegeven:



**Figuur 3** Ophanging van LED balken in de kas

### 3.1.2 Behandelingen

De volgende twee behandelingen zijn aangelegd, ieder in één kasafdeling:

Referentiebehandeling: Hybride direct

**3. Kasdek: helder glas, hemisferische transmissie van 83%, haze factor van 0%**

Belichting: SON-T toplicht,  $105 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  en LED tussenbelichting,  $106 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

Belichting met behulp van lichtplan, maximaal 16 uur per dag belichten

**4. Energiezuinige behandeling: LED -35% diffuus**

Kasdek: diffuus glas, hemisferische transmissie van 85%, haze factor van 62%

Belichting: LED toplicht,  $105 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  en LED tussenbelichting,  $106 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

Belichting met behulp van lichtplan, maximaal 13 uur per dag belichten (20% minder belichtingsuren dan de referentiebehandeling)



De doelstellingen in de teelt zijn:

- 35% elektriciteitsbesparing (LED behandeling met diffuus kasdek ten opzichte van de hybride belichting met helder glas)
- Gelijkblijvende productie

## 3.2 Planning en uitvoering belichting

Voor de teelt is een teeltplan gemaakt en besproken met de BCO. Daarin is gewerkt met de volgende uitgangspunten:

- Plantdatum 23 oktober 2013, geënt-getopte tomatenplanten van het ras Komeett op de onderstam Maxifort
- Start met bloeiende plant die direct kan zetten;
- Stengeldichtheid bij start van de teelt 2.5 stengels/m<sup>2</sup>;
- In week 49 wordt een extra stengel aangehouden bij 1 op de 3 stengels om naar 3.3 stengels/m<sup>2</sup> te gaan;
- In week 1 wordt een extra stengel aangehouden bij 1 op de 6 stengels om naar 3.75 stengels/m<sup>2</sup> te gaan;
- Starten met 4 vruchten per tros, daarna vanaf de tweede tros 5 vruchten per tros;
- Einde van de teelt op 21 mei 2014.

Met behulp van deze gegevens is een simulatie gemaakt met het gewasgroeimodel INTKAM om de sinksterkte van het gewas te berekenen. De berekende sinksterkte is vervolgens gebruikt om de lichtbehoefte van het gewas te berekenen om daarmee het aantal belichtingsuren te bepalen.

## 3.3 Metingen

### 3.3.1 Registratie kasklimaat

Het gerealiseerde klimaat in de afdelingen werd elke 5 minuten geregistreerd met de Hoogendoorn klimaatcomputer. Daarbij werden de kasluchttemperatuur, relatieve luchtvochtigheid, vochtdeficiet, CO<sub>2</sub> concentratie, raamstandstanden en schermstanden, PAR straling in de kas en globale straling buiten de kas gemeten en opgeslagen.

### 3.3.2 Lichtmetingen

#### 3.3.2.1 Lichttransmissie van de kas

De transmissie van de kas werd bepaald door de PAR metingen van een reeks van 5 LICOR puntsensoren (LI 190) te monteren naast de staafmeter (LI 191). Iedere 5 minuten werd de lichtintensiteit gemeten met deze sensoren. Door deze metingen te vergelijken met de globale straling buiten, werd de transmissie van de kas bepaald voor zowel de afdeling met diffuus kasdek als de afdeling met helder glas. De sensoren waren net boven de top lampen geplaatst zodat deze sensoren alleen zonlicht hebben gemeten.

#### 3.3.2.2 Lichtverdeling van de lampen

Op 24 oktober 2013 werd de lichtverdeling in de kas gemeten door in het horizontale vlak lichtmetingen uit te voeren met een LICOR puntmeter (LI 190). De metingen werden in twee rijen in de kas gedaan. In het horizontale vlak werd er op 15 plaatsen met steeds een meter afstand gemeten. Op iedere plaats werd de lichtintensiteit gemeten op 1, 1.5, 2, 2.5, 3 en 3.5 meter onder de lampen. De metingen zijn uitgevoerd voor zonsopkomst, met alleen het licht van de SON-T lampen of de LED topbelichtingsmodules.

### **3.3.2.3 Lichtonderschepping door het gewas**

Om de lichtonderschepping door het gewas te bepalen werd de lichtverdeling in het gewas gemeten met behulp van een Sunscan Canopy analysis system (Dela-T Ltd, UK) op verschillende hoogtes boven de kop van het gewas tot de teeltgoot. De metingen werden uitgevoerd in januari, maart en eind april bij bewolkt weer. De Sunscan met een lengte van 75 cm werd op een reeks hoogtes (steeds 25 - 50 cm afstand er tussen) dwars in de rij tussen het gewas gestoken. Op iedere hoogte werden 4 metingen gedaan. Tegelijkertijd werden referentiemetingen boven het gewas gedaan met een referentiemeetbol, die tijdens de metingen op een vaste plaats in de kas werd geplaatst. Vergelijking van de meetwaardes met deze referentiemetingen geeft de mate van lichtonderschepping door het gewas aan.

### **3.3.3 Waterverbruik**

De watergift werd berekend aan de hand van de druppelcapaciteit en -tijden. Op basis hiervan in combinatie met de drain kon de hoeveelheid water benodigd voor de groei en verdamping van de hele afdeling worden geschat.

### **3.3.4 Plantenziektes en gewasbescherming**

Tijdens de teelt werd het middel Luna privilege gebruikt om Botrytis aantastingen te voorkomen. Tegen meeldauw is gewerkt met zwavelpotjes en is er regelmatig een gewasbeschermingsmiddel gebruikt. Insecten werden zoveel mogelijk biologisch bestreden, maar er werden ook gele plaklinten gebruikt tegen de witte vlieg en een enkele keer werd met Oberon gespoten, omdat de Macrolophus vooral in de wintermaanden slecht aansloeg.

### **3.3.5 Plantregistraties en destructieve oogsten**

#### **3.3.5.1 Plantwaarnemingen**

De gewasgroei werd wekelijks in beide behandelingen gemonitord door aan 2 x 10 stengels per behandeling de volgende parameters te registreren:

- Lengtegroei;
- Kopdikte (ter hoogte van de top van de plant in de voorafgaande week);
- Bladlengte (eerste volgroeide blad ter hoogte van de top van de plant van 2 weken daarvoor);
- Bloeiende tros en bloemetje;
- Gezette tros en bloemetje;
- Aantal gezette vruchten;
- Plantbelasting;
- Geogste tros.

#### **3.3.5.2 Productie**

Bij de oogst werd per oogstdatum het netto gewicht van de geogste trossen (klasse I) bepaald van twee carrousels (dubbele rijen) per behandeling. Van een van deze carrousels werd per oogstdatum het aantal trossen en het aantal vruchten geteld en het totaal gewicht bepaald, waaruit het gemiddeld vruchtgewicht werd berekend.

#### **3.3.5.3 Vruchtkwaliteit**

Tweewekelijks werd een aantal vruchten gedroogd in de droogstoof (enkele dagen bij 80°C) om het droge stof percentage van de rijpe vruchten te bepalen.

Op 4 momenten gedurende de teelt (8 januari, 18 februari, 18 maart en 23 april) zijn smaakmetingen aan circa 30 tomaten afkomstig uit beide behandelingen verricht. Hierbij zijn metingen uitgevoerd met behulp van onder andere een digitale refractometer en de Instron druktrembank. Met dit laatste apparaat is onder meer de hoeveelheid sap uit de vruchtwand gemeten. Aan de hand van de gegevens is de smaak berekend met behulp van het smaakmodel ontwikkeld door Wageningen UR Glastuinbouw.

Op 8 januari, 18 februari en 18 maart is aan dezelfde vruchten per behandeling het vitamine C gehalte gemeten.

De houdbaarheid in dagen werd bij tomaten afkomstig uit beide afdelingen op 6 momenten in de maanden januari – mei bepaald aan 8 trossen per kasafdeling. De bewaring vond plaats bij een temperatuur en RV van respectievelijk 20°C en 80%. De stevigheid werd 3 maal per week met de hand bepaald. Wanneer de tomaat onvoldoende stevig of rot werd bevonden, was het einde van het uitstalleven bereikt.

#### **3.3.5.4 Destructieve oogsten**

Op de plantdatum (23 oktober 2013), bij de eind oogst (24 mei 2014), en op 4 tussenliggende momenten gedurende de teelt (2 november, 13 januari, 5 maart en 24 april) werden 6 planten per behandeling uit de afdelingen verwijderd en destructief geoogst. De planten werden ontleed in organen (bladeren, stengels en vruchten), waarvan de vers- en drooggewichten werden bepaald. Van de bladeren werd verder het bladoppervlakte bepaald. Uit het bladoppervlakte en het drooggewicht van de bladeren kan het specifieke bladgewicht worden berekend, een maat voor de dikte van de bladschijf. Gedurende de teelt werd het drooggewicht van de geplukte bladeren bepaald van 10 planten per behandeling, en werd het gewicht van de geoogste vruchten bepaald. Door de gewichten van bladeren, stengels en vruchten bij elkaar op te tellen (waarbij ook de gewichten van geoogste vruchten en geplukte bladeren werden meegeteld) werden de cumulatieve orgaangewichten en het cumulatieve plantgewicht over de tijd berekend.

### **3.3.6 Overige plantmetingen**

#### **3.3.6.1 Fotosynthesemetingen**

Netto bladfotosynthese werd gemeten met een draagbare fotosynthesemeter (Licor 6400) aan bladeren op verschillende hoogtes in het gewas. In de bovenste bladlaag werd gemeten aan het bovenste bijna volgroeide blad, dat niet beschaduwd werd door hoger gelegen bladeren. In de middelste bladlaag werd gemeten aan een blad dat ter hoogte van de LED tussenbelichting hing. In de onderste bladlaag werd gemeten aan bladeren die onder de LED tussenbelichtingsbalken zaten. De fotosynthesemeter meet de CO<sub>2</sub> concentratie en de dampspanning van de lucht die de bladkamer binnenkomt en van de uitgaande lucht. Op basis van het verschil in CO<sub>2</sub> concentratie wordt de netto fotosynthesesnelheid ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) berekend. Op basis van het verschil in dampspanning worden verdamping en stomataire geleidbaarheid berekend.

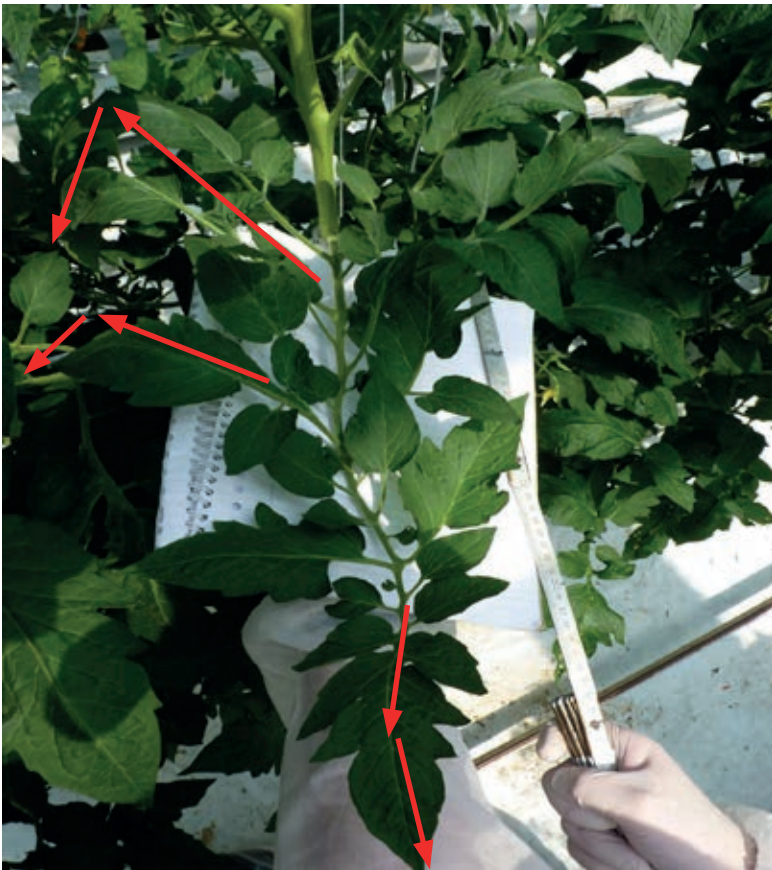
De lichtresponscurves van bladeren op drie verschillende hoogtes in het gewas in beide behandelingen werden gemeten. Hiervoor werden lichtniveaus aangelegd tussen 0 en 1500  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Er werd gemeten bij een CO<sub>2</sub> concentratie van 700 ppm, temperatuur van 23°C en een dampdrukdeficiet van 0.8 - 0.9 kPa.

#### **3.3.6.2 Plantarchitectuur**

Op 9 januari en 1 april 2014 werd de opbouw van de plant, de 'plantarchitectuur', bepaald aan planten in de behandeling Diffuus LED -35% en Direct hybride. Hiervoor werden 3 representatieve planten in het midden van de afdeling gekozen, aan de weerszijden van het middelste pad. De gemeten planten binnen de dubbele gewasrij representeerden hiermee 3 planten die naar de noordzijde gericht waren, en 3 planten die naar de zuidzijde gericht waren. De metingen vonden plaats tussen 8 en 12 uur in de ochtend.

Per plant werden de volgende metingen gedaan m.b.v. rolcentimeter, waterpas en gradenboog:

- Internodiumlengte tussen twee bladeren
- Lengte blad
- Grootste breedte blad
- Aantal deelbladeren
- Azimuth per blad en tros ( azimuth is ongeveer de windrichting, een azimuth van 0 graden is noordwaarts)
- Hoek tussen hoofdstengel en begin van bladsteel
- Hoek van begin en einde van de bladschijf t.o.v. de horizontaal van 3 deelblaadjes (bij begin, midden en einde van het samengestelde blad, zie Figuur 4)



**Figuur 4** Meting van de bladstand van de deelblaadjes bij tomaat: de rode pijl geeft de helling aan van begin en einde van de bladschijf. De hoek van die helling t.o.v. de horizontaal is gemeten.

### 3.3.6.3 Bladreflectie en -transmissie

In de behandelingen Diffuus LED -35% en Direct hybride zijn in januari 2014 van ieder 4 planten op 3 niveaus (onderin, middenin en boven in) in het gewas 2 deelblaadjes gemonsterd en onderzocht op optische eigenschappen. De verse blaadjes werden gemeten met de Perkin-Elmer spectrometer op reflectie en transmissie in het gebied tussen 400 en 750 nm, in stappen van 5 nm. De fractie geabsorbeerd licht werd hieruit berekend. De meting werd gedaan voor zowel belichting van onderzijde (abaxiaal) als bovenzijde (adaxiaal) van het blad.

### 3.3.7 Energie- en elektriciteitsgebruik

Het aantal branduren van de lampen werd geregistreerd in de klimaatcomputer. Het elektriciteitsverbruik van de SON-T en LED belichting in beide afdelingen werd berekend aan de hand van de specificaties van de lampen en het oppervlak van de afdelingen. In de afdeling met SON-T was er een elektrisch geïnstalleerd vermogen van 71.9 W/m<sup>2</sup>. De top-LED belichting had een geïnstalleerd vermogen van 42.2 W/m<sup>2</sup>. In beide afdelingen werd de gehele top belichting in één keer aan- of afgeschakeld. De LED tussenbelichting kon in beide afdelingen in twee stappen worden geschakeld. Het geïnstalleerde vermogen per module was 27.9 W/m<sup>2</sup>.

Het gebruik van thermische energie werd met behulp van warmtemeters gemeten en wekelijks afgelezen. Samen met het berekende verbruik aan elektrische energie voor de belichting was dit het totale energiegebruik per behandeling.

## 3.4 Teeltbegeleiding en kennisuitwisseling

Gedurende het experiment was er wekelijks à tweewekelijks op woensdagmiddag een bijeenkomst van de begeleidingscommissie, waarvan Jan Janse het verslag maakte en wekelijks rondstuurde. De begeleidingscommissie bestond uit Jasper Oussoren en Jan Mulder. Wekelijks werd ook de rapportage opgemaakt van de gewasmetingen, belichtingsduur en het energiegebruik dat werd uitgedeeld tijdens de bijeenkomst van de BCO en werd rondgestuurd.

Tijdens de proef is de begeleidingscommissie van de LED proef bij het IC regelmatig langs geweest om de stand van zaken te bekijken en resultaten van beide proeven uit te wisselen. In deze begeleidingscommissie zaten vertegenwoordigers van Philips, Ludvig Svensson, Koppert Biological Systems, Cultilene, Monsanto en GreenQ. Verder was er een regelmatige uitwisseling met de Futagrow proef, waarbij de BCO's en onderzoekers iedere 4 weken bij elkaars proeven langs gingen.

Iedere circa 6 weken werd een bijeenkomst georganiseerd met de grote begeleidingscommissie waarin de voortgang van het onderzoek, de voorlopige resultaten en conclusies werden besproken. Bij deze bijeenkomsten waren naast de leden van de BCO ook Nic van Roosmalen, Pieter van Staalduinen, Leo Oprel en Dennis Medema namens Kas als Energiebron en leden van de BCO's van de LED proef bij het IC en de Futagrow proef aanwezig.



## 4 Teeltverloop

De onderstaande beschrijving van het teeltverloop per maand is gebaseerd op de verslagen die van de BCO-bijeenkomsten zijn gemaakt.

### Oktober

Bij binnenkomst waren de planten gerekte en hadden een zwakke tros met grove bloemen. Daarom zijn de planten nog niet direct op het plantgat gezet, maar pas bij bloei van de 2<sup>e</sup> tros. Om de plant generatiever te maken is er in de 1<sup>e</sup> drie weken alleen 's nachts watergegeven.

### November

In de 1<sup>e</sup> week van november waren de planten enorm verbeterd en was de 1<sup>e</sup> tros toch nog behoorlijk goed gezet. De planten in de Diffuus LED -35% afdeling liepen in de 1<sup>e</sup> weken qua ontwikkeling iets voor, mogelijk als gevolg van de ca. 3% hogere lichttransmissie in vergelijking met de Direct hybride kas. Het gewas was open en slank met een goede trosontwikkelingssnelheid van 0.9 à 1 tros per week. In de eerste weken van de teelt werd een temperatuur van ongeveer 20°C aangehouden. Om een krachtiger plant te maken is half november op advies van de BCO het verschil tussen de dag- en nachttemperatuur wat groter gemaakt. Er zijn tussen beide behandelingen toen al verschillen gemaakt in belichtingsuren; maximaal 13 en 16 uur in respectievelijk de Diffuus LED -35% afdeling en Direct hybride afdeling. Omdat de planten op 21 november al voorbij de 1<sup>e</sup> LED-streng van de tussenbelichting waren gegroeid, kon vanaf dat tijdstip indien nodig ook de onderste module van tussenbelichting worden gebruikt. Ditzelfde gebeurde een week later met de bovenste module.

### December

Begin van deze maand stond het gewas vrij gerekte met wat lange trosstelen. Gewasstand in Diffuus LED -35% kas was sterk vegetatief en in de andere afdeling zwak generatief. Er traden wisselend in beide afdelingen wat 'virusachtige' verschijnselen op, met name bij enkele planten die bij het betonpad stonden. Ongeveer 60 cm onder de kop waren in de Direct hybride kas lichte verschijnselen van bladrandjes te zien, maar deze trokken later niet door. In de loop van december is de ingestelde temperatuur wat verlaagd, zodat de gerealiseerde temperatuur wat lager, maar steeds boven de 19°C uitkwam om voldoende snelheid te behouden. Daarbij was de temperatuur in de Diffuus LED -35% kas in de (be)lichte periode ongeveer 0.4°C hoger ingesteld dan in de Direct hybride kas, om dezelfde ontwikkelingsnelheid van het gewas te kunnen realiseren. Het gewas in de Diffuus LED -35% kas oogde, ondanks het minder ontvangen licht, sterker en had bredere bladschijven. Eind december leek het erop dat het gewas in de Diffuus LED -35% afdeling wat verschijnselen vertoonde die op lichttekort zouden kunnen wijzen, namelijk vruchtzetting op maar 4 in plaats van op 5 vruchten.

### Januari

Begin januari werden de vreemde verschijnselen van de planten voornamelijk aan het betonpad en achtergevel erger: fijn geknepene kop, sterk gekruld en gedraaid blad en slechte trossen met ondanks goede bevlieging nauwelijks zetting. Later traden deze verschijnselen ook bij een enkele plant middenin de kas op. De wortels waren echter overal goed. Hoewel er naarstig is gezocht naar de oorzaak, is deze echter nooit gevonden. Mogelijk is het verschijnsel het gevolg geweest van een of andere soort stress in combinatie met de aanwezigheid van het (zwakke) virus. Gelukkig groeiden de meeste planten na een aantal weken er weer doorheen.

Mede naar aanleiding van de vreemde verschijnselen is in beide behandelingen gedurende twee weken een gelijk aantal belichtingsuren aangehouden, welke later weer werd gecompenseerd door in de Diffuus LED -35% kas minder te belichten. Waarschijnlijk als gevolg van de hogere buistemperaturen, rijpten de vruchten bij de Diffuus LED -35% behandeling eerder dan bij de Direct hybride behandeling. Om de planten in de Diffuus LED -35% kas wat generatiever te maken, is in de 2<sup>e</sup> helft van januari vanaf 12.00 uur de buistemperatuur extra verhoogd en bij veel licht kwam er ook een extra temperatuurverhoging op licht in. Eind januari ontstonden in beide kassen ook wat bladrandjes, maar deze waren nog vrij van botrytis. Ontwikkelingsnelheid van trossen verliep in beide afdelingen steeds praktisch gelijk, wat duidt op eenzelfde gerealiseerde temperatuur van het groeipunt. Hier is ook steeds naar gestreefd.

## **Februari**

Bladpunten bovenin de planten namen in beide kassen weer af, maar op oudere bladeren in de Diffuus LED -35% kas groeide, waarschijnlijk door de hogere luchtvochtigheid bij deze behandeling, meer botrytis. Ook op de stengels begonnen plekje met botrytis te ontstaan. Daarom is besloten om in beide kassen Luna Privilege toe te passen, wat zeer effectief was. Er is vrij lang met trosbeugelen doorgedaan. Ook in februari waren er weer enkele planten met virusachtige verschijnselen, die later weer wegtrokken. In week 7 is nog een extra stengel aangehouden, waardoor de eindafstand op 3.75 stengels/m<sup>2</sup> uitkwam. Eind februari zag het gewas er in beide kassen goed uit.

## **Maart**

Mede door het goede voorjaarsweer stond het gewas er in maart in beide kassen prima op met nauwelijks bladrandjes. De verschillen in gewasstand tussen beide behandelingen waren gering, met mogelijk een iets blekere bladkleur in de Diffuus LED -35% kas. De trosontwikkeling verliep in beide afdelingen nog steeds gelijk.

## **April**

In beide kassen stond er een goed gewas: goede gewaskleur, sterke en dikke trossen en geen of sporadisch een bladrandje. Botrytis was afwezig. In de Direct hybride afdeling stond het gewas er wel iets royaler en groeizamer op dan in de andere afdeling. De planten werden niet gekopt.

## **Mei**

Nog steeds was de stand van het gewas bij beide behandelingen prima. De proef werd half mei beëindigd.

