



WAGENINGEN UR
For quality of life

Het Nieuwe Belichten onder Diffuus glas

Tom Dueck¹, Arie de Gelder¹, Jan Janse¹, Frank Kempkes¹, Piet Hein Baar² & Willem Valstar²

¹ Wageningen UR Glastuinbouw ² GreenQ Improvement Centre



Ministerie van Economische Zaken



Rapport GTB-1296



Referaat

Het Nieuwe Belichten combineert Het Nieuwe Telen met een belichtingsstrategie om het gewas gericht te sturen en energie te besparen. Samen met een diffuus kasdek werden deze elementen samengebracht om energie te besparen en de productie te kunnen sturen. Tomaten van het ras Komeett werden belicht met twee belichtingssystemen, een afdeling met SON-T belichting, en twee afdelingen met een hybride belichtingssysteem (SON-T en LED-tussenbelichting), waarvan één met diffuus glas. Onder diffuus glas leek het gewas vaak energie over te hebben en meer assimilaten in de vruchten te brengen, waardoor het mogelijk lijkt om met een hogere plantbelasting onder diffuus glas te telen.

In deze proef resulteerde de hybridebelichting in een productiestijging van 1.6% t.o.v. SON-T belichting terwijl diffuus glas leverde een productiestijging van 4.9% op. Diffuus glas heeft zijn voordelen nu weer bewezen in een belichte teelt, en ook tijdens de wintermaanden. Er is 83 tot 89 kg tomaten m² geproduceerd, met gebruikt van maar 30 kg m² CO₂. Tijdens de wintermaanden waren er teveel bladrandjes geconstateerd, vooral bij Dir SON-T maar vooral door gebruik van het middel Luna Privilege, is Botrytis goed onder controle gebleven.

Voor wat betreft de warmtevraag zijn de energiedoelstellingen gehaald te zijn (21 m³ gas tijdens de teelt), maar het schatten besparing op elektra werd bemoeilijkt door het ontbreken van een referentie. Omdat er eerder in het najaar is begonnen met belichten, zijn er ca. 600 branduren meer zijn gemaakt dan in een praktijkteelt.

Abstract

Next Generation Lighting combines Next Generation Cultivation with a lighting strategy, aimed to steer the crop and save energy. These elements were combined with a diffuse greenhouse for the cultivation of Komeett tomatoes, illuminated with two lighting systems, HPS as reference, and two greenhouses with a hybrid lighting system (SON-T and LED interlighting), one with diffuse glass. The crop often seemed to have extra energy under diffuse glass, bringing more assimilates to the fruits, so that it appears possible to maintain a higher fruit load under diffuse glass.

In this trial hybrid lighting resulted in a production increase of 1.6 % compared to HPS lighting, compared to a 4.9% production increase for the same hybrid lighting under diffuse glass. The advantage of diffuse glass is partly due to its, but also because more light is brought into the crop. The crops produced 83 to 89 kg of tomatoes per m², using only 30 kg CO₂ per m². Too many leaf edges were observed during the winter months, especially under HPS lighting but Botrytis remained well under control due to the use of Luna Privilege.

As far as the heat component is concerned, the energy target appears to been well achieved (21 m³ gas during cultivation). The savings in electricity is a more difficult aspect because due to the early planting date, consequently realising 600 more assimilation lighting hours in autumn compared to a commercial crop planted in October.

© 2014 Wageningen, Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO). Alle intellectuele eigendomsrechten en auteursrechten op de inhoud van dit document behoren uitsluitend toe aan de Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO). Elke openbaarmaking, reproductie, verspreiding en/of ongeoorloofd gebruik van de informatie beschreven in dit document is niet toegestaan zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van DLO. Voor nadere informatie gelieve contact op te nemen met: DLO in het bijzonder onderzoeksinstituut Wageningen UR Glastuinbouw. DLO is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.