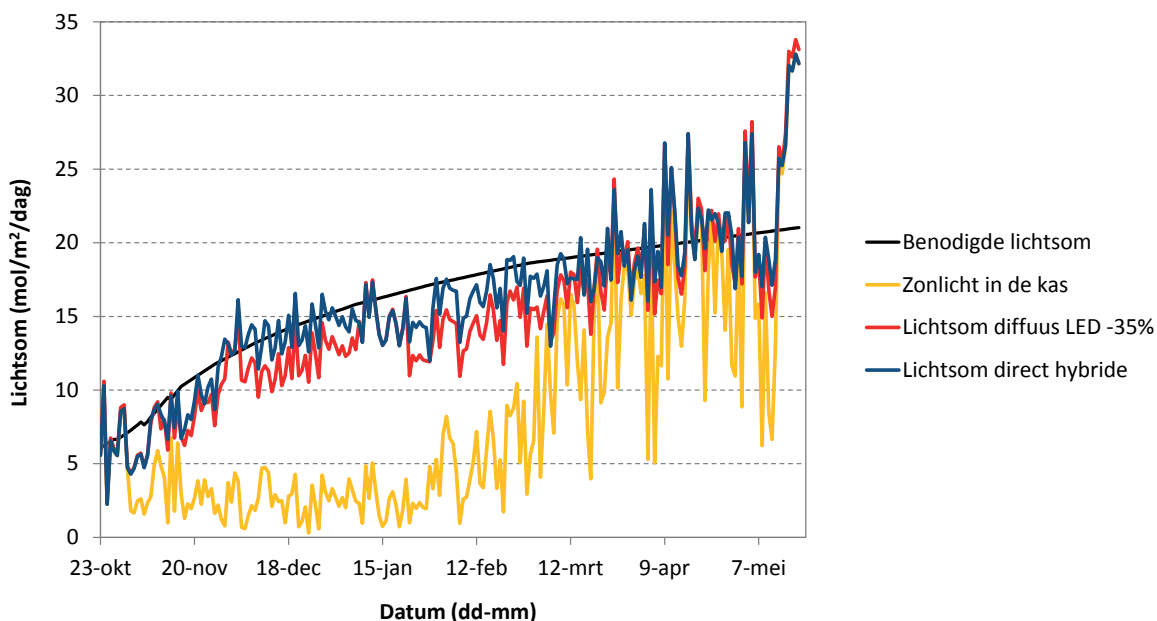


# 5 Resultaten - Klimaat

## 5.1 Licht

### 5.1.1 Lichtplan en realisatie belichting

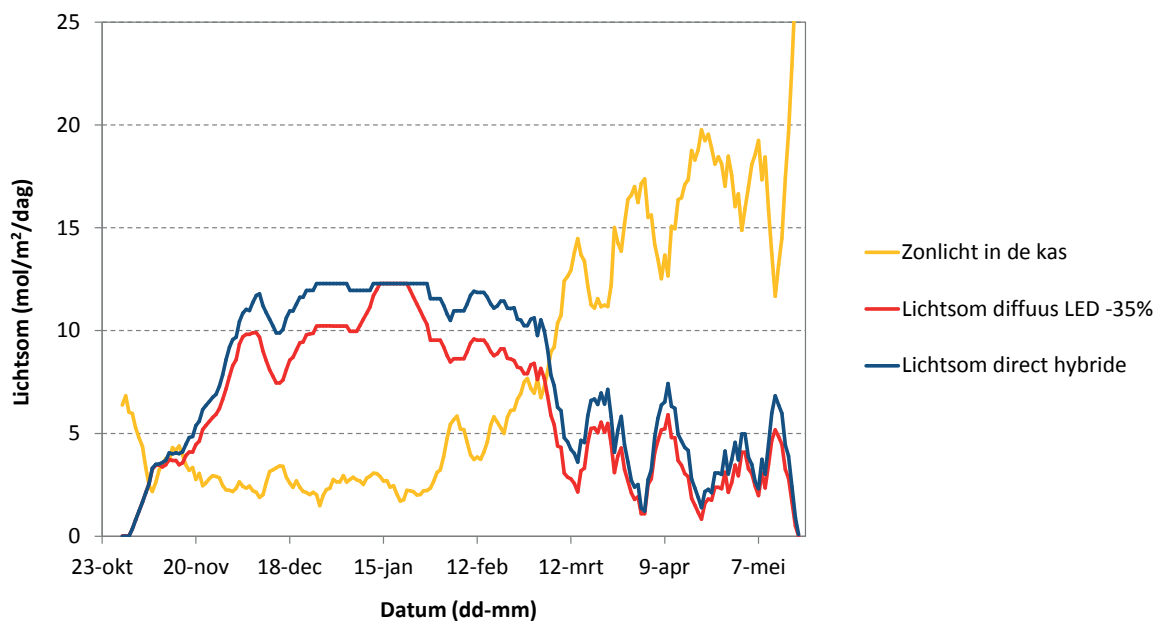
Op basis van het teeltplan en de simulaties van het gewasgroeimodel INTKAM is een lichtplan opgesteld voor de teelt van tomaten onder belichting. In Figuur 6 is de benodigde en gerealiseerde lichtsom per dag weergegeven voor de behandelingen met SON-T en LED belichting.



**Figuur 6** De benodigde lichtsom per dag, de lichtsom van het zonlicht in de kas en de lichtsommen van beide behandelingen per dag (in mol/m<sup>2</sup>/dag).

Uit deze figuur blijkt dat er vanaf enkele dagen na planten al belichting nodig is om aan de lichtbehoefte van het gewas te voldoen. Gedurende een groot deel van de belichtingsperiode, is de hoeveelheid licht die gegeven is in de LED behandeling met diffuus kasdek onvoldoende om aan de behoefte van het gewas te voldoen. In de periode maart/april verschilt de hoeveelheid zonlicht in de kas sterk van dag tot dag, zodat er op enkele dagen niet meer wordt belicht, terwijl er op andere dagen nog bijna maximaal belicht wordt.

Dezelfde gegevens zijn nogmaals uitgezet in Figuur 7, nu als voortschrijdend gemiddelde van 7 dagen. In deze figuur is te zien dat in de periode van half november tot ca. 1 maart de mate waarin het lamplicht bijdraagt aan de totale lichtsom groter is dan het zonlicht in de kas. In de maanden december en januari is de bijdrage van het lamplicht ca. 2.5 maal zo hoog als de bijdrage van het zonlicht (Figuur 7).



**Figuur 7** Verloop van (het voortschrijdende gemiddelde van 7 dagen van) de lichtsom van het zonlicht in de kas, de lichtsom in de behandeling diffuus LED -35% en de lichtsom in de behandeling direct hybride (in mol/m<sup>2</sup>/dag).

In beide behandelingen werd begonnen met belichten op 1 november met de topbelichting. Op moment dat het gewas boven de tussenbelichting gegroeid was, werd ook de tussenbelichting aangezet (20 november). Het aantal uren dat belicht werd, was in de behandeling Diffuus LED -35% gemaximaliseerd op 13 uur ten opzichte van 16 uur in de behandeling Direct hybride, om de elektriciteitsdoelstelling te realiseren. In de periode 8 tot en met 22 januari heeft de belichting in beide behandelingen evenveel uren gebrand, omdat de begeleidingscommissie oordeelde dat dat nodig was voor de groei van het gewas (zie hoofdstuk 5).

**Tabel 2**

Het aantal uren per maand dat de topbelichting en tussenbelichting heeft gebrand in beide behandelingen.

	Direct hybride		Diffuus LED -35%	
	Topbelichting SON-T	Tussenbelichting LED	Topbelichting LED	Tussenbelichting LED
Oktober	0	0	0	0
November	369	71	322	63
December	458	455	374	374
Januari	486	479	444	437
Februari	406	399	321	315
Maart	209	204	155	149
April	163	157	125	121
Mei	74	76	58	59
Totaal	2164	1840	1799	1519

Het aantal belichtingsuren in deze proef was in de behandeling Diffuus LED -35% 17% lager dan in de behandeling Direct hybride, zowel voor de topbelichting als voor de tussenbelichting.

Voor de totale hoeveelheid licht in de kas betekende dit een verschil van 6%. (Tabel 3). Dat de lichtsom van het zonlicht in de behandeling Diffuus LED -35% iets hoger uitkomt is met name het gevolg van de hogere lichtdoorlatendheid van het diffuse glas in deze behandeling, zie paragraaf 4.1.1.

Tabel 3

Lichtsommen van het zonlicht, lamplicht en totaal in beide behandelingen.

	Direct hybride	Diffuus LED -35%	Vershil
Lichtsom zonlicht (mol)	1777	1829	3%
Lichtsom lamplicht (mol)	1547	1281	-17%
Totale lichtsom (mol)	3322	3110	- 6%

### 5.1.2 Lichttransmissie van diffuus en helder glas

De hoeveelheid licht die het gewas krijgt bestaat uit de globale straling (zonlicht) van buiten vermenigvuldigd met de kasdektransmissie, en de hoeveelheid licht van de lampen. De kasdektransmissie verschilt tussen beide behandelingen, omdat het diffuse kasdek een hogere lichttransmissie heeft dan het heldere glas. Bij het verdekken van de kassen in 2012 zijn metingen uitgevoerd in het lichtlab in Wageningen. Volgens deze metingen hebben het diffuse en heldere glas de volgende kenmerken:

Standaard float glas: hemisferische lichttransmissie van 83.6% met een haze factor van 0%

Prismatic diffuus glas: hemisferische lichttransmissie van 85.3% met een haze factor van 62%

De volledige metingen zijn te vinden in Dueck *et al.* (2014).

In beide kasafdelingen is per 5 minuten de PAR intensiteit gemeten met lijnsensoren (LICOR LI-191) die vlak boven de lampen zijn geïnstalleerd zodat uitsluitend het natuurlijke licht (zonlicht) wordt gemeten en niet het lamplicht. Verder hangen er in beide kassen sets van 5 puntsensoren bovenin de kas. Deze puntsensoren zijn na installatie gekalibreerd met een geijkte puntsensor van LICOR. Gedurende de proef is met beide sensoren de lichtintensiteit gemeten.

In de periode november 2013 tot en met januari 2014 zijn 33 dagen geselecteerd waarop aan de volgende voorwaarden is voldaan:

Voornamelijk diffuus licht, om schaduw effect op de puntsensoren te minimaliseren. Om de dagen met diffuus licht te selecteren wordt gebruik gemaakt van de diffuse stralingsmeter op de weertoren. Diffuus is hierbij aangenomen als momenten waarop de diffuse straling meer dan 80% van de globale straling is.

Momenten van de dag waarop de schermstand meer dan 10% is zijn uitgefilterd.

Dagen waarop de omstandigheden redelijk constant zijn (bijvoorbeeld dagen waarop buien en zonnige perioden zich afwisselen zijn buiten beschouwing gelaten)

Uit deze analyse bleek dat de lichttransmissie in de kas met diffuus dek 3% hoger is dan in de kas met helder glas, hetgeen redelijk overeen komt met de transmissiemetingen in het lichtlab.

### 5.1.3 Horizontale en verticale verdeling van de topbelichting

Voordat er planten in de kas stonden, is in beide afdelingen de horizontale en verticale lichtverdeling gemeten. Deze metingen zijn gedaan in twee rijen in de kas, met steeds een meter afstand van voor naar achteren in de kas, op verschillende hoogtes. De metingen van beide rijen zijn gemiddeld (Tabellen 4 en 5). Het streven was om de lichtintensiteit op 1.5 meter onder de lampen vergelijkbaar te krijgen tussen beide afdelingen. Dit is met 109  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  voor de LED topbelichting en 115  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  voor de SON-T belichting redelijk goed gelukt.

Tabel 4

Lichtintensiteit van het PAR licht ( $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ) van de LED topbelichting gemeten op verschillende hoogtes onder de lampen (van 1 tot 3.5 meter) op verschillende afstanden ten opzichte van het betonpad voor in de kas (van 1 tot 12 meter).

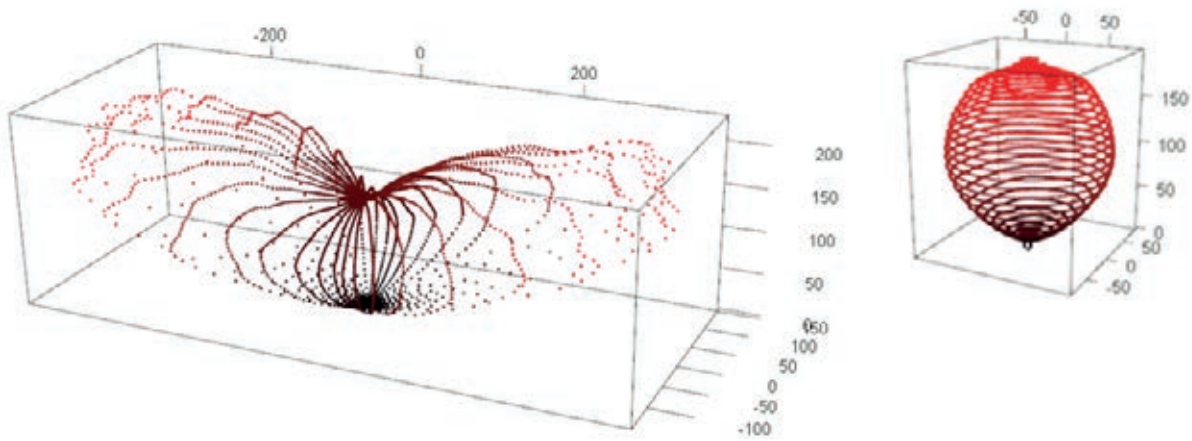
Afstand (m)	Hoogte onder de lampen (m)					
	1	1.5	2	2.5	3	3.5
12	107	90	79	43	63	72
11	119	108	95	98	70	89
10	120	111	110	109	94	91
9	122	113	113	111	97	97
8	120	114	113	111	99	101
7	120	115	113	110	103	102
6	122	112	114	113	104	102
5	117	112	112	112	102	101
4	114	113	112	109	102	99
3	117	113	111	109	101	97
2	119	110	104	101	87	81
1	115	98	93	86	69	80
<b>Beton pad</b>						
Gemiddelde	117	109	106	101	91	92

Tabel 5

Lichtintensiteit van het PAR licht ( $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ) van de SON-T lampen gemeten op verschillende hoogtes onder de lampen (van 1 tot 3.5 meter) op verschillende afstanden ten opzichte van het betonpad voor in de kas (van 1 tot 12 meter)

Afstand (m)	Hoogte onder de lampen (m)					
	1	1.5	2	2.5	3	3.5
12	119	97	82	68	46	57
11	148	120	93	82	54	67
10	102	108	94	86	75	71
9	135	120	103	94	77	74
8	147	128	107	99	77	78
7	121	123	107	98	74	79
6	155	122	106	98	72	77
5	115	122	104	90	76	75
4	143	119	102	94	78	75
3	140	113	99	93	67	72
2	107	106	92	84	64	69
1	143	109	87	77	67	59
<b>Beton pad</b>						
Gemiddelde	131	115	98	88	69	71

Uit de lichtverdelingen blijkt op 1 meter onder de SON-T lampen het patroon van de afzonderlijke lampen goed te zien is. De horizontale lichtverdeling op 1.5 meter onder de lampen is zowel bij de LED lampen als de SON-T lampen goed. Wel blijkt duidelijk dat de lichtdoordringing van de LED lampen beter is dan van de SON-T lampen, op 2 -3.5 meter van de lampen is het lichtniveau onder de LED topbelichting hoger dan onder de SON-T lampen. Dit heeft alles te maken met het lichtprofiel van beide lamptypes (Figuur 8). Het effect hiervan op de lichtonderschepping door een volgroeid gewas is te vinden in paragraaf 8.1.

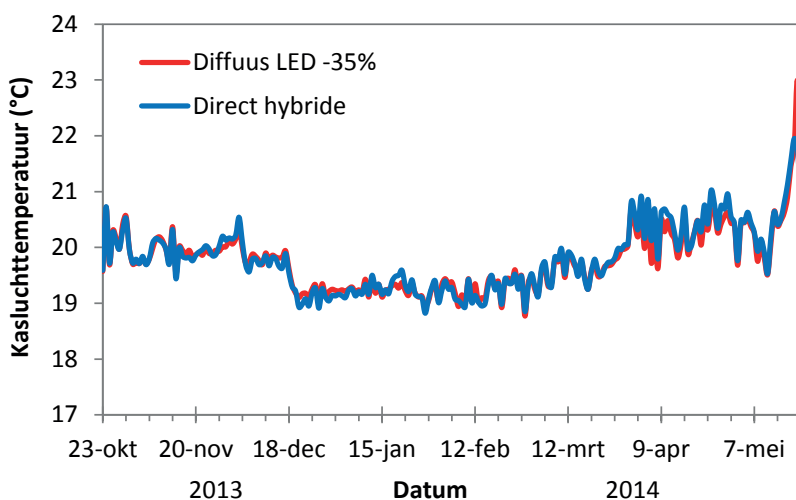


**Figuur 8** Lichtverdeling van een SON-T lamp (links) en een LED lamp (rechts).

## 5.2 Kasluchttemperatuur en planttemperatuur

### 5.2.1 Kasluchttemperatuur

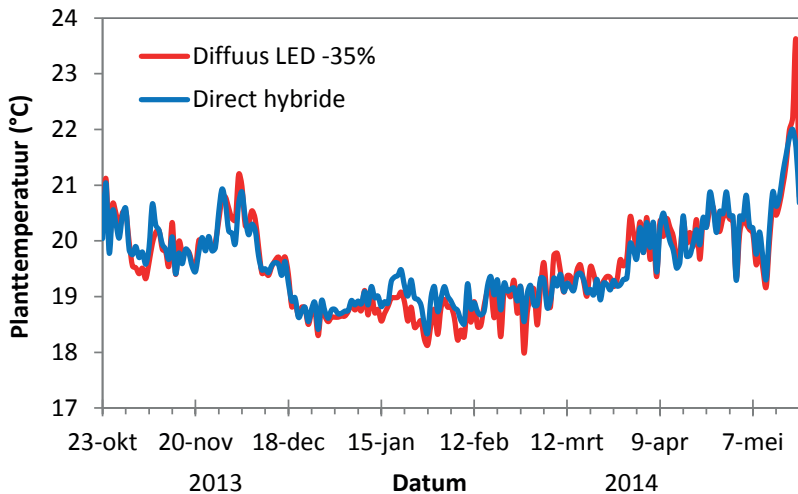
Aan het begin van de teelt is een etmaaltemperatuur van 20 °C aangehouden om voldoende snelheid in de ontwikkeling van het gewas te houden. In de periode met minder natuurlijk licht is de etmaaltemperatuur verlaagd naar 19 °C om plantbalans te houden. De nachttemperatuur werd toen (medio december) verlaagd naar 17 °C, de dagtemperatuur werd op ca. 20 °C gehouden. In het voorjaar, met de toename van de hoeveelheid zonlicht liep de temperatuur gedurende de dag op, en daarmee ook de etmaaltemperatuur. De kasluchttemperaturen in beide behandelingen waren nagenoeg hetzelfde.



**Figuur 9** Verloop van de etmaaltemperatuur in beide behandelingen.

## 5.2.2 Planttemperatuur

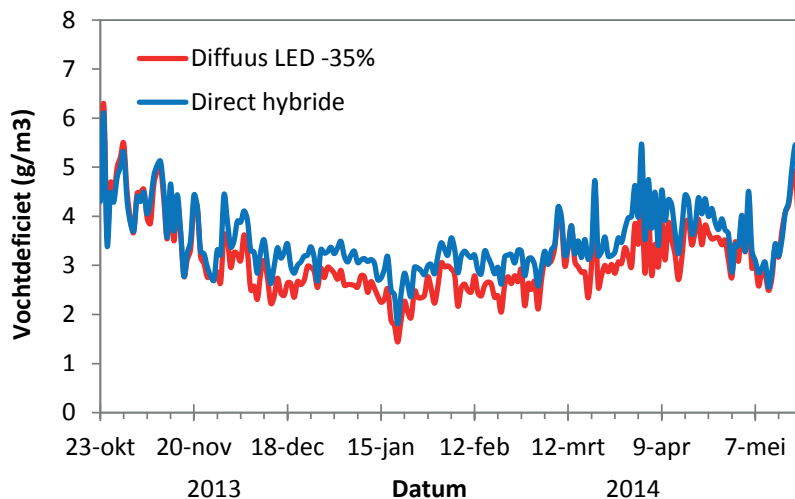
Het streven was in deze proef de planttemperaturen in beide behandelingen hetzelfde te houden, om daarmee een vergelijkbare gewasontwikkeling te realiseren. In onderstaande figuur is te zien dat de planttemperaturen in beide behandelingen vergelijkbaar waren. Omdat de LEDs minder warmte afgeven dan de SON-T lampen, was het wel nodig in de behandeling diffuus LED -35% meer warmte in te brengen dan in de afdeling direct hybride. Omdat in deze teelt geen gebruik gemaakt werd van minimumbuis temperaturen is eventuele extra warmte alleen via de kasluchttemperatuurregeling ingebracht.



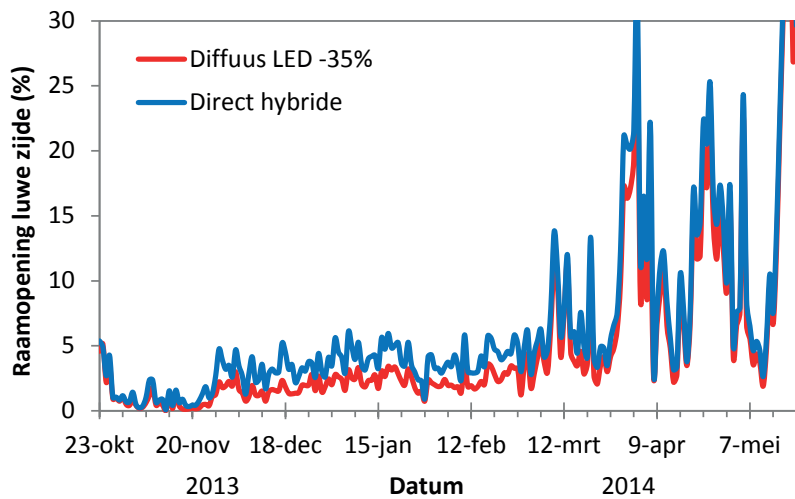
**Figuur 10** Verloop van de planttemperatuur in beide behandelingen.

## 5.3 Raamopening en vochtdeficiet

In de periode dat er veel belicht werd, was het vochtdeficiet in de behandeling Diffuus LED -35% lager dan in de behandeling Direct hybride (Figuur 11). Dit had te maken met het feit dat de ramen in de behandeling Direct hybride verder open stonden dan in Diffuus LED -35% om de warmte van de SON-T lampen af te luchten (Figuur 12). Het vochtdeficiet in de nacht (de donkerperiode waarin ook niet belicht werd) verschilde niet tussen beide behandelingen.



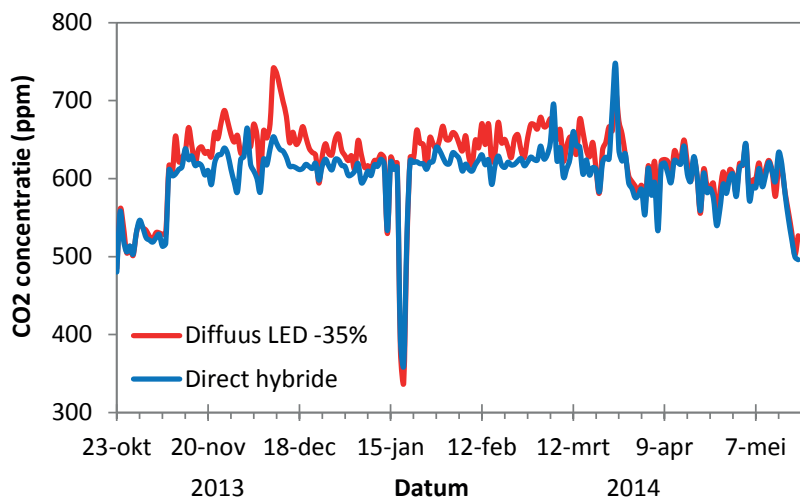
**Figuur 11** Verloop van het vochtdeficiet in beide behandelingen.



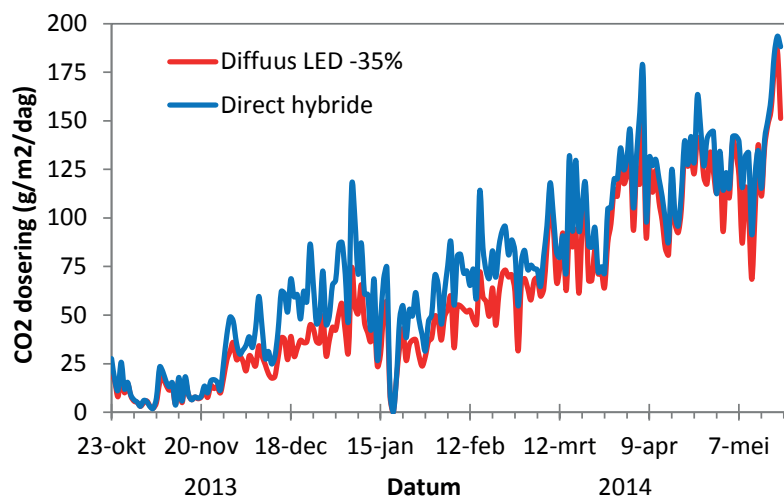
**Figuur 12** Verloop van de raamopening aan de luwe zijde in beide behandelingen.

## 5.4 CO<sub>2</sub> concentratie

Het setpoint voor de CO<sub>2</sub> concentratie in beide behandelingen was 600 ppm. In Figuur 13 is te zien dat deze concentratie gedurende het grootste deel van de teelt gehaald is. Het verschil in raamopening tussen beide behandelingen (Figuur 12) leidde er toe dat de CO<sub>2</sub> concentratie in de behandeling Diffuus LED -35% ca. 20 ppm hoger lag in de wintermaanden dan de concentratie in Direct hybride (Figuur 13), terwijl de CO<sub>2</sub> dosering lager was (Figuur 14).



**Figuur 13** Verloop van de CO<sub>2</sub> concentratie gedurende de dag (periode met zonlicht en/of lamplicht) in beide behandelingen.



**Figuur 14** Verloop van de CO<sub>2</sub> dosering gedurende de dag in beide behandelingen.

Uiteindelijk is gedurende de hele proef in de behandeling Diffuus LED 18% minder CO<sub>2</sub> gedoseerd dan in de behandeling Direct hybride (Tabel 6), terwijl de CO<sub>2</sub> concentratie in deze behandeling niet minder was.

Tabel 6

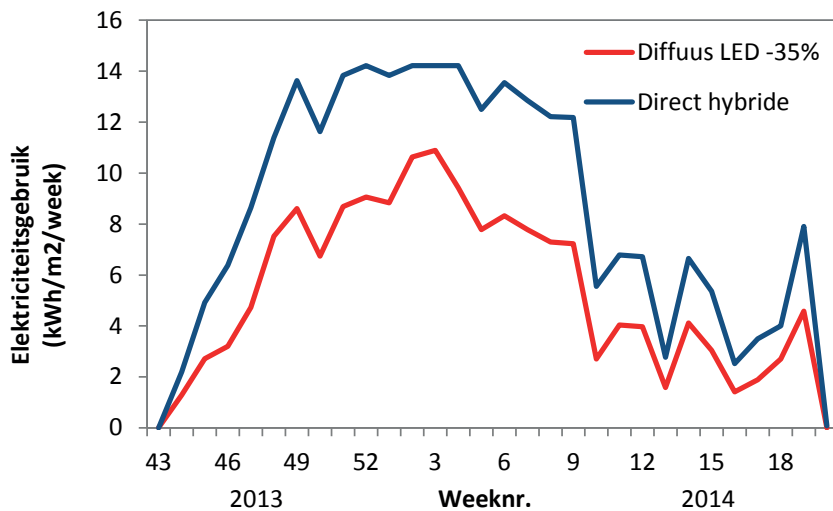
*Totale hoeveelheid CO<sub>2</sub> gedoseerd per behandeling.*

Behandeling	CO <sub>2</sub> gedoseerd (kg/m <sup>2</sup> )
Diffuus LED -35%	12.9
Direct hybride	15.8

## 5.5 Energieverbruik

De hoofddoelstelling van dit project was het terugbrengen van de hoeveelheid elektriciteit voor de belichting, zonder noemenswaardige effecten op productie. De doelstelling werd gesteld op 35% minder elektriciteitsgebruik in de behandeling Diffuus LED -35% ten opzichte van de behandeling Direct hybride. In Figuur 15 is het verloop van het elektriciteitsgebruik gedurende de teelt te zien.

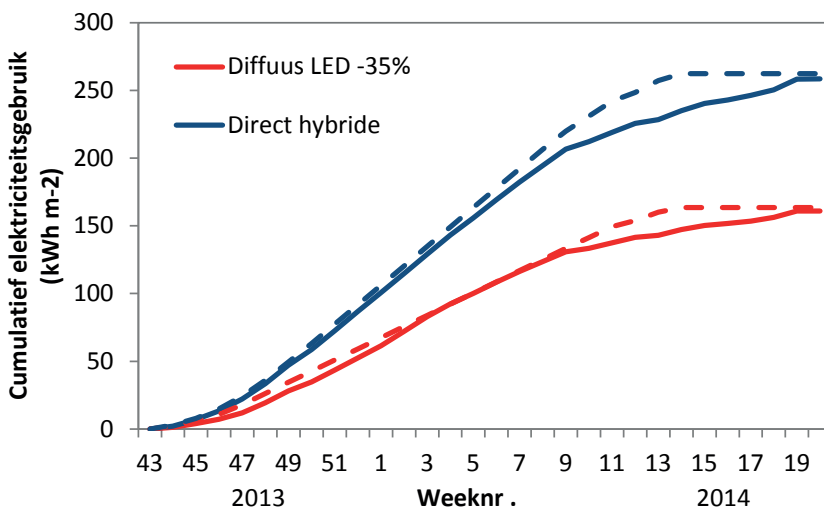




**Figuur 15** Verloop van het elektriciteitsgebruik per week gedurende de teelt in beide behandelingen.

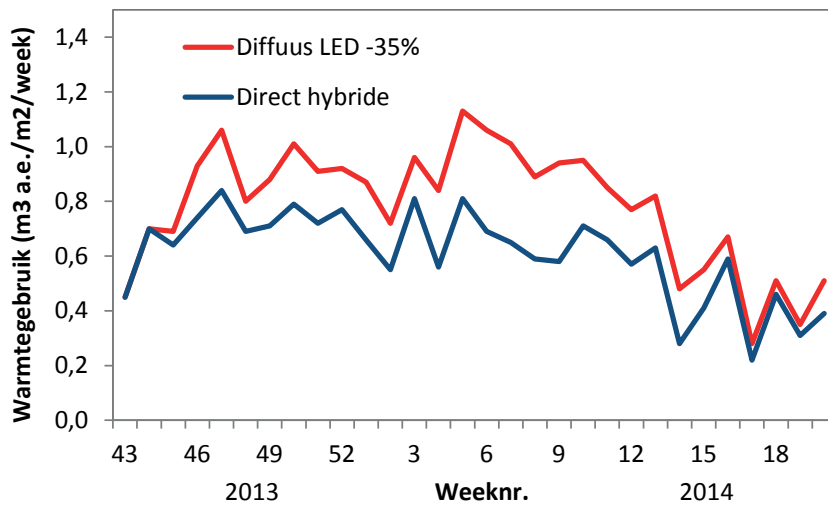
Het wekelijkse elektriciteitsgebruik in de behandeling Diffuus LED -35% ligt veel lager dan in de behandeling Direct hybride. Dit wordt veroorzaakt doordat de LED topbelichting + LED tussenbelichting 17% minder branduren maakten dan de SON-T topbelichting + LED tussenbelichting, en door het feit dat de LED topbelichting minder elektriciteit nodig heeft om dezelfde lichtintensiteit te geven (hogere efficiëntie uitgedrukt in  $\mu\text{mol/J}$ ).

De totale hoeveelheid elektriciteit die gebruikt is, komt goed overeen met de prognose van het elektriciteitsgebruik die voorafgaand aan de proef gemaakt was (Figuur 16). In de behandeling Direct hybride is in het totaal 258 kWh/m<sup>2</sup> gebruikt, en in de behandeling Diffuus LED 161 kWh/m<sup>2</sup>. Dat betekent dat in de behandeling Diffuus LED een besparing aan elektriciteit van 37% is gerealiseerd.



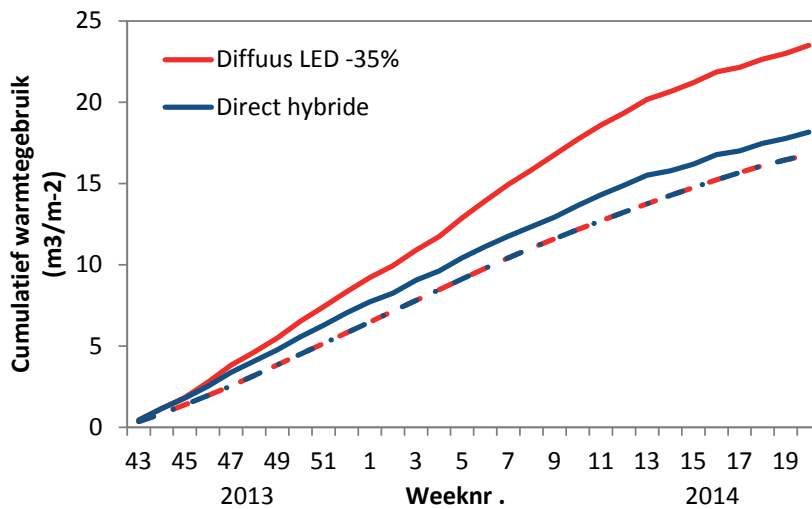
**Figuur 16** Verloop van het cumulatieve elektriciteitsgebruik gedurende de teelt in beide behandelingen. De stippelijnen geven de prognoses per behandeling, de doorgetrokken lijnen het gerealiseerde elektriciteitsgebruik.

Om de plantontwikkeling tussen beide behandelingen gelijk te houden, moest in de behandeling Diffuus LED -35% meer warmte ingebracht worden (Figuur 17).



**Figuur 17** Verloop van het energiegebruik voor verwarming per week gedurende de teelt in beide behandelingen.

Het energiegebruik voor verwarmen lag in de behandeling Diffuus LED -35% met 22.7 m³/m² 33% hoger dan in de behandeling Direct hybride, waar 17.0 m³/m² werd gebruikt (Figuur 18). Voor beide behandelingen gold dat het energiegebruik voor verwarmen hoger lag dan het geprognostiseerde gebruik. Bij de prognose, gebaseerd op het energiegebruik van 2012, was geen onderscheid gemaakt tussen de twee behandelingen.



**Figuur 18** Verloop van het cumulatieve energiegebruik voor verwarmen gedurende de teelt in beide behandelingen. De stippellijn geeft de prognose, de doorgetrokken lijnen het gerealiseerde energiegebruik.

De karakteristieken van de teelt staan in onderstaande tabel samengevat.

	Diffuus LED -35%	Direct hybride
Temperatuur etmaal (°C)	19.7	19.7
Vochtdeficit etmaal (%)	3.1	3.5
Lichtsom zonlicht cumulatief (mol)	1829	1777
Lichtsom lamplicht cumulatief (mol)	1281	1547
Totale lichtsom cumulatief (mol)	3110	3322
CO <sub>2</sub> dag=licht (ppm)	621	603
CO <sub>2</sub> dosering cumulatief (kg/m <sup>2</sup> )	12.9	15.8
Warmte gebruik cumulatief (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ) <sup>1)</sup>	22.7	17.0
Elektriciteitsgebruik cum. (kWh/m <sup>2</sup> )	161	258
Waterverbruik (l/m <sup>2</sup> )	433	510

Het verschil van 97 kWh aan elektriciteitsgebruik is gedeeltelijk als extra warmte alsnog in de kas gebracht (5.7 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>). Voor warmte geldt dat 1 m<sup>3</sup> gas gelijk is aan 8.8 kWh. Nu kan de kWh warmte niet één op één met een kWh elektriciteit vergeleken worden die in het belichtingssysteem gestopt wordt, maar uiteindelijk is de elektriciteit die in een belichtingssysteem gaat voor veruit het grootste deel wel warmte. Anders gezegd: belichting is eigenlijk elektrische verwarming. Als 8 kWh elektrische input als 1 m<sup>3</sup> warmte wordt gesteld, dan heeft de 97 kWh die er in de hybride afdeling extra is ingegaan zo'n 12 m<sup>3</sup> warmte equivalenten in de kas gebracht. Er is echter in de LED afdeling 'maar' 5.7 m<sup>3</sup> warmte extra gegaan. In deze proef is dus grofweg de helft aan elektriciteitsbesparing alsnog als warmte in de kas gebracht.

Omdat in de praktijk meestal met behulp van een WKK zelf elektriciteit wordt geproduceerd is een ketelhuissimulatie gebruikt om de bedrijfssituatie met een WKK van 600 kW per ha na te bootsen. Hierbij was het uitgangspunt dat er geen warmte vernietigd zou worden. De WKK werd ingezet om warmte te produceren. Als de elektriciteit niet gebruikt kan worden op het eigen bedrijf, dan wordt deze aan het openbare net geleverd. Eventueel wordt indien de warmteproductie van de WKK te gering is de ketel bijgeschakeld. In onderstaande tabel is aangegeven wat het gasgebruik van ketel en WKK installatie is geweest en hoeveel elektriciteit er op jaarbasis is ingekocht danwel verkocht in zowel de hoog- als laag-tarief periode. De ketelhuissimulatie laat zien dat de Diffuus LED -35% weliswaar op bedrijfsniveau meer gas in WKK en ketel stopt, maar ook veel minder elektriciteit inkoop, zowel in hoog als in laag tarief en zelfs nog iets meer weet te verkopen dan de Direct hybride behandeling. De financiële consequenties hiervan zijn niet doorgerekend.

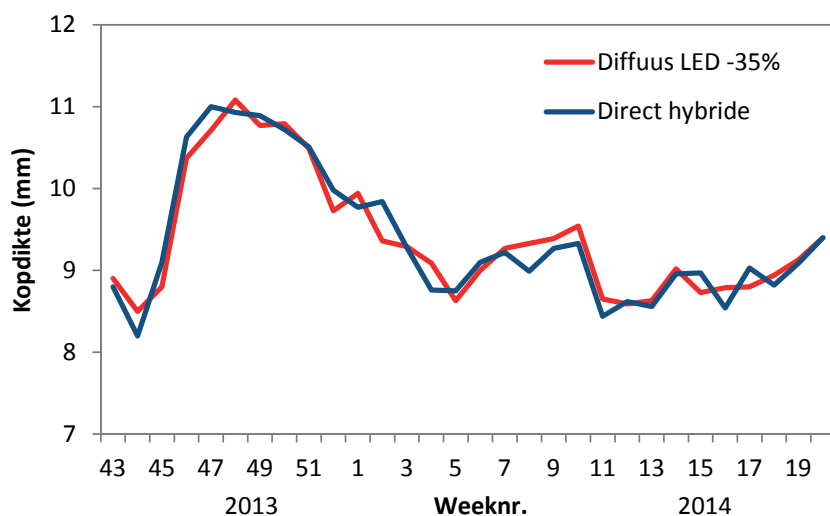
	Diffuus LED -35%	Direct hybride
WKK vermogen (kW/ha)	600	600
Gasverbruik WKK (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	34.3	32.6
Gasverbruik ketel (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	5.4	1.5
Elektriciteitsproductie WKK (kWh/m <sup>2</sup> )	130	123
Belichting totaal gebruikt (kWh/m <sup>2</sup> )	161	258
Inkoop hoog tarief (kWh/m <sup>2</sup> )	31	73
Verkoop hoog tarief (kWh/m <sup>2</sup> )	-26	-19
Inkoop laagtarief (kWh/m <sup>2</sup> )	38	91
Verkoop laagtarief (kWh/m <sup>2</sup> )	-12	-10



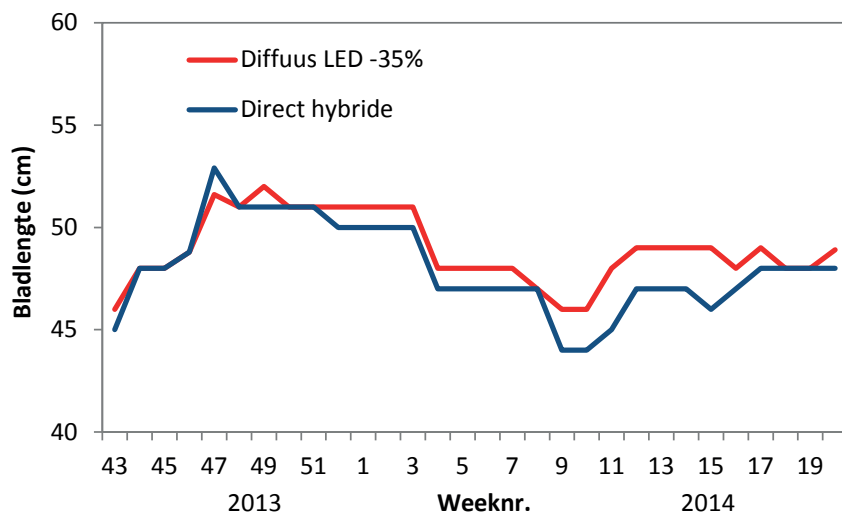
# 6 Resultaten – Plantregistraties en productie

## 6.1 Plantregistraties

Gedurende de proef zijn plantregistraties gedaan om de stand van het gewas goed te kunnen volgen. De kopdikte geeft aan of de aanmaak van assimilaten (licht) goed afgestemd is op het verbruik van assimilaten (temperatuur). Omdat de planten van de plantenkweker redelijk iel waren, is er de eerste weken van de teelt naar gestreefd een steviger gewas neer te zetten, met een iets dikkere kop en langere bladlengte (Figuren 19 en 20). Dat is gelukt. Daarna is geleidelijk aan de plantbelasting verhoogd waardoor de kopdikte afnam naar een constante 9 mm en de bladlengte afnam naar een constante waarde van ca. 46 cm. Vanaf week 1 waren de bladeren in de behandeling Diffuus LED -35% iets langer dan de bladeren in de behandeling Direct hybride.

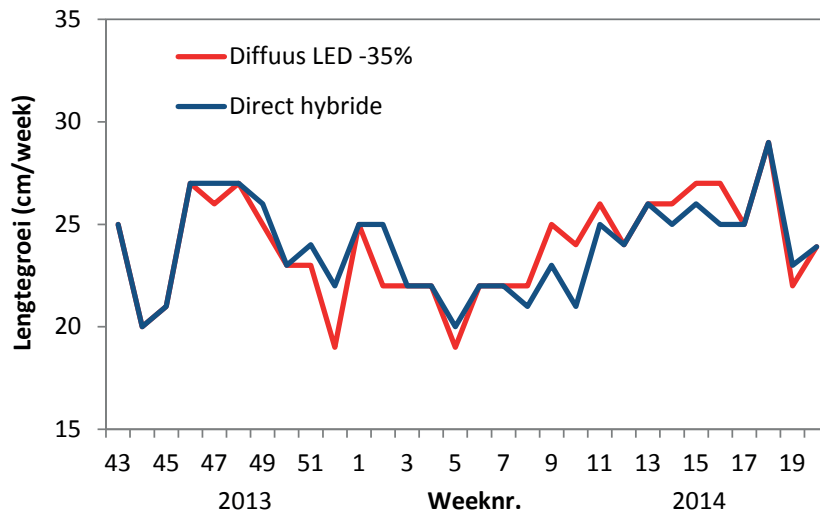


**Figuur 19** Verloop van de kopdikte gedurende de teelt in beide behandelingen.

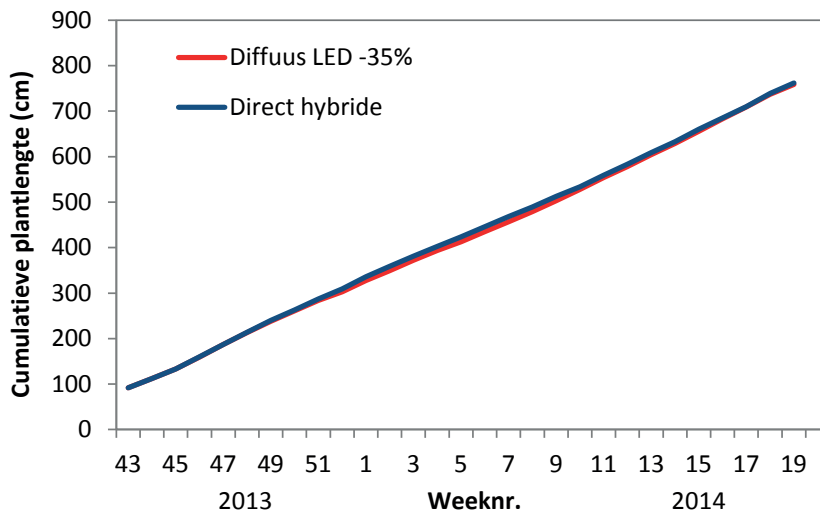


**Figuur 20** Verloop van de bladlengte gedurende de teelt in beide behandelingen.

De wekelijkse lengtegroei verliep in beide behandelingen vergelijkbaar (Figuur 21), hetgeen resulteerde in dezelfde totale plantlengte bij beide behandelingen (Figuur 22).

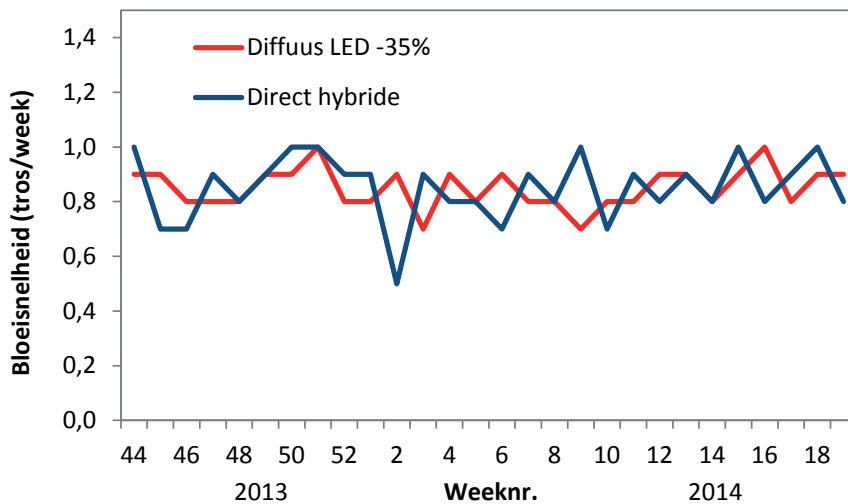


**Figuur 21** Verloop van de lengtegroei per week gedurende de teelt in beide behandelingen.



**Figuur 22** Verloop van de totale plantlengte gedurende de teelt in beide behandelingen.

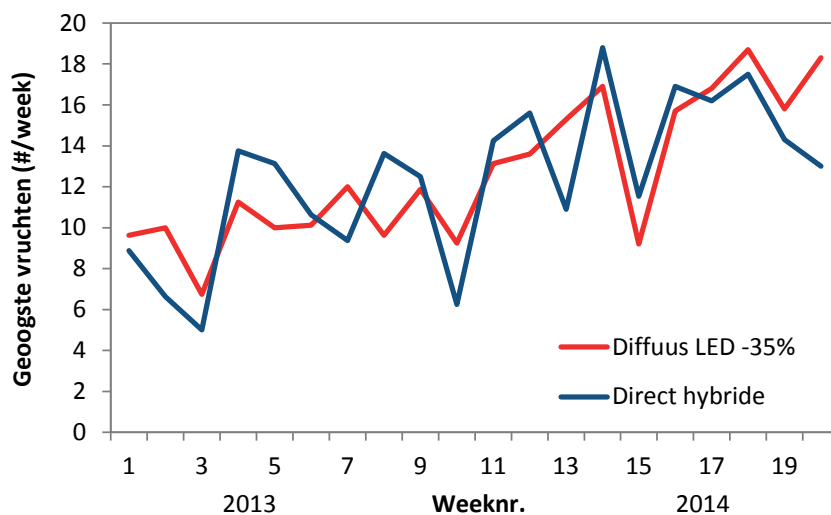
Gedurende de hele teelt verliep de plantontwikkeling zeer gelijkmatig, met een bloeisnelheid van 0.9 trossen per week in beide behandelingen (Figuur 23). Ook de zetting verschilde niet tussen de behandelingen.