Wageningen UR Glastuinbouw

Adres : Droevendaalsesteeg 1, 6708 PB Wageningen
: Postbus 16, 6700 AA Wageningen
Tel. : 0317 - 48 60 01
Fax : 0317 - 41 80 94
E-mail : glastuinbouw@wur.nl
Internet : www.glastuinbouw.wur.nl

Inhoudsopgave

	Voorwoord	5
	Kennisoverdracht	7
	Samenvatting	11
	Inleiding	13
1	Materialen & Methoden	15
1.1	Teelt & Behandelingen	15
1.1.1	Teeltcondities	15
1.1.2	Behandelingen	15
1.2	Metingen	17
1.2.1	Kasklimaatregistratie	17
1.2.2	Lichtmetingen	17
1.2.2.1	Lichttransmissie van de kas	17
1.2.2.2	Lichtverdeling van de lampen	17
1.2.2.3	Lichtonderschepping	17
1.2.3	Waterverbruik	18
1.2.4	Plantregistraties en destructieve oogst	18
1.2.4.1	Plantwaarnemingen	18
1.2.4.2	Waarnemingen Botrytis aantasting	18
1.2.4.3	Bladmorfologie	18
1.2.4.4	Productie	18
1.2.5	Energieverbruik	19
1.3	Begeleiding	19
2	Resultaten & Discussie	21
2.1	Verloop van de teelt	21
2.2	Licht	24
2.2.1	Lichtsom	24
2.2.2	Lichttransmissie van diffuus en helder glas: metingen in het lab	25
2.2.3	Lichttransmissie van diffuus en helder glas: metingen in de kas	25
2.2.4	Lichtverdeling in de kas	27
2.2.5	Lichtreflectie	28
2.3	Belichting	29
2.3.1	Planning en uitvoering belichting	29
2.3.2	Realisatie belichting	31
2.4	Klimaatregistratie	34
2.5	Uitgroeiduur	36
2.6	Uitgroei van vruchten i.r.t. belichting	37
2.7	Productie	39
2.7.1	Vruchtgewichten en -aantallen	39
2.8	Lichtefficiëntie	41
2.8.1	Lichtefficiëntie tijdens de teelt	41
2.9	Vruchtkwaliteit	42
2.10	Planttemperatuur en waterverbruik	43

2.11	Plantregistraties en destructieve oogst	44
2.12	Bladrandjes/Botrytis	47
2.13	Energieverbruik	48
3	Conclusies en Leerpunten	51
3.1	Teelt & Klimaat	51
3.2	Gelimiteerde CO ₂	51
3.3	Belichting	52
3.4	Diffuus glas	52
3.5	Botrytis	52
3.6	Energie	52
4	Referenties	55
Bijlage I	Specificaties van het gebruikte glas	57
Bijlage II	Modelgegevens voor teeltplan berekening	59
Bijlage III	Oorspronkelijke teeltplan	61
Bijlage IV	Lampenplan bij het IC	63
Bijlage V	Gerealiseerde PAR som (mol m ⁻²)	65
Bijlage VI	Overzicht van de vruchtkwaliteit in de tijd	67

Voorwoord

Uit voorgaande projecten met LED-belichting bij tomaat en het nieuwe telen is een aanpak voor het Nieuwe Belichten gekomen. Hierbij worden natuurlijke instraling, belichting, CO₂ en teeltstrategie geïntegreerd om een gewas te krijgen dat sterk en gezond na de kortste dag naar voren komt. Deze aanpak is beproefd in 2011/2012 in het kader van het innovatieprogramma Kas als Energiebron en is in opdracht van het Ministerie van EZ en het Productschap Tuinbouw uitgevoerd. Daarnaast is er veel bereikt in het onderzoek met diffuus glas. Dit project beoogde beide aspecten bij elkaar te brengen waarbij met een betere lichtverdeling, belichten naar plant behoefte en CO₂ doseren in afhankelijkheid van het licht, de voordelen worden getest in een belichte teelt met start in september. Doelstelling van het onderzoek was een gezond gewas door de wintermaanden te telen, met een energiebesparing van 40%. Het onderzoek werd uitgevoerd op Wageningen UR Glastuinbouw en het GreenQ-Improvement Centre.