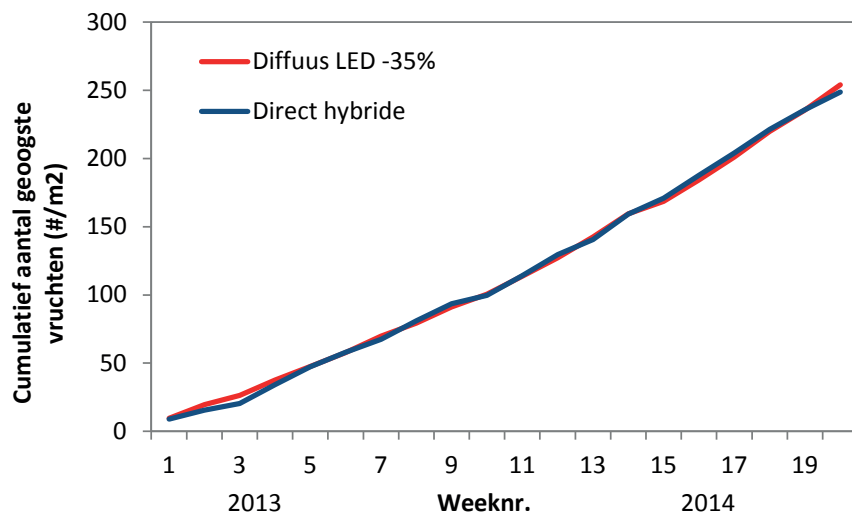
**Figuur 23** Verloop van de plantontwikkeling uitgedrukt in bloeisnelheid gedurende de teelt in beide behandelingen.

## 6.2 Productie

Vanaf week 1 werden tomaten geoogst. Het aantal geoogste vruchten fluctueerde per week, maar verschilde niet tussen de behandelingen (Figuur 24). Dat leidde tot bijna dezelfde cumulatieve aantallen geoogste vruchten tot en met week 20 (Figuur 25). In de behandeling Diffuus LED -35% werden in totaal 254 tomaten/m<sup>2</sup> geoogst, tegen 249 tomaten/m<sup>2</sup> in de behandeling Direct hybride.

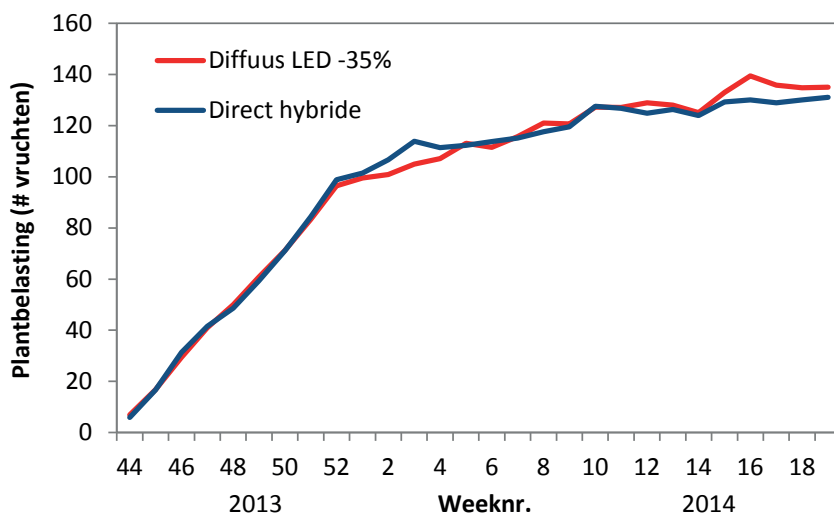


**Figuur 24** Verloop van het aantal geoogste vruchten per week gedurende de teelt in beide behandelingen.



**Figuur 25** Verloop van het cumulatieve aantal geoogste vruchten gedurende de teelt in beide behandelingen.

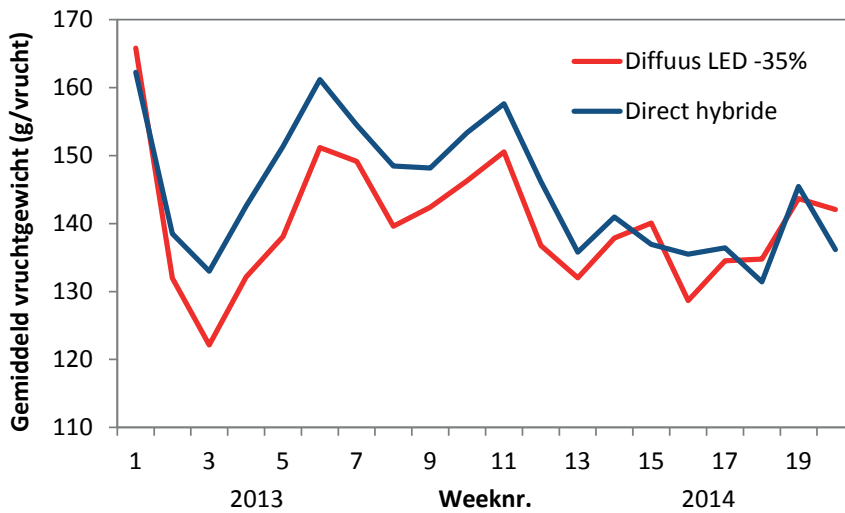
Omdat zowel de bloei en vruchtzetting als de aantallen geoogste vruchten nauwelijks verschilden tussen de behandelingen, was ook de plantbelasting nauwelijks verschillend tussen beide behandelingen (Figuur 26).



**Figuur 26** Verloop van de plantbelasting gedurende de teelt in beide behandelingen.

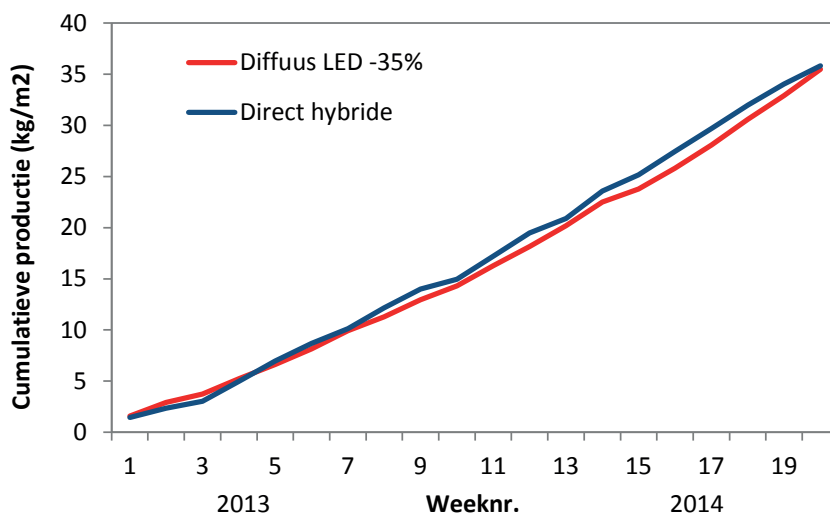
De productie, uitgedrukt in kg/m<sup>2</sup> wordt bepaald door het aantal geoogste tomaten en het gewicht per tomaat. In de eerste oogstweken was het gemiddeld vruchtgewicht in de behandeling Diffuus LED -35% het hoogst. Gedurende de winterperiode bleek echter het gemiddeld vruchtgewicht in de behandeling Direct hybride ongeveer 10 g/vrucht hoger te liggen dan in Diffuus LED -35%. In de laatste weken van de teelt verdwenen de verschillen in vruchtgewicht weer (Figuur 27).





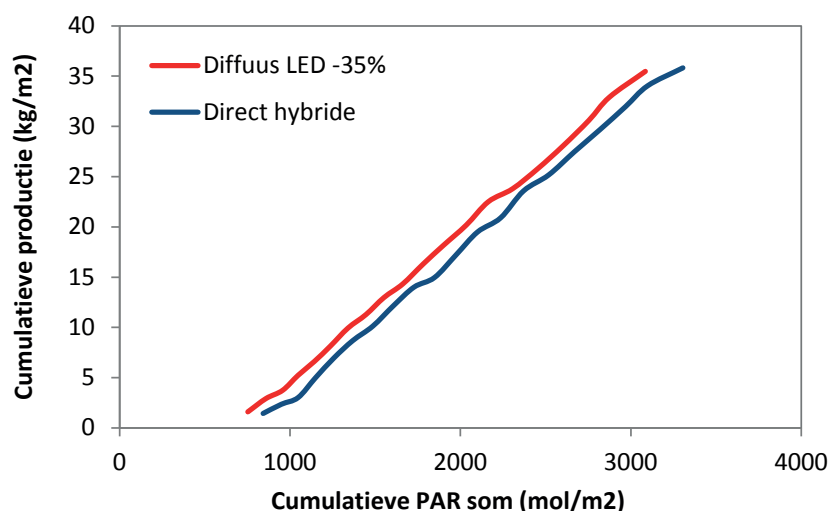
**Figuur 27** Verloop van het gemiddeld vruchtgewicht van de geogste tomaten per week gedurende de teelt in beide behandelingen.

Het feit dat het aantal geogste vruchten nagenoeg gelijk was tussen beide behandelingen, en het gemiddeld vruchtgewicht verschilde, leidde tot een productieverschil dat opliep tot ca. 5% in de periode week 5 – week 12 (Figuur 28). Naar het einde van de teelt werd het verschil in productie tussen beide behandelingen kleiner. Uiteindelijk was de productie in de behandeling Diffuus LED 35.5 kg/m<sup>2</sup>, 0.3 kg/m<sup>2</sup> minder dan in de behandeling Direct hybride, een verschil van 1%.



**Figuur 28** Verloop van de cumulatieve productie gedurende de teelt in beide behandelingen.

De lichtbenuttingsefficiëntie van de behandelingen kan berekend worden door de cumulatieve productie uit te zetten tegen de totale hoeveelheid zon- en lamplicht dat het gewas tot dan toe heeft gekregen (Figuur 29). De hellingshoek van deze lijn is de lichtbenuttingsefficiëntie, dus de productie per lichtsom (kg/kmol). Wanneer de lichtbenuttings efficiëntie berekend wordt voor het einde van de teelt, is te zien dat de efficiëntie van Diffuus LED -35% hoger was dan van de behandeling Direct hybride. Dat is logisch, gezien het feit dat er in de Diffuus LED -35% behandeling met 6% minder licht maar 1% minder tomaten is geproduceerd. Hieruit valt nog niet op te maken of deze hogere lichtbenuttingsefficiëntie wordt bepaald door het diffuse kasdek of het type topbelichting.



**Figuur 29** Verloop van de licht efficiëntie (productie uitgezet tegen de lichtsom) gedurende de teelt in beide behandelingen.

Tabel 7

Lichtbenuttings efficiëntie voor de teelt van 23 oktober tot 20 mei 2014 voor beide behandelingen.

Behandeling	PAR som cumulatief (zon en lampen) (mol/m <sup>2</sup> )	Productie (kg/m <sup>2</sup> )	Lichtbenuttingsefficiëntie (kg/kmol)
Diffuus LED -35%	3110	35.5	11.4
Direct hybride	3322	35.8	10.7

## 6.3 Kwaliteit en houdbaarheid

Maandelijks werden uit beide behandelingen geogste trossen apart gehouden en werd de houdbaarheid bepaald. Gemiddeld bleken de tomaten uit de Diffuus LED -35% behandeling iets minder lang houdbaar dan de tomaten uit de Direct hybride afdeling, een verschil van gemiddeld 1.2 dag (Tabel 8). Dit verschil werd vooral veroorzaakt door de korte houdbaarheid in de behandeling Diffuus LED -35% op 18 februari door het optreden van veel rot tijdens de bewaring. In het gewas was toen ook botrytis te vinden, en de inzetdatum van 18 februari was vlak voor de toepassing van het gewasbeschermingsmiddel Luna Privilege. Twee weken later trad er in de bewaarproef geen rot meer op en waren de tomaten bij beide behandelingen juist erg lang houdbaar.

Tabel 8

Houdbaarheid (in dagen) van tomaten geogst uit beide behandelingen op een aantal momenten gedurende de proef

Datum oogst	Diffuus LED -35%	Direct hybride
8 januari	14.2	14.2
21 januari	12.6	13.7
18 februari	7.7	11.9
4 maart	30.5	31.8
23 april	17.4	17.1
22 mei	14.3	14.8
gemiddelde	16.1 ± 3.2	17.3 ± 3.0

Gedurende de proef werd een aantal malen bemonsterd voor metingen aan kwaliteit en vitamine C gehalte. De metingen aan suikergehalte, zuurgehalte, % sap en stevigheid geven samen een goede indicatie van de smaak van de tomaten (Tabel 9). Uit de metingen bleek dat er nagenoeg geen verschil was in smaak en in vitamine C gehalte tussen de vruchten uit beide behandelingen.

Tabel 9

*Gemiddelde inwendige vruchtkwaliteit van tomaten geoogst uit beide behandelingen op 4 momenten gedurende de proef*

	Diffuus LED -35%	Direct hybride
Refractie (°Brix)	3.3 ± 0.1	3.4 ± 0.1
Zuur (mmol H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> /100 g FW)	5.8 ± 0.2	6.0 ± 0.3
%sap (%)	30 ± 1.2	26 ± 1.5
Stevigheid (N)	40 ± 5.5	41 ± 1.9
Smaak (schaal 0-100)	34 ± 1.5	33 ± 1.4
Vitamine C (mg/100 g FW)	21.0 ± 3.7	20.1 ± 3.3

Verder werd gedurende de proef maandelijks geoogste vruchten apart gehouden en gedroogd (enkele dagen bij 80 °C) om het droge stof gehalte van de vruchten te bepalen. Uit deze data bleek dat er geen verschillen waren in droge stof gehalte tussen de vruchten tussen beide behandelingen (Tabel 10)

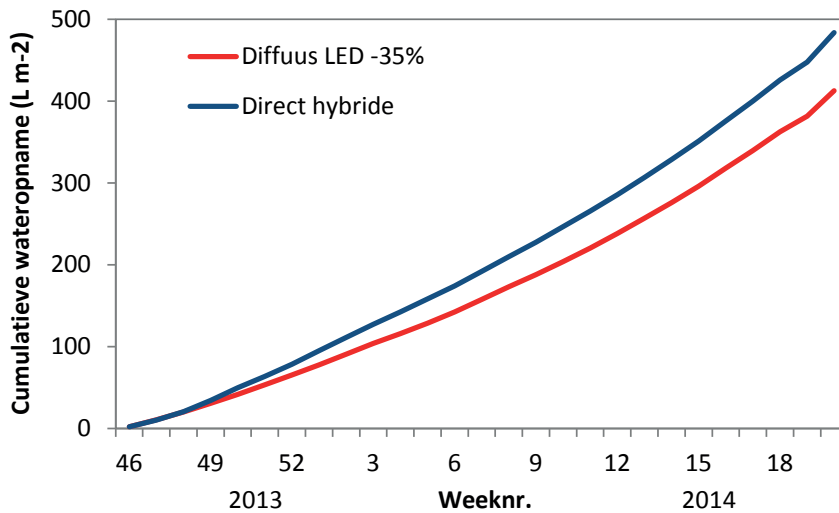
Tabel 10

*Droge stof gehalte van geoogste tomaten uit beide behandelingen op 5 tijdstippen tijdens de proef*

Droge stof gehalte (%) Metingen op:	Diffuus LED -35%	Direct hybride
10 januari	4.1	4.1
25 februari	4.2	4.0
18 maart	4.1	4.8
8 april	4.2	4.2
6 mei	4.2	4.3
Gemiddeld	4.2 ± 0.0	4.3 ± 0.1

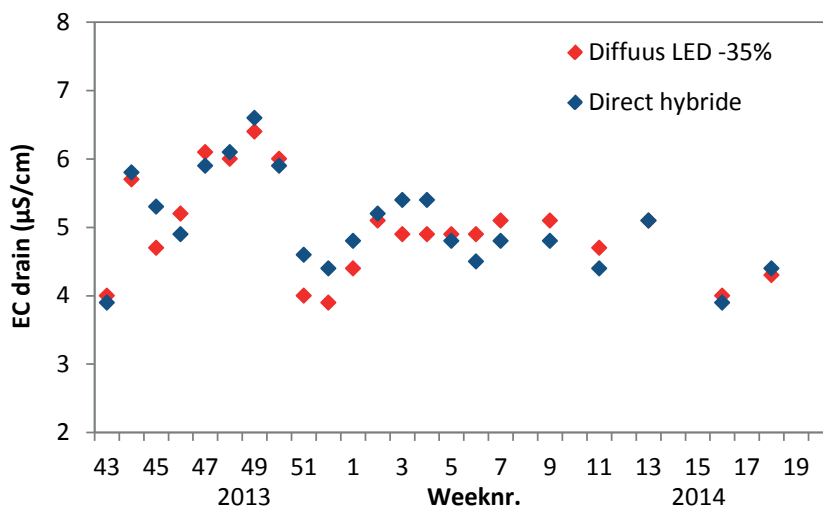
## 6.4 Waterverbruik

In de behandeling Diffuus LED -35% is minder uren belicht, maar meer buiswarmte ingebracht dan in de behandeling Direct hybride. Dit resulteerde in een hogere luchtvochtigheid in de behandeling Diffuus LED -35%. Omdat er sprake was van minder warmteoverschot in de Diffuus LED -35% behandeling wordt er ook minder warmte afgelucht waardoor er meer vocht in de kas blijft. Voor beide behandelingen is het waterverbruik berekend door de hoeveelheid drain af te trekken van de watergift. Het waterverbruik was in de behandeling Diffuus LED -35% in de periode van week 46 tot week 20 in het totaal 433 liter per m<sup>2</sup>, tegen 510 liter/m<sup>2</sup> in de behandeling Direct hybride, een verschil van 15% (Figuur 30)



**Figuur 30** Verloop van de cumulatieve wateropname door de planten voor de behandelingen Diffuus LED -35% en Direct hybride.

Gedurende de proef is de EC van de drain gemeten, deze verschilde niet voor beide behandelingen (Figuur 31).

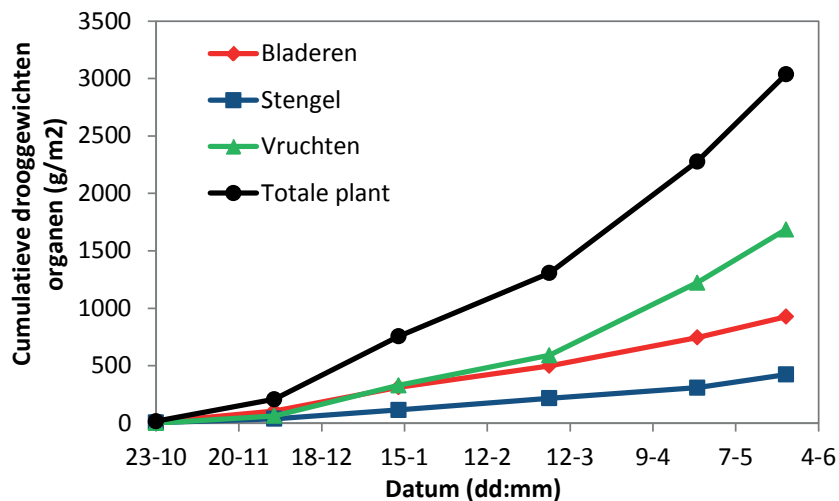


**Figuur 31** Verloop van de EC in het drainwater voor de behandelingen Diffuus LED -35% en Direct hybride.

## 6.5 Destructieve plantmetingen

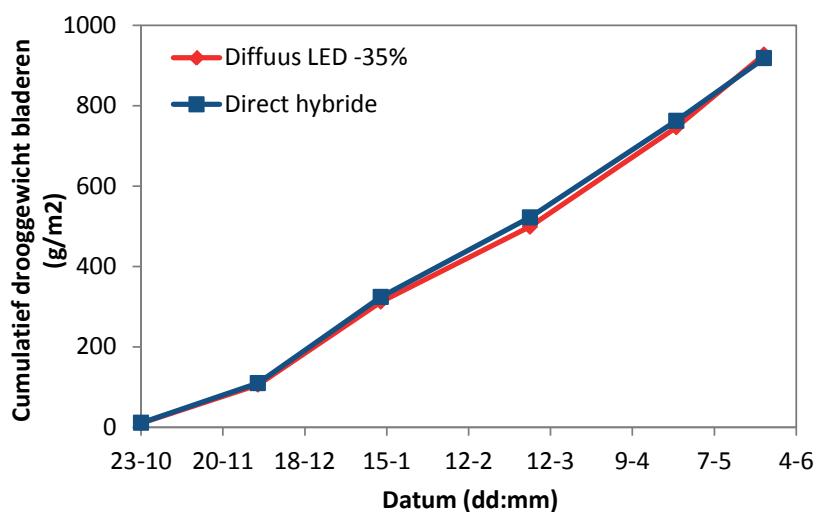
Op het moment van planten, bij de eindogst en op 4 tussenliggende momenten gedurende de teelt werden 6 planten uit de kas verwijderd en destructief geoogst. Door hierbij ook de tot dan toe geplukte bladeren en vruchten op te tellen is het cumulatieve plantgewicht te bepalen.

De cumulatieve orgaangewichten van de behandeling Diffuus LED -35% zijn weergegeven in Figuur 32. In deze figuur is te zien dat de vruchten het grootste deel van het cumulatieve plantgewicht vormen. Aan het einde van een volledige teelt is dat ca. 75%. Deze teelt werd half mei beëindigd, toen was het aandeel van de vruchten op het totale bovengrondse drooggewicht van de plant 56%.

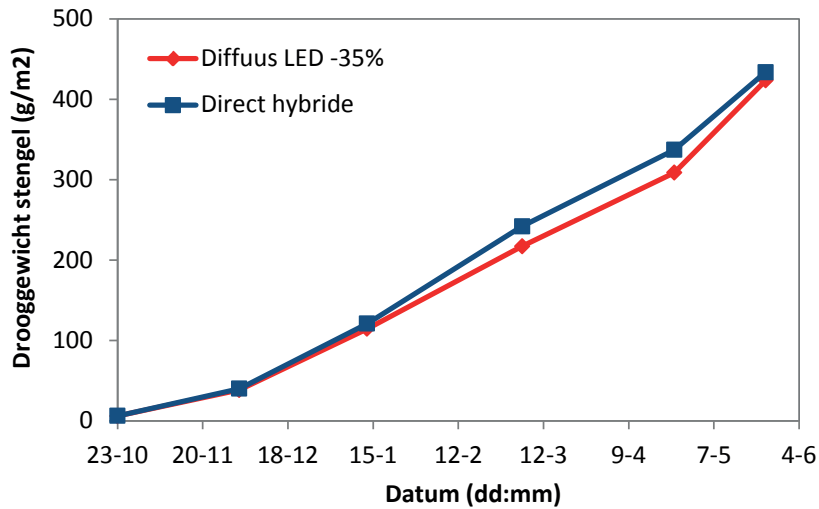


**Figuur 32** Cumulatieve gewichten van bladeren, stengel, vruchten en totale bovengrondse deel van de plant voor de behandeling Diffuus LED -35%.

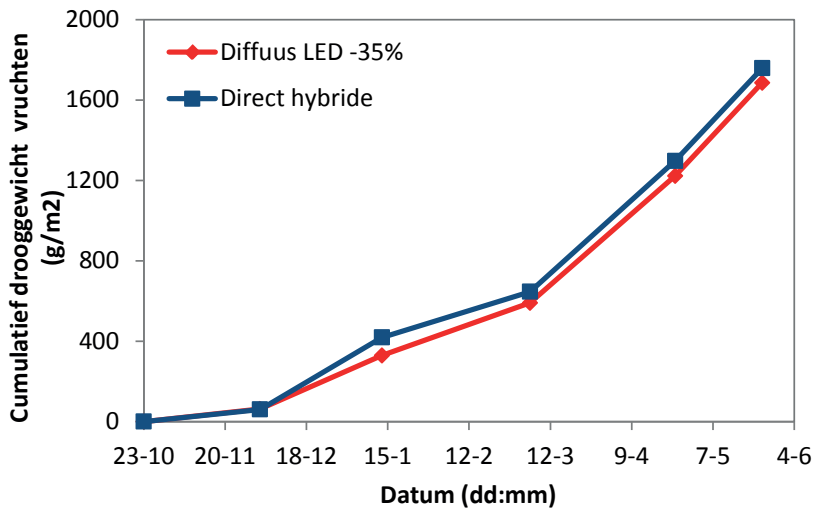
De cumulatieve drooggewichten van de verschillende organen (bladeren, stengel, vruchten en totale bovengrondse plant) verschillen niet tussen de behandelingen Diffuus LED -35% en Direct hybride (Figuren 33 - 36).



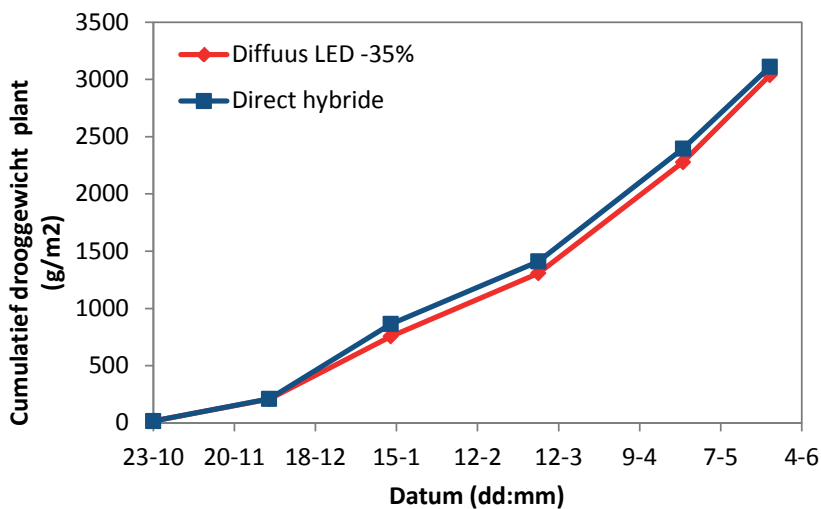
**Figuur 33** Cumulatief drooggewicht van de bladeren voor de behandelingen Diffuus LED -35% en Direct hybride.



**Figuur 34** Cumulatief drooggewicht van de stengel voor de behandelingen Diffuus LED -35% en Direct hybride.

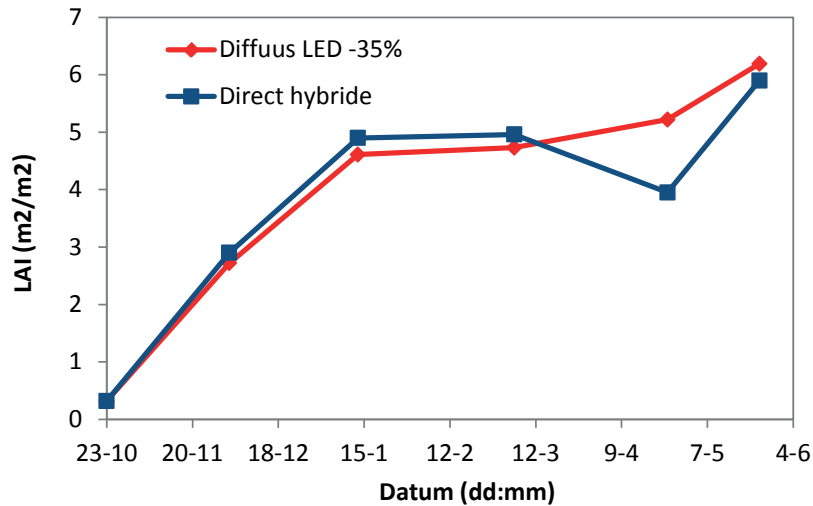


**Figuur 35** Cumulatief drooggewicht van de vruchten voor de behandelingen Diffuus LED -35% en Direct hybride.



**Figuur 36** Cumulatief drooggewicht van het bovengrondse deel van de plant voor de behandelingen Diffuus LED -35% en Direct hybride.

Bij de destructieve metingen werd ook het bladoppervlakte gemeten. Daaruit blijkt dat in december de bladbedekkingsgraad (LAI, leaf area index) al op  $3 \text{ m}^2/\text{m}^2$  zat, wat voldoende is voor bijna volledige lichtonderschepping (Figuur 37). Daarna nam de LAI nog verder toe, tot ongeveer  $5 \text{ m}^2/\text{m}^2$ , hetgeen een hogere LAI is dan naar gestreefd werd. Uit de metingen blijkt dat er geen verschil was in LAI tussen beide behandelingen. Het verschil bij de meting eind april werd veroorzaakt door het feit dat in de Direct hybride behandeling al blad was geplukt voordat de planten uit de kas gehaald werden, en in de behandeling Diffuus LED -35% niet.



**Figuur 37** Verloop van de bladbedekkingsgraad ( $\text{m}^2$  blad per  $\text{m}^2$  vloeroppervlak) in de behandelingen Diffuus LED -35% en Direct hybride.

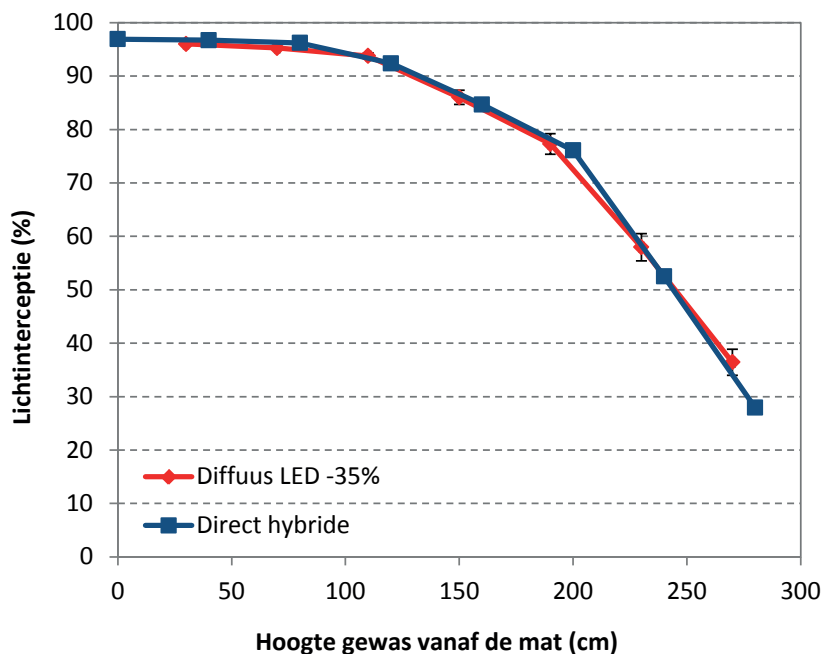




# 7 Resultaten – Plantmetingen

## 7.1 Lichtonderschepping

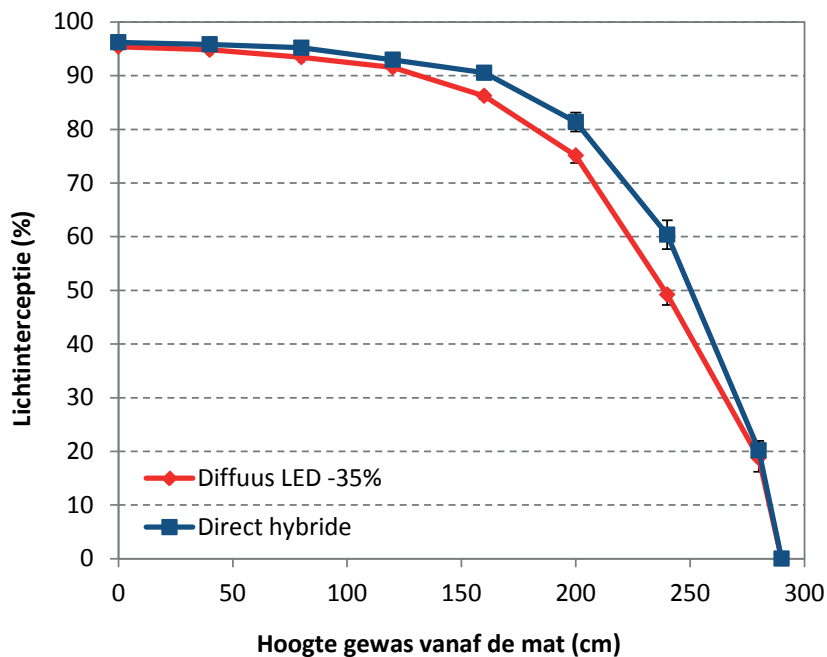
Tijdens de teelt is in beide behandelingen op drie momenten de lichtonderschepping door het gewas gemeten. Tijdens de eerste meetserie, eind januari 2014 waren er geen verschillen in lichtonderschepping tussen beide behandelingen (Figuur 38).



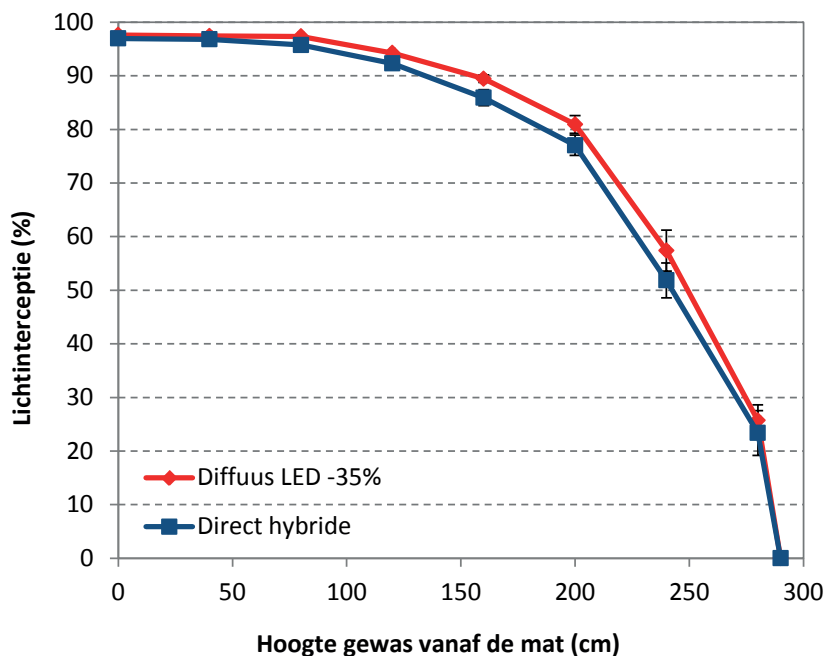
**Figuur 38** Lichtonderschepping door het gewas gemeten op 28 januari 2014 op verschillende hoogtes vanaf de mat voor de behandelingen Diffuus LED -35% en Direct hybride. Verticale lijnen door de symbolen geven de standaardafwijking van het gemiddelde weer ( $P=0.05$ ). In sommige gevallen is de standaardafwijking van het gemiddelde kleiner dan het symbool.

Wanneer de lichtstok boven het gewas zo gehouden wordt dat het licht dat vanuit het gewas en de grond gereflecteerd wordt, wordt in beide behandelingen ca. 2.5% reflectie gemeten.

In de 2<sup>e</sup> serie, gemeten eind maart wordt ook meer dan 95% van het licht door het gewas onderschept. In het middelste stuk van het gewas is te zien dat de planten in de behandeling Diffuus LED -35% een lagere lichtonderschepping hebben dan in de behandeling Direct hybride (Figuur 39). Dit zou te maken kunnen hebben met het feit dat de planten in de behandeling Diffuus LED -35% op dat moment ernstiger waren aangetast door de virusachtige verschijnselen. Dit leidt tot kleinere, opgerolde bladeren, die een lagere lichtonderschepping hebben dan bladeren zonder deze symptomen.



**Figuur 39** Lichtonderschepping door het gewas gemeten op 26 maart 2014 op verschillende hoogtes vanaf de mat voor de behandelingen Diffuus LED -35% en Direct hybride. Verticale lijnen door de symbolen geven de standaardafwijking van het gemiddelde weer ( $P=0.05$ ). In sommige gevallen is de standaardafwijking van het gemiddelde kleiner dan het symbool.



**Figuur 40** Lichtonderschepping door het gewas gemeten op 23 april 2014 op verschillende hoogtes vanaf de mat voor de behandelingen Diffuus LED -35% en Direct hybride. Verticale lijnen door de symbolen geven de standaardafwijking van het gemiddelde weer ( $P=0.05$ ). In sommige gevallen is de standaardafwijking van het gemiddelde kleiner dan het symbool.

Uit de metingen van de lichtonderschepping blijkt dat er geen structurele verschillen zijn in lichtonderschepping tussen beide behandelingen. In beide behandelingen wordt ruim 95% van het licht door het gewas onderscheept.

## 7.2 Plantarchitectuur

De plantopbouw is van belang voor de mate waarin een gewas licht onderschept. Belangrijke factoren daarbij zijn de grootte van de bladeren, en de lengte tussen twee bladaanhechtingen aan de stengel (internodiuumlengte). Uit metingen aan planten in beide behandelingen blijkt dat de lengte van de internodiën tussen opeenvolgende bladeren niet verschillend is tussen de behandelingen. De internodiuumlengte is in april iets groter dan in januari. De grootte van de bladeren (lengte en breedte) verschilde niet tussen de behandelingen Diffuus LED -35% en Direct hybride. In januari lijkt het blad iets langer dan in april, dit is door de grote variatie in de meetwaarden echter niet significant (Tabel 11). De fyllotaxis is de rangschikking van bladeren aan de stengel (in het horizontale vlak). Gebruikelijk is deze 130 °. Er is geen verschil gevonden in fyllotaxis tussen beide behandelingen (Tabel 11)

Tabel 11

*Internodiuumlengte, breedte en lengte van het blad, gemiddeld over 6 planten per afdeling.*

	Internodium lengte (cm)	Lengte blad (cm)	Breedte blad (cm)	Fyllotaxis (°)
Meting in januari				
Diffuus LED -35%	7.1	42.7	37.1	135.6
Direct hybride	7.2	42.6	36.9	136.0
Meting in april				
Diffuus LED -35%	7.9	39.6	37.3	139.6
Direct hybride	7.7	38.8	35.2	136.2

Om de plantopbouw te kwantificeren zijn bladhoeken gemeten, zowel van het blad ten opzichte van de stengel, als van deelblaadjes ten opzichte van de as van het blad. Uit de metingen bleek dat de hoek van de bladsteel met de stengel niet verschilde tussen de behandelingen in zowel januari als april (Tabel 11). In april is de hoek die gemeten is kleiner dan in januari, met andere woorden, de bladeren hangen minder maar staan meer rechtop. De hoeken van de deelblaadjes 1 en 2 zijn bij de behandeling Diffuus LED -35% belichting significant hoger dan bij de behandeling Direct hybride. De hoeken zijn tussen 15 en 30 graden positiever, dat betekent dat ze minder hangen maar meer opgericht staan. Voor het topblaadje (nr. 3 in Tabel 12) verschillen de hoeken niet tussen de behandelingen. In april zijn er geen verschillen meer in bladstand van deelblaadjes 1, 2 en 3 (Tabel 12).

Tabel 12

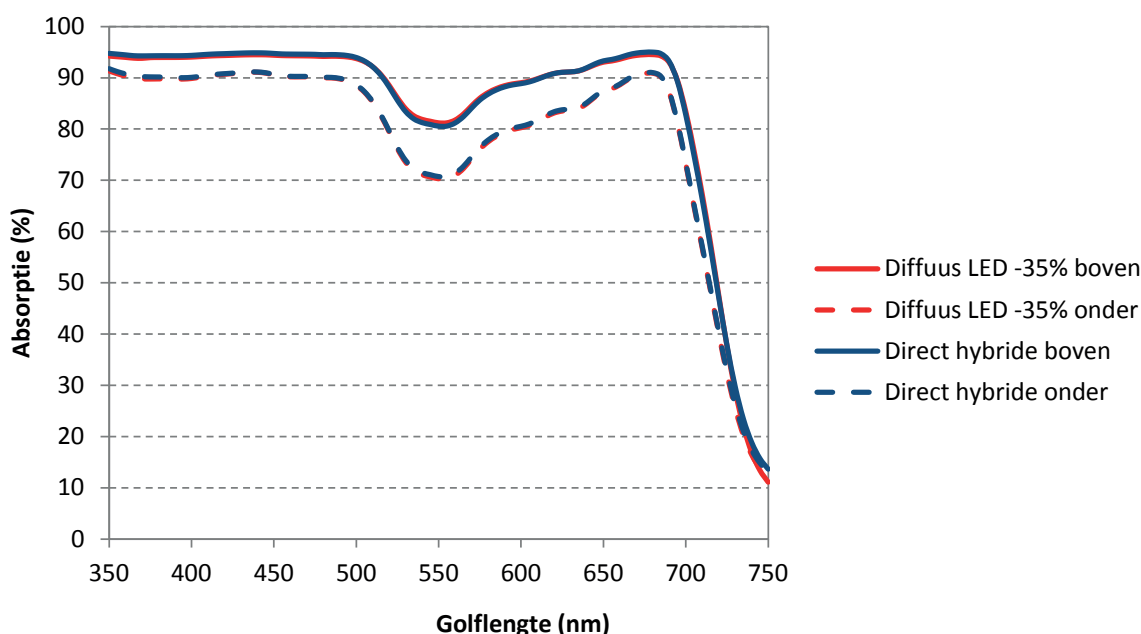
*Hoeken van de bladsteel t.o.v. stengel en van deelblaadjes t.o.v. de horizontaal.*

Hoek	Stengel/ bladsteel	Deelbladhoek					
		Blad 1, A	Blad 1, B	Blad 2, A	Blad 2, B	Blad 3, A	Blad 3, B
Meting in januari							
Diffuus LED -35%	17.6	40.8	-9.3	32.8	-18.7	-26.4	-54.8
Direct hybride	16.9	23.2	-29.4	16.9	-42.3	-26.3	-67.4
Meting in april							
Diffuus LED -35%	7.7	41.4	3.5	26.5	-28.3	-16.8	-43.8
Direct hybride	7.5	42.1	2.3	26.7	-33.8	-6.6	-30.8

Volgens de metingen in januari staan in de behandeling Diffuus LED -35% de deelblaadjes iets verder opgericht dan in de behandeling Direct hybride. Hoewel dit een momentopname is, kan dit enkele weken/maanden het geval geweest zijn. De bladstand is variabel als gevolg van bladbeweging, maar deze vindt vooral 's nachts plaats, en slechts in de nog groeiende bladeren (pers. med. P. de Visser). In april lijkt het effect in de behandeling Diffuus LED -35% afdeling verdwenen, mogelijk door de dominantie van natuurlijk licht in beide afdelingen.

### 7.3 Bladreflectie en -transmissie:

Uit beide behandelingen werden in januari 2014 deelblaadjes genomen, waaraan reflectie en transmissie werd gemeten van zowel de onderzijde als de bovenzijde van het blad. Uit deze waarden is de absorptie van licht te bepalen. Uit deze metingen bleek dat de optische eigenschappen van bladeren uit beide behandelingen niet verschilde (Figuur 41). De absorptie als functie van de golflengte vertoont het verloop zoals is te verwachten voor een groen blad, met een duidelijke verlaging bij groen licht, omdat er bij die golflengtes veel reflectie optreedt.



**Figuur 41** Absorptie op bladniveau van licht tussen 350 en 750 nm golflengte, gemeten aan de onderzijde en bovenzijde van bladeren uit het midden van het gewas.

Als de metingen per 5 nm interval gesommeerd worden voor het gehele PAR-spectrum blijkt er ook geen verschil tussen de behandelingen Diffuus LED -35% en Direct hybride (Tabel 13). Wel is duidelijk dat de onderzijde van het blad minder licht absorbeert en meer reflecteert dan de bovenzijde van het blad.

Tabel 13

Optische karakteristiek van tomatenblad aan boven- en onderzijde. De golflengte afhankelijke metingen zijn gesommeerd van 400-700 nm (=PAR licht).

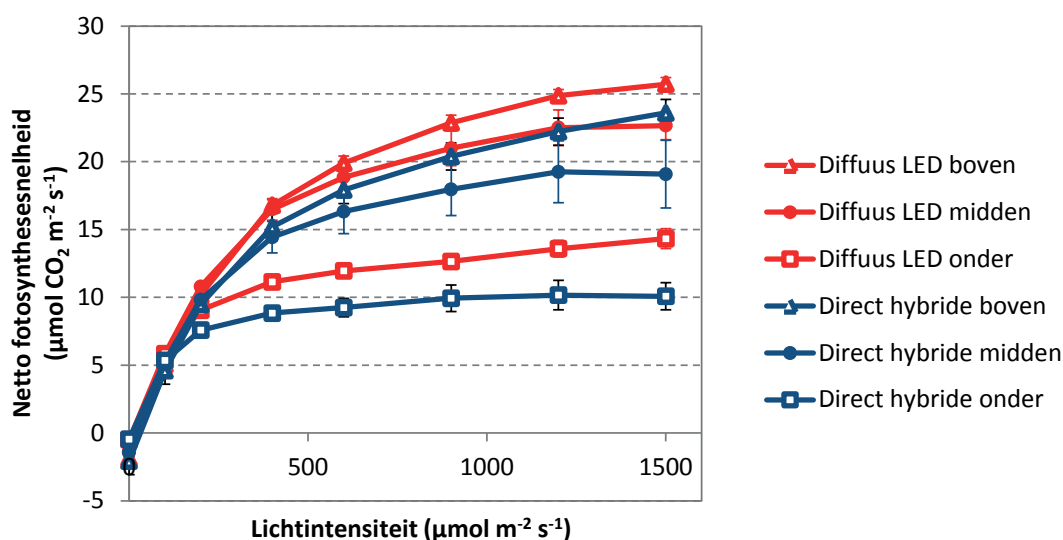
% van PAR-input	Diffuus LED -35%		Direct hybride	
	Bovenzijde	Onderzijde	Bovenzijde	Onderzijde
Absorptie	90.7	84.1	90.8	84.3
Reflectie	5.3	11.9	5.6	12.0
Transmissie	4.0	4.0	3.6	3.7

De optische eigenschappen blijken niet beïnvloed door de behandelingen. In theorie zou het blad zich aan een wijziging van het lichtspectrum hebben kunnen aanpassen door aanmaak van pigmenten die de aangeboden lichtkleur beter absorberen. Het ontbreken van een aanpassing kan betekenen dat of (a) het absolute niveau niet boven een drempelwaarde is gekomen, of (b) het blad het vermogen ontbeert om zich aan te passen.

## 7.4 Fotosynthesemetingen

### 7.4.1 Lichtresponscurves

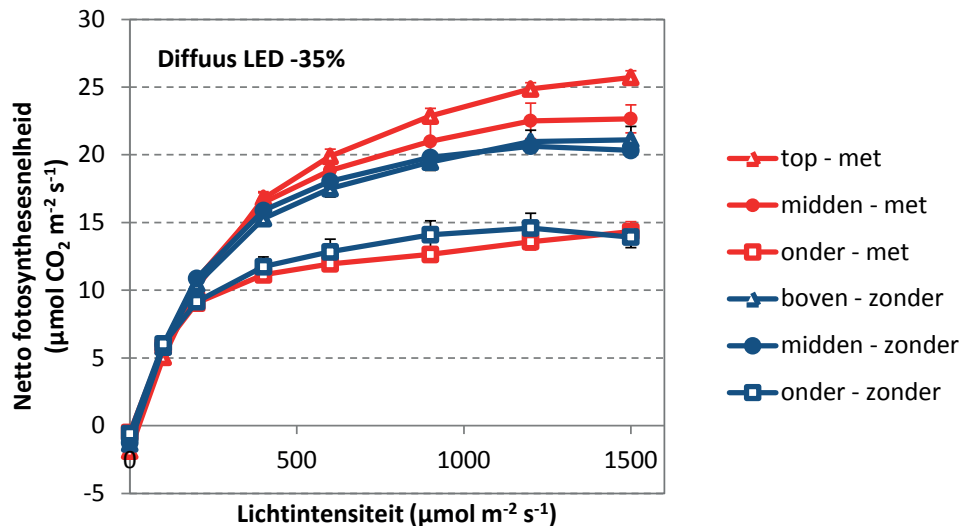
Gedurende het experiment zijn op drie momenten fotosynthesemetingen gedaan, om na te gaan of er verschillen zijn in de efficiëntie van de fotosynthese. Bij de metingen op 9 en 10 december hadden de planten net de draad bereikt. De metingen laten zien dat bij hoge lichtniveaus bladeren in het bovenste en middelste deel van het gewas efficiënter omgaan met licht. Waar de onderste bladeren nauwelijks hun fotosynthese kunnen verhogen boven de 400  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ , loopt de fotosynthese van de bovenste bladeren op tot 1500  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ . Op alle hoogtes in het gewas is de fotosynthese in de behandeling Diffuus LED -35% hoger dan in de behandeling Direct hybride (Figuur 42).



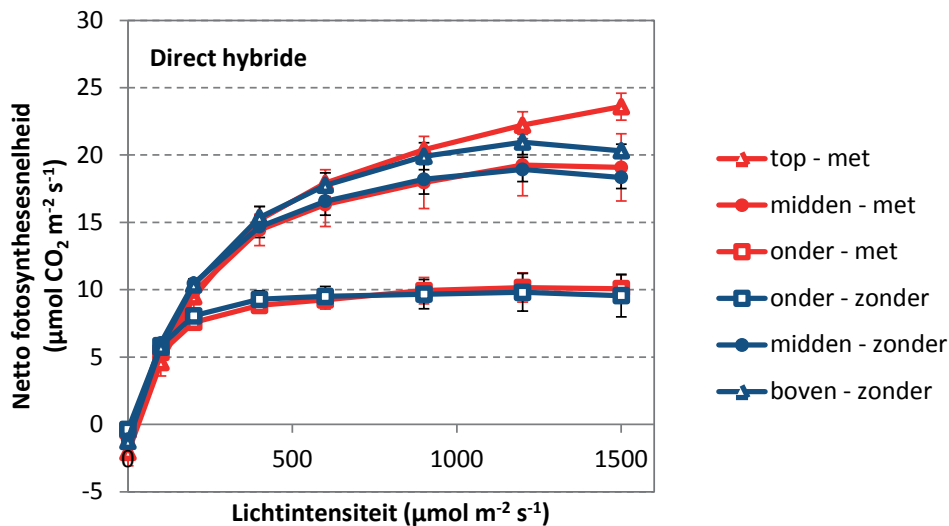
**Figuur 42** Respons van de netto fotosynthese op een reeks lichtintensiteiten. De metingen zijn gedaan in december 2013 in de behandelingen Diffuus LED -35% en Direct hybride op drie hoogtes in het gewas (bovenste volgroeide blad, midden in het gewas ter hoogte van de LED balken en aan de onderste bladeren). De verticale lijnen door de symbolen geven de standaardafwijking aan.

In de eerste anderhalve maand van de teelt groeien de tomatenplanten naar de draad, en worden ze nog niet verplaatst (laten zakken en verhangen). In deze periode is in beide afdelingen één dubbele LED balk uitgelaten, om na te kunnen gaan wat het effect is van wel of geen LED tussenbelichting op de fotosynthese van bladeren. De meetresultaten staan in Figuur 43 voor de behandeling Diffuus LED -35% en in Figuur 44 voor Direct hybride.

Op de hoogtes in het gewas waar effect te verwachten zo zijn van het wel of niet laten branden van de LED belichting, namelijk midden in het gewas of onderin het gewas, blijkt het effect van de LED tussenbelichting op de fotosynthese beperkt of niet aanwezig (Figuren 43 en 44). Bij de behandeling Diffuus LED -35% blijkt dat het aanhebben van de LED tussenbelichting een positief effect heeft op de fotosynthese van de bovenste bladeren (Figuur 43). De reden hiervoor is niet duidelijk. Het lijkt niet logisch dat de tussenbelichting effect zou hebben op hoger gelegen bladeren.



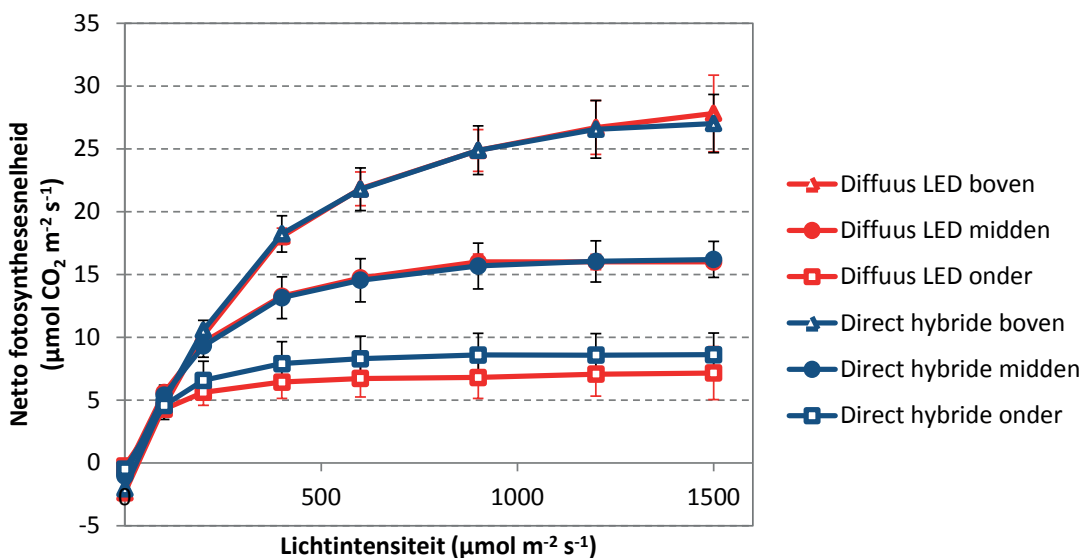
**Figuur 43** Respons van de netto fotosynthese op een reeks lichtintensiteiten. De metingen zijn gedaan in de behandelingen Diffuus LED -35% op drie hoogtes in het gewas (bovenste volgroeide blad, midden in het gewas ter hoogte van de LED balken en aan de onderste bladeren) aan planten die in een vak hebben gestaan waar de LED tussenbelichting aan was geweest (met) en aan planten in een vak waar de LED tussenbelichting niet aan was geweest (zonder). De verticale lijnen door de symbolen geven de standaardafwijking aan.



**Figuur 44** Respons van de netto fotosynthese op een reeks lichtintensiteiten. De metingen zijn gedaan in de behandelingen Direct hybride op drie hoogtes in het gewas (bovenste volgroeide blad, midden in het gewas ter hoogte van de LED balken en aan de onderste bladeren) aan planten die in een vak hebben gestaan waar de LED tussenbelichting aan was geweest (met) en aan planten in een vak waar de LED tussenbelichting niet aan was geweest (zonder). De verticale lijnen door de symbolen geven de standaardafwijking aan.

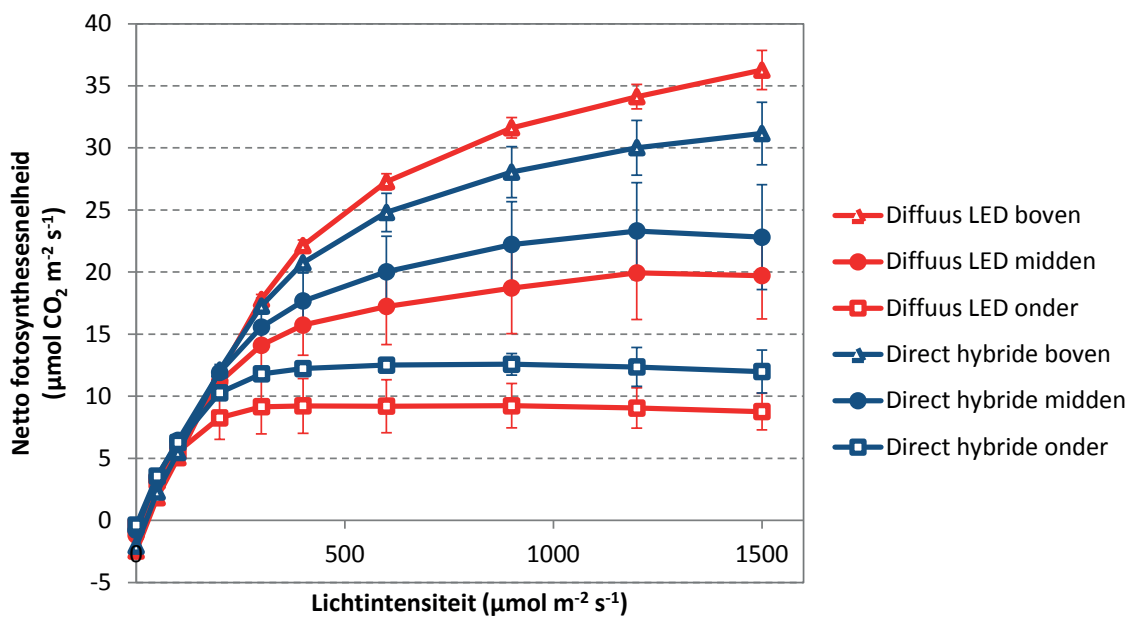
Na deze metingen werd de ene set LED tussen belichting in beide afdelingen weer aangekoppeld.

De fotosynthesemetingen op verschillende hoogtes werden op 11 en 13 februari herhaald. Uit deze metingen blijkt dat er geen verschil is in fotosynthesnelheid op de verschillende hoogtes in het gewas tussen de behandelingen Direct hybride en Diffuus LED -35% (Figuur 45).



**Figuur 45** Respons van de netto fotosynthese op een reeks lichtintensiteiten. De metingen zijn gedaan in februari 2014 in de behandelingen Diffuus LED -35% en Direct hybride op drie hoogtes in het gewas (bovenste volgroeide blad, midden in het gewas ter hoogte van de LED balken en aan de onderste bladeren). De verticale lijnen door de symbolen geven de standaardafwijking aan.

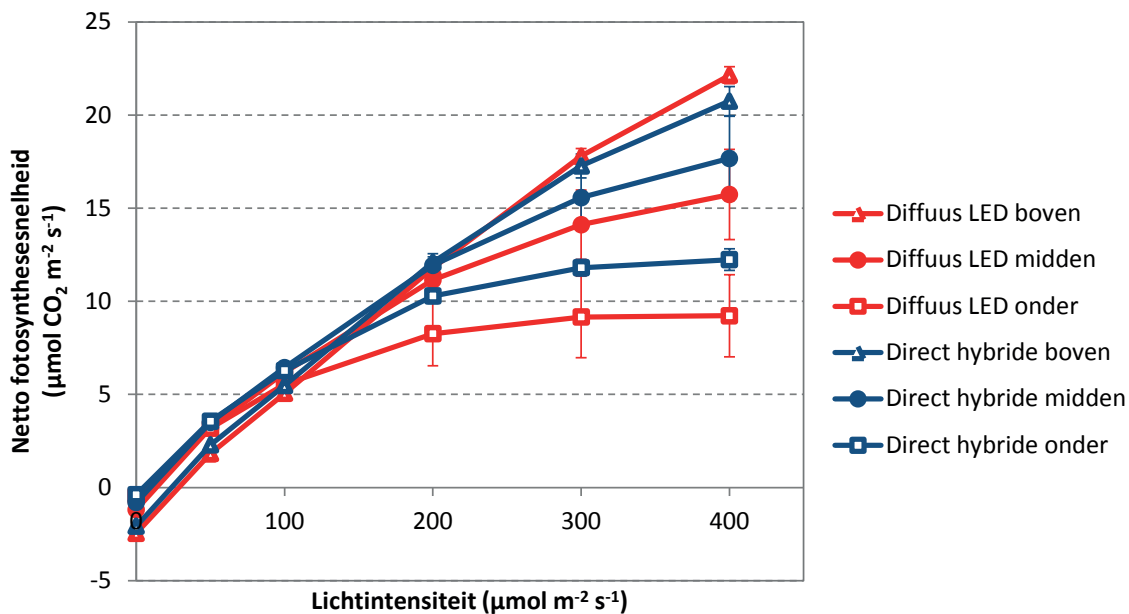
De derde serie metingen aan de fotosynthese in beide behandelingen werd uitgevoerd op 10 en 11 april 2014. In die periode is de bijdrage van het zonlicht in de kas groter dan van het lamplicht. In de bovenste bladlaag is te zien dat de fotosynthese van de bladeren in de behandeling Diffuus LED -35% hoger is dan van de behandeling Direct hybride (Figuur 46). Dit zou te maken kunnen hebben met het feit dat de transmissie van het diffuse kasdek hoger is, en dat het licht diffuus is. In de middelste bladlaag is de spreiding tussen de metingen groot, en zijn er dus geen aantoonbare verschillen in fotosynthese tussen beide behandelingen. In de onderste bladlaag ligt de fotosynthese in de behandeling Diffuus LED -35% lager dan in de behandeling Direct hybride (Figuur 46). Wat hiervoor de reden is, is moeilijk aan te geven. Wel duidelijk is dat op die hoogte de lichtintensiteit zodanig laag is, dan boven de ca. 200  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  lichtintensiteit, er nauwelijks meer toename is van de fotosynthese. Uit figuur 40 is te zien dat op die hoogte ca. 95% van het licht al door het gewas is onderschept. De hoeveelheid licht bij de onderste bladeren is dus zeer laag, zowel in de behandeling Diffuus LED -35% als in de behandeling Direct hybride.



**Figuur 46** Respons van de netto fotosynthese op een reeks lichtintensiteiten. De metingen zijn gedaan in april 2014 in de behandelingen Diffuus LED -35% en Direct hybride op drie hoogtes in het gewas (bovenste volgroeide blad, midden in het gewas ter hoogte van de LED balken en aan de onderste bladeren). De verticale lijnen door de symbolen geven de standaardafwijking aan.

De bovengenoemde effecten zijn vooral goed zichtbaar bij hogere lichtintensiteiten. Deze kunnen tijdens de fotosynthese makkelijk "gecreëerd" worden, omdat een lamp boven de meetcuveet gebruikt wordt, waarmee de lichtintensiteiten aangelegd kunnen worden zoals we ze willen hebben. In de praktijk komen de hele hoge lichtintensiteiten in de kas weinig voor, zeker in de winter en in het voorjaar. Zeker voor het belichtingsseizoen zijn de lagere lichtintensiteiten meer van belang. Daarom is van bovenstaande figuur de uitsnede gemaakt van 0 tot 400  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  (Figuur 47).





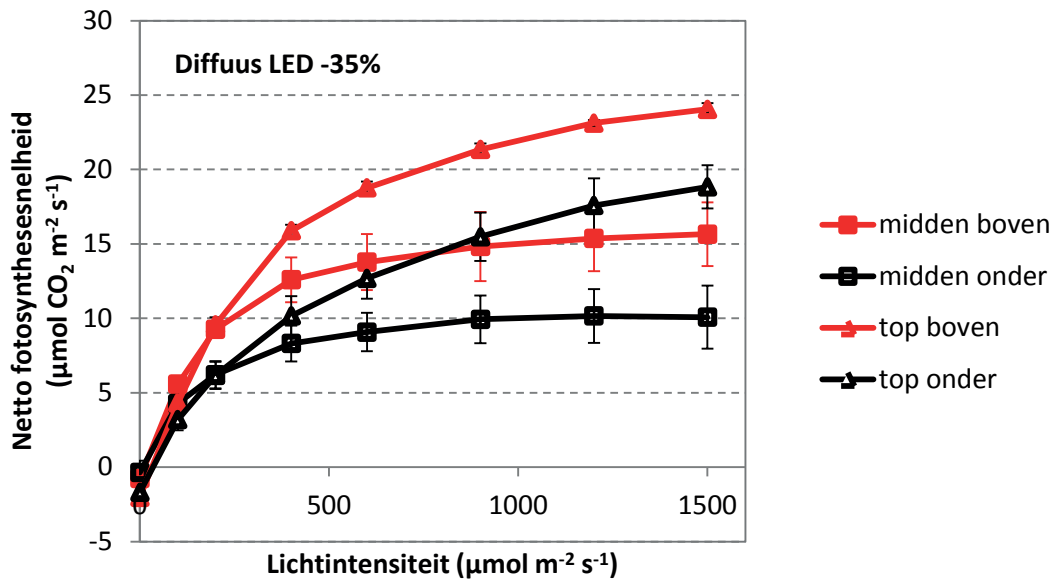
**Figuur 47** Respons van de netto fotosynthese op een reeks lichtintensiteiten. De metingen zijn gedaan in april 2014 in de behandelingen Diffuus LED -35% en Direct hybride op drie hoogtes in het gewas (bovenste volgroeide blad, midden in het gewas ter hoogte van de LED balken en aan de onderste bladeren). De verticale lijnen door de symbolen geven de standaardafwijking aan.

In deze figuur is te zien dat tussen de 0 en 200  $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$  meer licht zorgt voor een evenredige toename van de fotosynthese. De onderste bladeren zijn het slechtst in staat hogere lichtintensiteiten te verwerken: bij een lichtintensiteit van ca. 300  $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$  is het blad verzadigd en zal de fotosynthese niet verder toenemen. Dit heeft te maken met het feit dat deze bladeren vrij donker staan. Daarom is een deel van het fotosyntheseapparaat niet meer functioneel. De fotosynthese van de bovenste bladeren neemt in het traject van 0 tot 400  $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$  bijna lineair toe: meer licht wordt efficiënt gebruikt door de bladeren. De middelste bladlaag kan het licht boven de 200  $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$  al iets minder goed verwerken dan de bovenste bladeren.

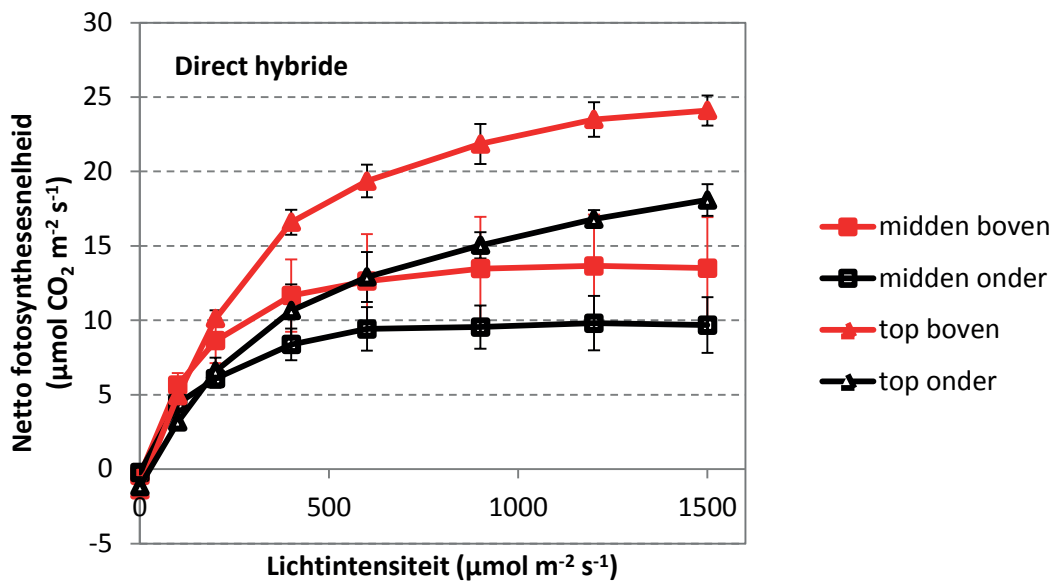
#### 7.4.2 Fotosynthese van de onder- en bovenzijde blad

Onder normale omstandigheden wordt voornamelijk de bovenkant van een blad belicht. Immers zowel zonlicht als lamplicht komt van boven. In deze proef is echter ook tussenbelichting gebruikt, waardoor een deel van het licht op de onderkant van het blad valt. Om na te gaan wat de efficiëntie van licht is dat op de onderkant van het blad valt is voor de fotosynthese, zijn in beide behandelingen lichtrespons curves gemaakt van de fotosynthese van de onder- en bovenkant van bladeren uit de bovenste en middelste laag van het gewas.

De fotosynthese van de onderzijde van het blad blijkt ca. 30% lager te liggen dan van de bovenzijde van het blad. Dit verschilt niet tussen de behandelingen Diffuus LED -35% (Figuur 48) en Direct hybride (Figuur 49). Deze gegevens zijn vervolgens gebruikt om het 3D model te kalibreren.



**Figuur 48** Respons van de netto fotosynthese van de onderzijde en bovenzijde van bladeren op een reeks lichtintensiteiten. De metingen zijn gedaan in januari 2014 in de behandeling Diffuus LED -35% op twee hoogtes in het gewas (top en midden). De verticale lijnen door de symbolen geven de standaardafwijking aan.



**Figuur 49** Respons van de netto fotosynthese van de onderzijde en bovenzijde van bladeren op een reeks lichtintensiteiten. De metingen zijn gedaan in januari 2014 in de behandeling Direct hybride op twee hoogtes in het gewas (top en midden). De verticale lijnen door de symbolen geven de standaardafwijking aan.

# 8 Analyse van de resultaten met behulp van een gewasgroeimodel

## 8.1 Inleiding

In dit experiment zijn twee behandelingen toegepast die verschillen in de volgende aspecten:

- Diffuus kasdek en helder glas – de haze factor van het diffuse kasdek was 62%, van het heldere glas 0%.
- Transmissie van het kasdek – de transmissie van het diffuse kasdek was ca. 3% hoger dan van het heldere glas; respectievelijk 63% en 60% voor het diffuse kasdek en het heldere glas.
- Topbelichting: LED en SON-T die verschillen in spectrum en warmteafgifte.
- Aantal branduren van de lampen: de hoeveelheid licht die ingebracht werd door de LED topbelichting was 17% minder dan door de SON-T topbelichting; respectievelijk 1799 en 2164 branduren voor SON-T en LED belichting (Tabel 2). De hoeveelheid licht die ingebracht werd door de LED tussenbelichting was in de kas met LED topbelichting 17% minder dan in de kas met SON-T topbelichting; respectievelijk 1519 en 1840 branduren voor SON-T en LED belichting (Tabel 2).
- Warmte-inbreng: omdat de LED balken efficiënter zijn en minder warmte afgeven, moest op sommige momenten meer warmte ingebracht worden om de planttemperatuur op het gewenste niveau te houden. Dit leidde tot verschillen in ventilatie, en daarmee tot verschillen in CO<sub>2</sub> gehalte en in dampdrukdeficiet (vochtdeficiet) in de kas.

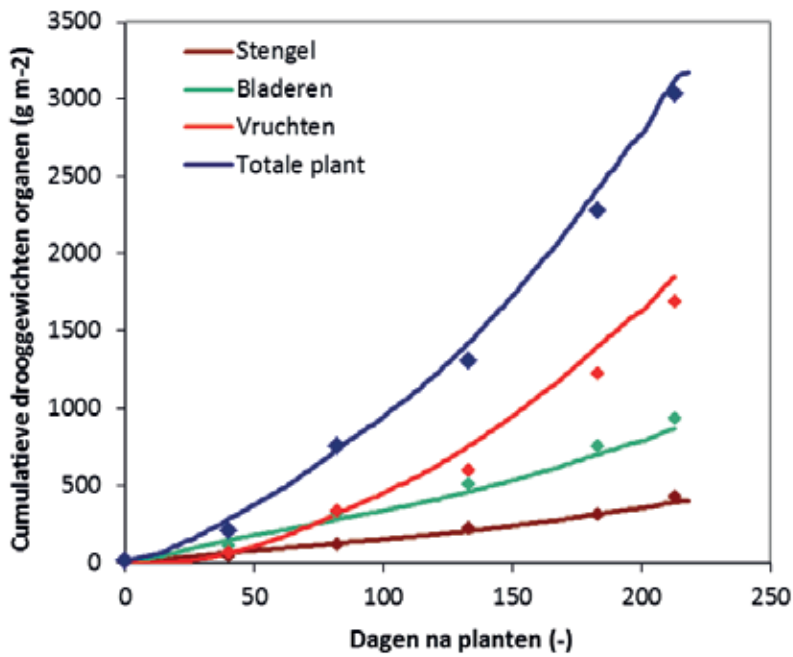
De resultaten van de behandelingen zijn nagerekend en geanalyseerd met het gewasgroeimodel INTKAM (Marcelis e.a., 2000) om begrip te krijgen van aspecten die niet direct uit de waarnemingen zijn te halen. Het betreft de afzonderlijke effecten van het diffuse kasdek, de hoeveelheid licht, effecten van de verhoogde CO<sub>2</sub> concentratie en effecten van een ander dampdrukdeficiet

Het INTKAM model berekent de huidmondjesgeleidbaarheid op basis van straling, CO<sub>2</sub>-concentratie, temperatuur en dampdrukdeficiet. In combinatie met de hoeveelheid onderschepte straling die op basis van de bladbedekkingsgraad (leaf area index, LAI) wordt berekend en een aantal fysiologische kenmerken van het fotosyntheseproces, wordt op ieder moment van de dag op een aantal gewasdiepten de bladfotosynthese berekend. Integreeren over de gewasdiepte en de tijd levert de dagelijkse gewasfotosynthese op, wat resulteert in een dagelijkse gewasgroei. Hierbij wordt de onderhoudsademhaling verdisconteerd. Sinksterktes van vruchten, bladeren, stengel en wortels bepalen de verdeling van de aangemaakte droge stof over de organen.

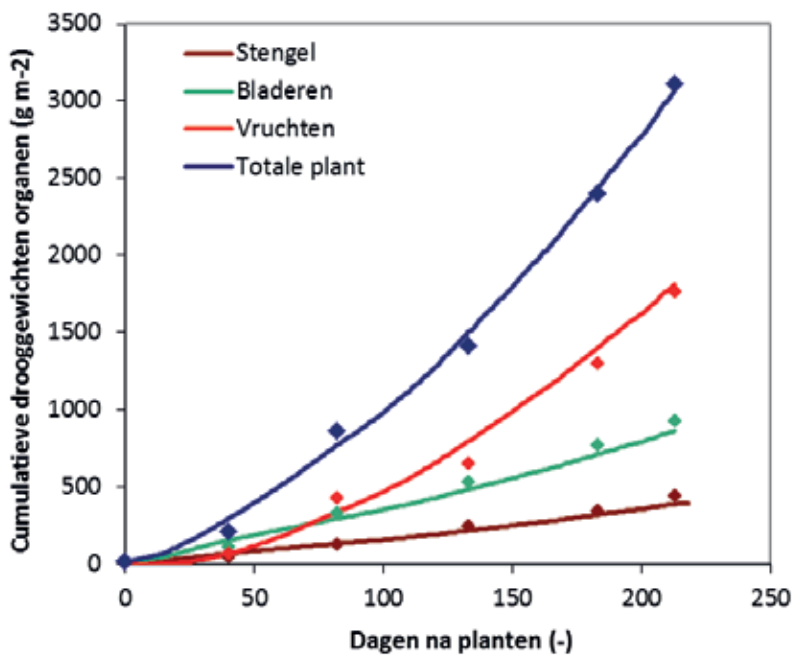
De berekeningen werden na afloop van de proef uitgevoerd met het standaardmodel met gebruikmaking van de gerealiseerde kasklimaatdata van beide behandelingen en met de specifieke gewashandelingen per experiment (plantdatum, aanleg extra stengels, trossnoei, etc.). De verschillen in diffusiteit van het kasdek, hoeveelheid zonlicht en lamplicht in de afdelingen en de overige klimaatkarakteristieken (CO<sub>2</sub>, temperatuur, vochtdeficiet) zijn verwerkt in de kasklimaatdata. Het model berekent de drogestofproductie en vervolgens de versgewichten via het drogestofgehalte van de organen. Er is geen parameterisatie uitgevoerd op basis van metingen aan de bladfotosynthese, ontwikkeling en andere fundamentele processen.

## 8.2 Analyse

De berekende orgaangewichten voor de behandelingen Diffuus LED -35% (Figuur 50) en Direct hybride (Figuur 51) stemmen goed overeen met de orgaangewichten (bladeren, stengels, vruchten) gemeten tijdens de destructieve oogsten gedurende de proef. De goede simulatie van het totale drogestofgewicht van het gewas geeft aan dat de combinatie van gesimuleerde lichtonderschepping, gewasfotosynthese en totale onderhoudsademhaling goed overeenkomt met de waarneming aan de resultante van deze processen. Ook de cumulatieve drogestofverdeling wordt goed gesimuleerd, wat te zien is aan het feit dat alle orgaangewichten goed berekend worden.

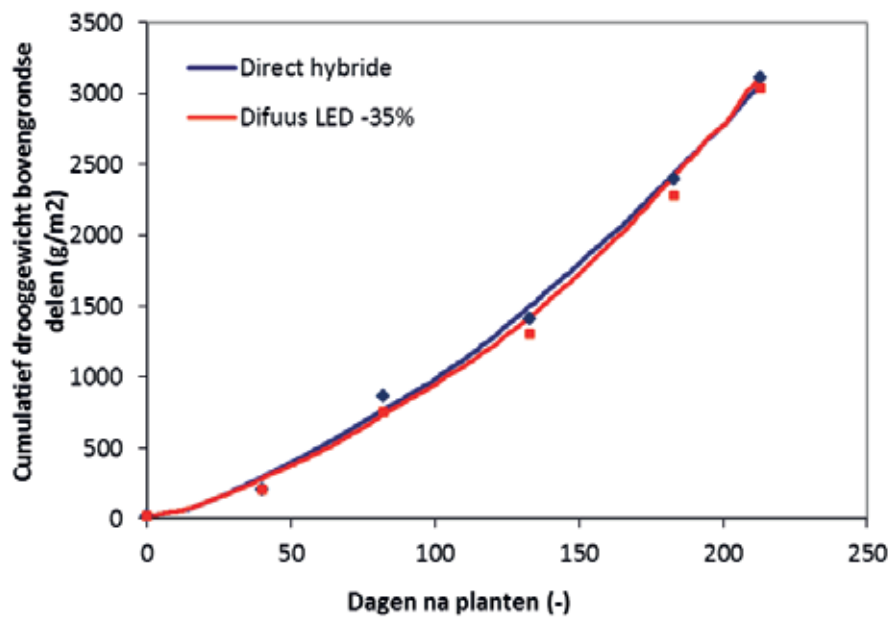


**Figuur 50** Verloop van de berekende (doorgetrokken lijnen) en gemeten (symbolen) orgaangewichten in de tijd voor de behandeling Diffuus LED -35%.



**Figuur 51** Verloop van de berekende (doorgetrokken lijnen) en gemeten (symbolen) orgaangewichten in de tijd voor de behandeling Direct hybride.

Simulatie van de totale drogestofproductie in beide behandelingen laat zien dat er nagenoeg geen verschil is (Figuur 52), ondanks het feit dat er in de behandeling Diffuus LED -35% netto 6% minder PAR licht is (van zon en assimilatiebelichting) dan in de behandeling Direct hybride. Er moet dus een andere factor zijn die maakt dat in deze proef de vuistregel "1% meer licht is 1% meer productie" niet opgaat.



**Figuur 52** Verloop van het gesimuleerde en gemeten cumulatieve drooggewicht van de bovengrondse delen van de plant in de behandelingen Difuus LED -35% en Direct hybride.

Zowel de modelberekeningen als de proefresultaten laten zien dat het verschil in productie tussen de behandelingen Difuus LED -35% en Direct hybride 1% is, terwijl het verschil in hoeveelheid PAR licht in de kas 6% is. Dat betekent dat er een andere factor is die een rol speelt. Met behulp van het gewasgroeimodel zijn de effecten geanalyseerd van de variabelen die verschillen tussen de behandelingen Difuus LED -35% en Direct hybride. Deze analyse is gedaan door de klimaatfile van de behandeling Direct hybride als basis te nemen en steeds een klimaatfactor te wisselen met de klimaatfile van de behandeling Difuus LED -35%. Daarmee is het effect van een afzonderlijke variabele te bepalen. In tabel 14 staat het effect weergegeven van de verschillende klimaatfactoren op de bovengrondse drogestofproductie als percentage ten opzichte van de simulatie van de behandeling Direct hybride.

Tabel 14

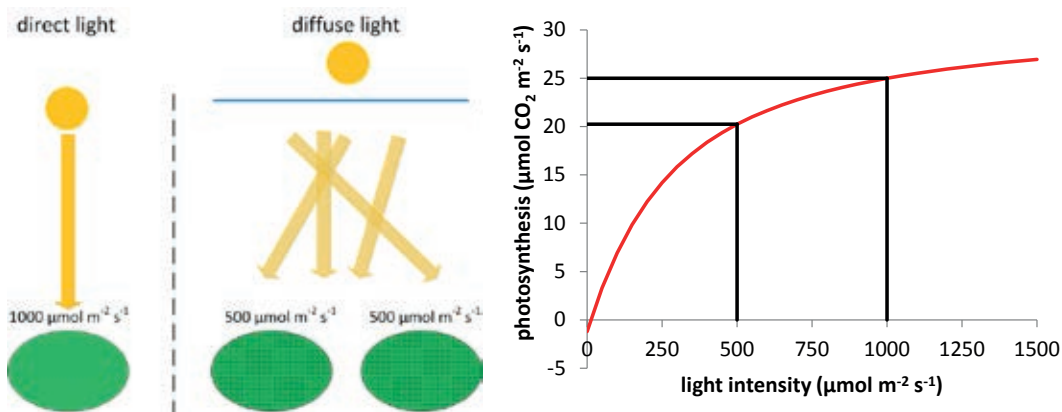
*Bijdragen van verschillende factoren aan de verschillen in droge stof productie (bovengronds) tussen de behandelingen Difuus LED -35% en Direct hybride*

Factor	Effect
CO <sub>2</sub> concentratie	+ 0.3%
Vochtdeficiet	0%
Topbelichting (aantal belichtingsuren)	5.7%
Tussenbelichting (aantal belichtingsuren)	0.8%
Zonlicht (combinatie van haze en hogere lichtdoorlatendheid)	+ 6.5%

Zoals in hoofdstuk 4 te zien was, was de CO<sub>2</sub> concentratie in de behandeling Difuus LED -35% ca. 20 ppm hoger dan in de behandeling Direct hybride. Dit heeft een klein maar positief effect van 0.3% op de droge stof productie. Het verschil in dampdrukdeficiet tussen beide behandelingen (door minder ventilatie in de behandeling Difuus LED -35%) had geen effect op de productie (Tabel 14), waarschijnlijk omdat het verschil in dampdrukdeficiet dusdanig weinig effect had op de huidmondjesopening dat de CO<sub>2</sub> uitwisseling niet werd beïnvloed.

Het aantal belichtingsuren van de top- en tussen belichting in de behandeling Diffuus LED -35% is 17% lager dan in de behandeling Direct hybride. Daarmee is ook de hoeveelheid licht van de lampen 17% lager, namelijk 1281 mol lamplicht in plaats van 1547 mol lamplicht (zie Tabel 2). De hoeveelheid zonlicht in de behandeling Diffuus hybride is 1777 mol. Dat betekent dat het verschil in totale hoeveelheid licht door 17% minder uren te belichten 8% is ( $1777+1281$  versus  $1777+1547$  mol licht). Dit levert een effect op op de droge stof productie op van 6.5%, hetgeen overeenkomt met de bijgestelde vuistregel dat "1% meer licht, 1-0.7 procent meer productie oplevert" voor een gewas als tomaat (Marcelis e.a., 2004). De 6.5% minder productie wordt voor het grootste deel bepaald door het feit dat de topbelichting 17% minder uren brandt (5.7% van de 6.5%) en voor een veel kleiner deel door het feit dat de tussenbelichting 17% minder uren brandt (0.8% van de 6.5%). Wat de reden is voor het feit dat het effect van minder belichtingsuren van de tussenbelichting zoveel kleiner is dan van de topbelichting is niet duidelijk.

Uit de berekeningen blijkt dat dit effect volledig gecompenseerd wordt door het kasdek. Het diffuse kasdek met een iets hogere lichtdoorlatendheid en een haze van 62% heeft een positief effect van 6.5% op de productie van droge stof. Dit komt overeen met een eerdere fysiologische analyse van lichteffecten in een tomatengewas (Elings *et al.* 2012) waarin werd beschreven dat door de voornamelijk betere horizontale verdeling (en in mindere mate verticale verdeling) van diffuus licht door het gewas de beschikbare hoeveelheid licht efficiënter wordt gebruikt. Door een afnemende meeropbrengst van een hogere lichtintensiteit zijn hoge niveaus van direct licht relatief inefficiënt. Het verdelen over meerdere punten in het gewas, wat diffuus glasdek materiaal doet, leidt tot een hogere gewasfotosynthese (Figuur 53). Dat betekent dat het lagere aantal belichtingsuren dat gegeven is in de behandeling Diffuus LED -35% volledig wordt gecompenseerd door de haze en lichtdoorlatendheid van het diffuse kasdek.



**Figuur 53** De verspreiding van diffuus licht leidt tot een lager lichtniveau op bladniveau (figuur links:  $500$  i.p.v.  $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), maar tot een hogere totale gewasfotosynthese (figuur rechts:  $2 * 20 \mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1} > 25 \mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) (Bron: *Onder Glas*, nummer 6/7, 2012).

## 9 Conclusies en leerpunten

### 9.1 Klimaat en energie

In de afgelopen 10 jaar is het areaal belichte teelt in de glastuinbouw flink toegenomen, evenals de geïnstalleerde vermogens. Daarmee is het gebruik van elektriciteit voor groeilicht een belangrijke post in het energiegebruik van de sector. Om een afname van het energiegebruik te realiseren, is het nu van belang het elektriciteitsverbruik te verlagen, zonder grote gevolgen voor productie en productkwaliteit. Bij Wageningen UR Glastuinbouw is in het kader van dit project in het belichtingsseizoen 2013/2014 een proef gedaan met als doelstelling het elektriciteitsgebruik in een belichte tomatenteelt met 35% te verminderen met behoud van productie. Dit is een eerste stap in het streven naar een teeltconcept waarin geteeld kan worden met 50% minder elektriciteit met behoud van productie.

In deze proef zijn twee behandelingen aangelegd:

- Direct hybride: belichting met 105  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  SON-T belichting en 105  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  LED tussenbelichting, kasdek van helder glas en een maximale belichtingsduur van 16 uur.
- Diffuus LED -35%: belichting met 105  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  LED top belichting en 105  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  LED tussenbelichting, diffuus kasdek met een 3% hogere lichtdoorlatendheid en een haze van 62% en er werd gebruik gemaakt van een lichtplan op basis van plantbehoefte waarbij maximaal 13 uur belicht werd.

Er werd geplant op 23 oktober 2013 (geënt-getopte tomatenplanten van het ras Komeett) en de teelt werd beëindigd op 21 mei 2014.

De doelstelling van 35% elektriciteitsbesparing op belichting werd gerealiseerd door efficiëntere LED lampen te gebruiken (de LED topbelichting had een efficiëntie van 2.3  $\mu\text{mol}/\text{J}$  tegenover de SON-T lampen die een efficiëntie van 1.8  $\mu\text{mol}/\text{J}$  hadden) en door 17% minder uren te belichten. De belichting werd aangeschakeld op basis van plantbehoefte: als het lichtplan aangaf dat de dagelijks benodigde lichtsom nog niet bereikt was bleven de lampen aan, anders werden ze uitgeschakeld. In de proef is uiteindelijk een elektriciteitsbesparing gerealiseerd over de periode oktober – mei van 97 kWh/m<sup>2</sup>, een besparing van 37%.

Om een gelijke gewasontwikkeling te realiseren in beide behandelingen was het streven om de planttemperatuur in beide behandelingen gelijk te houden. Dit is prima gerealiseerd, hetgeen ook af te lezen was aan de gewasontwikkeling, die in beide behandelingen gelijke tred hield. Dit betekende wel dat het warmteverbruik in de behandeling Diffuus LED -35% wel 34% hoger lag, om te compenseren voor het gebrek aan warmtestraling van de lampen. Wanneer de elektriciteitsgebruik omgerekend wordt naar warmte (1 m<sup>3</sup> gas  $\sim$  8.8 kWh) blijkt dat ongeveer de helft van de elektriciteitsbesparing alsnog als warmte in de kas is gebracht.

Er waren een aantal duidelijke verschillen in kasklimaat tussen de twee behandelingen:

- Diffuus kasdek en helder glas – de haze factor van het diffuse kasdek was 62%, van het heldere glas 0%.
- Transmissie van het kasdek – de transmissie van het diffuse kasdek was ca. 3% hoger dan van het heldere glas; respectievelijk 63% en 60% voor het diffuse kasdek en het heldere glas.
- Topbelichting: LED en SON-T die verschillen in spectrum en warmteafgifte.
- Aantal branduren van de lampen: de hoeveelheid licht die ingebracht werd door de LED topbelichting was 17% minder dan door de SON-T topbelichting; respectievelijk 1799 en 2164 branduren voor SON-T en LED belichting (Tabel 2). De hoeveelheid licht die ingebracht werd door de LED tussenbelichting was in de kas met LED topbelichting 17% minder dan in de kas met SON-T topbelichting; respectievelijk 1519 en 1840 branduren voor SON-T en LED belichting (Tabel 2).
- Warmte-inbreng: omdat de LED balken efficiënter zijn en minder warmte afgeven, moest op sommige momenten meer warmte ingebracht worden om de planttemperatuur op het gewenste niveau te houden. Dit leidde tot verschillen in ventilatie, en daarmee tot verschillen in CO<sub>2</sub> gehalte en in dampdrukdeficiet (vochtdeficiet) in de kas.
- CO<sub>2</sub> dosering: in de behandeling Diffuus LED -35% werd minder geventileerd, hetgeen leidde tot minder verlies aan CO<sub>2</sub> via de ramen. Uiteindelijk werd er in de behandeling Diffuus LED -35% 12.9 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> gedoseerd, tegen 15.8 kg/m<sup>2</sup> in de behandeling Direct hybride, een verschil van 18%.
- De combinatie van een hogere lichtdoorlatendheid van het diffuse kasdek en minder branduren in de behandeling Diffuus LED -35% leidde tot een ca. 6% lagere lichtsom in deze behandeling dan in de behandeling Direct hybride.

## 9.2 Teelt en productie

In voorgaande paragraaf is te zien dat de twee aangelegde behandelingen in veel aspecten van elkaar verschillen. In de behandeling Diffuus LED -35% bleek de besparing in elektriciteit 37% te zijn ten opzichte van de behandeling Direct hybride, terwijl de productie slechts 0.3 kg/m<sup>2</sup> lager lag, een verschil van minder dan 1%.

Om de effecten van de verschillende elementen van de behandelingen te kunnen analyseren is gebruik gemaakt van het gewasgroeimodel INTKAM. Uit de analyses bleek het volgende:

- Het verschil in CO<sub>2</sub> concentratie van ca. 20 ppm tussen de behandelingen had een klein maar positief effect van 0.3% op de droge stof productie (groei).
- Het verschil in vochtdeficiet tussen beide behandelingen (door minder ventilatie in de behandeling Diffuus LED -35%) had geen effect op de productie.
- Het aantal belichtingsuren van de top- en tussenbelichting in de behandeling Diffuus LED -35% is 17% lager dan in de behandeling Direct hybride. Wanneer dit aantal uren belicht zou worden in de behandeling Direct hybride zou dit leiden tot 8% minder licht (zonlicht plus lamplicht), en daarmee tot 6.5% minder droge stof productie.
- Het diffuse kasdek in de behandeling Diffuus LED -35% heeft een 3% hogere lichtdoorlatendheid en een haze van 62%. Dit kasdek verhoogt de droge stof productie met 6.5%.

Uit deze analyse blijkt dat de nadelige effecten van het minder belichten (17% minder belichtingsuren, 8% minder licht) op de groei van de tomaten volledig gecompenseerd wordt door het diffuse kasdek met een iets hogere lichtdoorlatendheid.

## 9.3 Plantprocessen

In deze proef zijn uitgebreide plantmetingen gedaan om het effect van verschillen in LED belichting en SON-T belichting op fotosynthese, lichtonderschepping, lichtabsorptie door de bladeren, aanmaak van assimilaten en verdeling van assimilaten over vruchten en de rest van de plant te begrijpen. Uit het feit dat de groei en productie in beide behandelingen vergelijkbaar is blijkt al dat de som van de onderliggende plantprocessen zodanig uitpakt dat ze geen grote verschillen in groei opleveren.



De belangrijkste effecten van de metingen aan plantprocessen waren de volgende:

- De ontwikkelingsnelheid van de planten in beide behandelingen (gemeten als bloeisnelheid) verschilde niet tussen de behandelingen. Daarmee was ook het aantal aangehouden vruchten per m<sup>2</sup> niet verschillend tussen beide behandelingen.
- Het gemiddeld vruchtgewicht van de geogste tomaten was gedurende de wintermaanden in de behandeling Diffuus LED -35% ca. 10 g/vrucht lager dan in de behandeling Direct hybride, hetgeen te maken heeft met de lagere dagelijkse lichtsom in die periode.
- De verschillen in gemiddeld vruchtgewicht leidden uiteindelijk tot een productieverval van 0.3 kg/m<sup>2</sup> gedurende de productieperiode januari – mei. Daarmee was de productie in de behandeling Diffuus LED -35% 1% lager dan in de behandeling Direct hybride.
- De houdbaarheid, inwendige kwaliteit en het droge stof gehalte van de tomaten geogst uit beide behandelingen vertoonde geen verschillen.
- Uit de destructieve metingen bleek dat er in de proef erg veel blad is aangehouden, maar dat de LAI niet verschilde tussen beide behandelingen. Ook de verdeling van droge stof over vruchten en de rest van de plant (Harvest Index) verschilde niet tussen de behandelingen.
- De gewassen in beide behandelingen onderschepten ca. 95% van het licht. Het verloop van de lichtonderschepping door het gewas verschilde op de verschillende meetmomenten wel iets, maar over de hele teelt waren er geen structurele verschillen in lichtonderschepping tussen beide behandelingen.
- De bladstand is in de behandeling Diffuus LED -35% iets meer opgericht dan in de behandeling Direct hybride. Dit weerspiegelt zich echter niet in een hogere lichtonderschepping (zie vorige punt).
- De optische eigenschappen van de bladeren in beide behandelingen (reflectie, transmissie en absorptie) verschillen niet tussen beide behandelingen.
- Aan het begin en einde van de proef is de fotosynthese van bladeren uit de bovenste en middelste bladlaag hoger in de behandeling Diffuus LED -35% dan in de behandeling Direct hybride. Dit kan te maken hebben met de hogere hoeveelheden natuurlijk licht in de Diffuus LED -35% behandeling. In januari zijn er geen verschillen te vinden in fotosynthese tussen beide behandelingen. Dit wijst er op dat er geen effect is van verschil in LED of SON-T licht op de fotosynthese.



# 10 Communicatie

## **Weblogs, websites en stukjes voor Energiek2020**

Dieleman, J.A. en J. Janse, 28 oktober 2013.

Nieuw onderzoek: efficiënter met elektriciteit in belichte tomatenteelt. [www.energiek2020.nu](http://www.energiek2020.nu)

Dieleman, J.A., 29 oktober 2013.

Efficiënter met elektriciteit in de belichte tomatenteelt. [www.wageningenur.nl](http://www.wageningenur.nl)

Dieleman, J.A., 30 oktober 2013.

More efficient use of electricity in lighted tomatoes. [www.wageningenur.nl](http://www.wageningenur.nl)

Janse, J., 17 januari 2014.

Verrassend kleine verschillen tussen afdelingen. [www.energiek2020.nu](http://www.energiek2020.nu)

Anonymus, 10 maart 2014.

Excursie langs tomaten onder LED. [www.energiek2020.nu](http://www.energiek2020.nu)

Dieleman, J.A., 27 maart 2014. `

Goede groei tomaat in LED-proef'. [www.energiek2020.nu](http://www.energiek2020.nu)

Janse, J., 23 mei 2014.

Doel LED-proef tomaat behaald. [www.energiek2020.nu](http://www.energiek2020.nu)

Dieleman, J.A., Janse, J., 13 november 2014

Leerpunten LED-proef tomaat. [www.energiek2020.nu](http://www.energiek2020.nu)

## **Vakbladen**

Dieleman, J.A. en Janse, J., 2013.

Nieuw onderzoek: efficiënter met elektriciteit in belichte tomatenteelt. *Tomaat.actueel* 16 (4): 3 (7 december 2013).

Visser, P., Dieleman, J.A., Janse, J., 2014.

Streven naar gelijke productie met minder stroom voor groeilicht. *Groenten & Fruit* 4: 4-5

Visser, P., Dieleman J.A., 2014.

Bij uitsluitend leds vragen voldoende warmte en snelheid de aandacht. *Groenten & Fruit* 6: 24-25

Anonymus, 2014.

Zuinige leds besparen op elektriciteit. *Groenten & Fruit* 13: 23

## **Lezingen, posters en kasbezoeken**

Janse, J., 2013.

Belichte tomaat met 35% minder elektriciteit. Bezoek van de excursiegroep belichtende tomatentelers, 19 december 2013

Dieleman, J.A. en Janse, J., 2014.

Belichte tomaat met 35% minder elektriciteit. Presentatie op de Landelijke belichtingsexcursie tomaat, 5 maart 2014.

Dieleman, J.A. en Janse, J., 2014.

Efficiënt gebruik van elektriciteit in belichte tomaat. Poster voor het Energiek2020 Event, Bleiswijk, 24 april 2014.

Janse, J., 2014.

Rondleiding meerdere groepen langs de proef "Efficient gebruik van elektriciteit in belichte tomaat", Energiek2020 Event, Bleiswijk, 24 april 2014

Dieleman, J.A. en Janse, J., 2014.

Efficiënt gebruik van elektrische energie in belichte tomaat. Bezoek van de Tasty Tom groep, presentatie op 4 juni 2014

# 11 Literatuur

- De Gelder, A., M. Warmenhoven, W. Kromdijk, E. Meinen, F. de Zwart, H. Stolker, M. Grootcholten, 2012.  
Gelimiteerd CO<sub>2</sub> en het nieuwe telen tomaat. Wageningen UR Glastuinbouw, Rapport GTB 1159, 49 pp.
- De Visser, P.H.B., G.H. Buck-Sorlin, G.W.A.M. van der Heijden, 2014.  
Optimizing illumination in the greenhouse using a 3D model of tomato and a ray tracer. *Frontiers in Plant Science*, doi: 10.3389/fpls.2014.00048.
- Dueck, T.A., S. Nieboer, J. Janse, W. Valstar, B.A. Eveleens-Clark, M. Grootcholten, 2012.  
LED belichting en Het Nieuwe Telen bij tomaat. Proof of Principle. Wageningen UR Glastuinbouw, Rapport GTB 1177, 50 pp.
- Dueck, T.A., A. de Gelder, J. Janse, P.H. van Baar, B.A. Eveleens, M. Grootcholten, 2013.  
Het Nieuwe Belichten bij tomaat met minder CO<sub>2</sub>. Wageningen UR Glastuinbouw, Rapport GTB 1232, 44 pp.
- Dueck, T.A., A. de Gelder, J. Janse, F. Kempkes, P.H. Baar, W. Valstar, 2014.  
Het Nieuwe Belichten onder diffuus glas. Wageningen UR Glastuinbouw, Rapport GTB 1296, 55 pp.
- Elings, A., T. Dueck, E. Meinen, F.L.K. Kempkes, 2012.  
Analysis of the effects of diffuse light on photosynthesis and crop production. *Acta Horticulturae*. 957: 45-52.
- Marcelis, L.F.M., R. van den Boogaard, E. Meinen, 2000.  
Control of crop growth and nutrient supply by the combined use of crop models and plant sensors. In: Proc. Int. Conf. Modelling and control in agriculture, horticulture and postharvested processing. IFAC, 351-356.
- Marcelis, L.F.M., A.G.M. Broekhuijsen, E. Meinen, L. den Nijs, M. Raaphorst, 2004.  
Lichtregel in de tuinbouw : 1% licht = 1% productie? Nota 305, Plant Research International, Wageningen, The Netherlands, 82 pp.
- McCree, K., 1972.  
The action spectrum, absorptance and quantum yield of photosynthesis in crop plants. *Agricultural Meteorology* 9: 191-216.



# Bijlage I. Teeltconcept voor een elektriciteit besparende tomatenteelt

Dit teeltconcept is beschreven door Arie de Gelder, naar aanleiding van de Arenasessie "LED licht tomaat" op 12 juni 2013 in het kader van het project Samenwerken aan Vaardigheden. Het teeltconcept vormde de basis voor het experiment dat in dit project is uitgevoerd. Echter, vanwege praktische redenen is er in de inrichting van de proef soms afgeweken van dit teeltconcept. Verder geldt dat het teeltconcept het doel had tot een 50% lager elektriciteitsgebruik te komen, terwijl de proef als doel had 35% besparing op elektriciteit te realiseren.

## Doelstelling

De doelstelling was om een teeltconcept op te stellen om met minder elektriciteit (-50%) tomaten te produceren met behoud van productie.

## Referentieteelt

Om een besparing van 50% op elektriciteit te realiseren moet eerst gedefinieerd worden wat het uitgangspunt is. Bij teelten met Komeett, een grove trostomaat, is een productie van 80 kg/(m<sup>2</sup>.jaar) het streven. Daarbij wordt in de praktijk veel gewerkt met een belichtingsintensiteit van 175 μmol/(m<sup>2</sup>.s) (100 W/m<sup>2</sup> geïnstalleerd vermogen) en een belichtingsduur van 18 uur. Er wordt dan ca. 2250 uur per jaar belicht. Dat betekent een elektriciteitsgebruik voor belichting van 225 kWh/m<sup>2</sup>. Er is in de praktijk een tendens om naar hogere lichtintensiteiten te gaan, rond de 210 μmol/(m<sup>2</sup>.s). Om bij een experiment een vergelijking te kunnen maken, is het gewenst om een afdeling te hebben waarbij op de normale wijze met SON-T belichting, afgeschakeld boven 400 W/m<sup>2</sup> globale straling en maximaal 18 uur per etmaal belicht wordt. De productie en het elektriciteitsgebruik in deze afdeling zijn dan de gegevens waarmee de behandeling "laag elektriciteitsgebruik" vergeleken moet worden.

Een afdeling met een teelt, begeleid door telers en een teeltadviseur, is de beste referentie. Een zo opgezette teelt kan natuurlijk ook afwijken van de verwachting. Berekeningen met een gewasgroeimodel zijn dan ondersteunend om de afwijking van de verwachting te signaleren. In een arenasessie op 12 juni, waarbij 10 telers aanwezig waren, werd door de telers aangegeven dat de praktijkreferentie op dit moment een teelt onder SON-T met LED tussenbelichting met een totale intensiteit van 210 μmol/(m<sup>2</sup>.s) en een belichtingsduur van 18 uur.

## Uitgangspunten van het concept

De besparing in de proeven van de afgelopen 2 belichtingsseizoenen werd in de eerste plaats gezocht in het beperken van het aantal belichtingsuren per dag tot maximaal 16 uur. Hierdoor is de verhouding tussen productie van licht en warmte met een WKK en de behoefte in de teelt aan licht en warmte beter. In de belichtingsstrategie werd niet meer licht gegeven dan op basis van lichtverwachting en plantvraag nodig is. Dit leverde in de proef van 2011-2012 een berekende elektriciteitsbesparing op van 30%, waarbij de productie uit kwam op 70 kg/m<sup>2</sup>. In de arenasessie werd door telers gesteld dat niet het beperken van het maximale aantal uren als besparingsoptie zou moeten worden gekozen, maar het goed gebruik maken van lichtintegratie om een vaste dagsom aan straling te realiseren. Lichtintegratie zonder beperking op de maximale daglengte geeft naar schatting 10% besparing op elektriciteit.

De volgende punten zouden op basis van theoretische overwegingen en aannames kunnen worden opgenomen in een teelt concept. Het is wel belangrijk om hier te benadrukken dat we van een aantal processen niet exact weten wat het effect zal zijn. Daarvoor is analytisch onderzoek nodig.

## Zoveel mogelijk molen natuurlijk licht in de kas

Het in de proef bij WUR en IC gebruikte diffuse glas blijkt ook in de winter meer licht in de kas te geven. In deze proef moet waar mogelijk van deze optie gebruik gemaakt worden. Dit leverde ca. 5% meer natuurlijk licht in de winter op. Omdat het natuurlijk licht in de winter minder is dan 50% van de totaal lichtsom, mag verwacht worden dat de productie minder dan 2.5% zal stijgen. Het productieverval dat in de proeven gerealiseerd werd, was echter 5%. Vanuit onderzoekscöördinatoren en telers is aangegeven dat diffuus glas in de toekomst standaard zal worden en dat dit uitgangspunt in een proef zou moeten zijn.

## Zoveel mogelijk molen uit een kWh elektra in de kas

Philips heeft in het voorjaar 2014 nieuwe efficiëntere LEDs voor topbelichting commercieel gereleased (zie [www.philips.com/horti](http://www.philips.com/horti) Leaflet GreenPower LED toplight module). Deze LEDs leveren een verbetering van de efficiëntie van ca. 30 % ten opzichte van SON-T. De output van deze nieuwe LED modules is 2.3  $\mu\text{mol}/\text{J}$ , van SON-T is de output 1.75  $\mu\text{mol}/\text{J}$ . In theorie zijn rode LEDs efficiënter dan de rood/blauwe modules. De fotosynthese is onder rood licht ca. 15% hoger dan onder blauw licht (McCree, 1972). Toepassing van dit principe betekent dat als de nu veel toegepaste 5% blauwe LED vervangen worden door rode LED zou dit 1.5% verbetering kunnen geven. Uit proeven van Philips is tot nu toe echter gebleken dat met alleen rode LED tussenbelichting er minder meerproductie werd waargenomen dan met een combinatie van rood/blauwe LED tussenbelichting. Philips heeft daarom nu de strategie de hoeveelheid blauw in de LED tussenbelichtingmodules voor tomaat niet verder te minimaliseren.

In de arenasessie werd door een aantal telers gepleit voor het werken met de meest innovatieve systeem, dus met topLED. Door andere telers werd gepleit voor meer uitwerken van de mogelijkheden van hybride belichting (combinatie SON-T en LED) voor praktijktoepassing. Het toepassen van LED topbelichting vraagt om een aangepaste teeltstrategie om voldoende warmte bij de kop van de plant te krijgen, dit kan onder andere door goed gebruik te maken van de schermen.

## Zoveel mogelijk molen onderscheppen door het gewas

De stengeldichtheid verhogen zorgt direct bij de start voor een hogere LAI (verderop worden effecten hiervan op vruchten per  $\text{m}^2$  besproken). Voor een belichte teelt is het gebruikelijk om uit te gaan van een iets grotere plant (2<sup>e</sup> tros in bloei) zodat de bladbedekking al direct hoger is dan bij kleine planten (1<sup>e</sup> tros bloei). In de teelt zal bij een hogere stengeldichtheid de lichtonderschepping in de top van het gewas hoger zijn. Dit biedt meer mogelijkheden om de LAI te sturen door een blad in de top te verwijderen. Bij veel assimilaten aanmaak in het begin hoort een hogere temperatuur om de assimilaten door de plant te laten verwerken. Om te voorkomen dat een plant onnodig assimilaten stuurt naar nieuw blad en dieven, moet het verwijderen van bladeren en dieven in een jong stadium gebeuren.

De plantopbouw kan gestuurd worden door aan het eind van de dag een verrood nabelichting te geven, hierbij wordt gebruik gemaakt van de kennis die in proeven bij de Demokwekerij en plantenkwekers in samenwerking met PlantLighting is opgedaan. Hierdoor wordt de plantstructuur opener. Jong blad wegnemen en verrood nabelichting hebben een zelfde doel, namelijk een opener structuur. Dit kan elkaar versterken, maar ook een te groot effect opleveren. Een versterkt effect kan gemakkelijk gecorrigeerd worden door wel/niet jong blad wegnemen. In de arenasessie werd gemeld dat het perspectief voor verrood toepassing op basis van de uitgevoerde en lopende proeven niet voldoende is voor toepassing in de praktijk. Daarbij vond men wegnemen van jonge bladeren effectiever om een open gewasstructuur te krijgen.



Het licht moet zoveel mogelijk op de bovenkant van het blad vallen, maar wel uit vele richtingen (diffuus zijn). Een belangrijke hypothese bij het efficiënt gebruik van licht is dat de bladeren langer bij en (relatief) hogere lichtintensiteit hangen, en dat daarmee de bladeren langer een hogere fotosynthese-efficiëntie behouden. Zonder tussenbelichting neemt de lichtintensiteit van top naar bodem geleidelijk af. Wanneer dit voorkomen zou kunnen worden door het plaatsen van tussenbelichting, zou de fotosynthese van de middelste bladlagen hoger kunnen zijn (blijven) dan zonder tussenbelichting. Aandachtspunt hierbij is wel de positie van de tussenbelichting. Voor een optimaal effect mag deze niet te hoog of te laag hangen (zie ook de berekeningen in hoofdstuk 2 van dit rapport). Verschil in maximale fotosynthesecapaciteit tussen de top van een volgroeid gewas en lager hangende bladeren is o.a. gemeten in de proef met gelimiteerde CO<sub>2</sub> en het nieuwe telen tomaat (De Gelder e.a., 2012).

De verhouding tussen groei van de kop en groei van de vruchten leek in de proef van 2012/2013 niet optimaal. De vruchten werden relatief zwaar terwijl de groei van de kop achterbleef. In onderzoek wordt de plant altijd gezien als één grote sink en één grote source, maar voor optimalisatie van de productie moet toch rekening gehouden worden met afstand van de sink tot de source. Mogelijk was de source in het bovenste deel van de plant te klein voor een goede productie of juist de sink onderin het gewas te sterk. Voor voldoende source in de kop moet niet te snel worden gekozen voor wegnemen van een klein blad in de kop. Door meer licht bovenin te geven in verhouding tot onderin het gewas moet deze balans worden hersteld. Berekeningen met een 3D-model moet meer inzicht geven in deze materie. Naast de lichtverdeling moet daarbij rekening worden gehouden met de temperatuurverdeling en het temperatuurverloop in het gewas.

De ontwikkeling van vruchten van zetting tot volgroeide vruchten kent verschillende fases. Met LED interlighting kan de vruchtgrootte mogelijk gestuurd worden door juist vruchten in de fase waarin ze de grootste sinksterkte kennen te belichten. De LED balken moeten daarvoor op de juiste hoogte tussen het gewas hangen. Dit kan een iets andere positie zijn dan op basis van het gewenste lichtprofiel voor fotosynthese. Zorgen dat de vruchten in die fase voldoende assimilaten krijgen geeft de mogelijkheid om grovere vruchten te produceren of iets fijnere, maar een groter aantal vruchten.

De verdeling van licht in het gewas kan waarschijnlijk verbeterd worden door de interlighting modules niet tussen de gewasrijen boven het substraat te hangen, maar in de ruimere werkpaden. Hierdoor is de afstand tot het gewas beter. Dan krijgen bladeren die van nature gericht zijn op meer licht extra licht toegediend. De interlighting moet dan hijsbaar zijn zodat ook gevarieerd kan worden in hoogte en er nog in het pad gewerkt kan worden. Ook hiervoor geldt dat berekeningen met een 3D model meer inzicht geven in deze materie. Belangrijk is dat al het tussenlicht goed door het gewas wordt onderschept en niet verloren gaat. Als er bijvoorbeeld twee modules tussenlicht boven elkaar zijn geplaatst, kan door afzonderlijk schakelbare modules beter op de positie van het blad ten opzichte van de tussenbelichting worden ingespeeld. In de arenasessie werden vooral de praktische bezwaren als belemmering gezien.

De bodemreflectie zou gemaximaliseerd kunnen worden door een beweegbare, sterk reflecterende folie, die op een hoger niveau in het gewas het neerwaartse licht naar het gewas terugkaatst wat anders verloren zou gaan naar de bodem. In de arenasessie is dit niet besproken, hetgeen kan worden opgevat als dat het niet relevant is voor dit onderzoek.

De bladeren onderin worden aan de padzijde zonnig eerder gesneden dan de bladeren binnen de gewasrijen, zodat de vruchten wel licht krijgen en geplukt kunnen worden, maar het blad niet te snel wordt verwijderd. Voldoende LAI aanhouden, niet overmatig onderin bladplukken, want dat kost onderschept licht. Vaak wordt gesteld dat bij een LAI van 3 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> alle licht wordt onderschept, maar dat is zeker geen 100%. Ook hier geldt dat iedere procent beschikbaar licht nodig is om optimaal te produceren. Voor controle zou de lichtonderschepping door het gewas regelmatig gemeten moeten worden.

In de arenasessie van 12 juni werd extra aandacht gevraagd voor de watergeefstrategie. Hiermee is de plantkwaliteit en gevoeligheid voor Botrytis te beïnvloeden. In de 2012/2013 belichtingsproef is er geen verschil in de watergeefstrategie geweest tussen de afdelingen bij Wageningen UR. Alleen de beurtgrootte was tussen de afdelingen iets verschillend. De hybride LED/SON-T en de LED afdeling kregen in de winter 10% meer water dan de SON-T referentie.

Het totaaleffect van al deze maatregelen wordt geschat op een verhoging van de efficiëntie met 5 tot 10%.

### Zoveel mogelijk assimilaten uit een onderschepte mol

De fotosynthese wordt continu gemonitord met behulp van een set fluorescentiemeters. Als fotosynthese-efficiëntie op bepaalde momenten wegzakt, dan wordt de belichting aangepast. Maar ook kan worden nagegaan of de fotosynthese bij start van de belichting direct de juiste efficiëntie geeft bij de genomen teeltmaatregelen. Schatting is dat dit ca. 3 tot 5% bijdraagt aan verbetering van de efficiëntie

### Zoveel mogelijk assimilaten naar te oogsten vruchten

Door meer sinks te creëren (meer vruchten/m<sup>2</sup>) en daarvoor meer stengels per m<sup>2</sup> en gericht snoeien op 4/5 vruchten per tros kan beter worden ingespeeld op de kracht van de individuele plant. In de 2012/2013 belichtingsproef was het streven vruchten van 150 gram, maar werden steeds zwaardere vruchten geoogst. Dit wijst op een te klein aantal vruchten per m<sup>2</sup>. Daarom is later in de teelt ook naar een hogere stengeldichtheid gegaan. In het 2013/2014 experiment moet eerder en naar een hogere stengeldichtheid worden gegaan.

Het temperatuurregiem in de 2013/2014 proef moet zo zijn dat er voldoende groeikracht in de kop is, met sterke trossen. Dus een sterk gewas dat generatief is. Gelijktijdig moet dit temperatuurregiem bijdragen aan een goede uitgroei van de vruchten. Dit betekent een hogere temperatuur overdag als er natuurlijk licht is. Een lage temperatuur in de donkerperiode en een temperatuur van ca. 19 °C in de periode met alleen assimilatielicht. De etmaaltemperatuur zal dan rond de 19.5 °C zijn.

Het beleid om in een vroeg stadium jonge bladeren en dieven te verwijderen (zie punt 3) hoort ook bij het streven om meer assimilaten naar de vruchten te krijgen. Dit kan echter conflicteren met de wens om voldoende source (bladoppervlak) in de kop te hebben. Een optie is om dan de stengeldichtheid in het begin direct te verhogen.

Een plant die assimilaten moet inzetten voor weerstand tegen ziekten en herstel van onnodig afgestorven wortels heeft minder assimilaten over voor groei. Nu zal de hoeveelheid assimilaten die in deze processen gaan zitten mogelijk niet groot zijn maar elk verlies telt. Zeker bij ongezonde wortels telt dit verlies zwaar, omdat zowel in herstel van wortels moet worden geïnvesteerd, maar ook groei verloren gaat door de gestoorde water en nutriënten opname.

Een aantasting met het pepinavirus kost in principe productie. Dit zou vermeden moeten worden, het streven is om bij WUR wel weer virus vrij te kunnen telen.

De schatting is dat dit ca. 3-5% verbetering geeft.

### Overige punten

In de discussie tijdens de arenasessie van 12 juni kwam naar voren dat de telers vooral willen kijken naar verhoging van de productie met een efficiëntere input van energie, terwijl vanuit het programma Kas als Energiebron de doelstelling is om met gelijke productie de inzet van energie te verlagen en zo de energie efficiëntie te verhogen.

De arenasessie maakte duidelijk dat het helder formuleren van de teeltdoelen en onderzoeksvragen essentiële elementen zijn voor het goed kunnen communiceren over de opzet en resultaten van het onderzoek.



To explore  
the potential  
of nature to  
improve the  
quality of life



Wageningen UR Glastuinbouw  
Postbus 20  
2665 ZG Bleiswijk  
Violierenweg 1  
2665 MV Bleiswijk  
T +31 (0)317 48 56 06  
F +31 (0) 10 522 51 93  
[www.wageningenUR.nl/glastuinbouw](http://www.wageningenUR.nl/glastuinbouw)

Glastuinbouw Rapport GTB-1338

Wageningen UR Glastuinbouw initieert en stimuleert de ontwikkeling van innovaties gericht op een duurzame glastuinbouw en de kwaliteit van leven. Dat doen wij door toepassingsgericht onderzoek, samen met partners uit de glastuinbouw, toeleverende industrie, veredeling, wetenschap en de overheid.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.