Het project werd medegefinancierd en ondersteund door Samenwerken aan Vaardigheden, Cultilene, Monsanto en Philips Lighting die het LED-belichtingssysteem leverde.

Het onderdeel 'meetcampagne uitgroeisnelheid van vruchten in relatie tot belichtingssysteem' is uitgevoerd door Janneke Grit van Wageningen UR in het kader van haar studie.

Teeltadviseur voor het project was Willem Valstar (GreenQ), die ondersteund werd door een BCO bestaande uit Jan Mulder, Danny van de Made (Agro Care), Andy de Jong (Jami) en Pieter van Staalduinen (van Marrewijk).

De auteurs
Wageningen UR Glastuinbouw
Januari 2014

Kennisoverdracht

Publicaties:

Anonymous, 17 december, 2012.

Update het Nieuwe Belichten: Veertig procent minder verbruik haalbaar met gerichte en Led-verlichting. AGF.nl.
http://www.groentennieuws.nl/nieuwsbericht_detail.asp?id=91617

Jagers, F. 1 februari, 2013.

Nieuwe belichten: Led plus diffuus of verrood. Energiek 2020.
<http://www.energiek2020.nu/alle-berichten-energiek2020/detail/nieuwe-belichten-meer-dan-energie-sparen/>

Visser, P. 6 februari, 2013.

Energiezuinig belichten. Groenten&Fruit. [http://www.gfactueel.nl/Glas/Nieuws/2013/2/Energiezuinig-belichten-1166966W/?cmpid=NLC\[Groenten%20en%20Fruit%20Special%20newsletter|06-feb-2013|Energiezuinig%20belichten](http://www.gfactueel.nl/Glas/Nieuws/2013/2/Energiezuinig-belichten-1166966W/?cmpid=NLC[Groenten%20en%20Fruit%20Special%20newsletter|06-feb-2013|Energiezuinig%20belichten)

Bouwman, P., 2013.

Vroege teelt gedijt goed bij hybride belichting. (interview met Andy de Jong en Willem Valstar). Onderglas 4: 43. April, 2013.

Dueck, T., Hemming, S. & Janse, J. 18 maart, 2013.

Diffuus glas: geen mythe maar een helder verhaal. AGF: http://www.groentennieuws.nl/nieuwsbericht_detail.asp?id=94925

Dueck, T., Hemming, S. & Janse, J. 21 maart, 2013.

Horti Daily: <http://www.hortidaily.com/article/1456/Diffuse-glass-not-a-myth-but-clear-as-glass>.

Visser, P., 2013.

Diffuus glas en verrood licht passen bij belichting. Groenten& Fruit, 22 februari 2013, p. 20-23.

Dueck, T., 2013.

Het Nieuwe Belichten onder Diffuus Glas. Nieuwsbrief tomaat LTO-Groeiservice, 16(2); 1-2.

Bouwman, P (interview met Tom Dueck en Silke Hemming). 2013.

Elke teler kan voor zijn gewas het juiste diffuus glas vinden. Onderglas 6/7: 7-9. Juni/Juli, 2013.

Weblogs www.energiek2020.nu

Dueck T. 13 augustus, 2012.

Belichtingsonderzoek tomaat in volgende fase. Energiek 2020.
<http://www.energiek2020.nu/transitiepaden/licht/leds/meer/detail/belichtingsonderzoek-tomaat-in-volgende-fase/>

De Gelder A. 22 oktober, 2012.

Wisselend weer en verschillen in gewas vraagt elke dag actie.
<http://www.energiek2020.nu/aan-het-woord/detail/wisselend-weer-en-verschil-in-gewas-vraagt-elke-dag-actie/>

Van de Made D. 30 november, 2012.

Nog weinig verschillen in belichtingsproef. Energiek 2020.
<http://www.energiek2020.nu/aan-het-woord/detail/nog-weinig-verschillen-in-belichtingsproef/>

De Jong, A. 25 januari, 2013.

Licht tussen gewas is echt een voordeel. Energiek 2020.
<http://www.energiek2020.nu/alle-berichten-energiek2020/detail/licht-tussen-het-gewas-is-echt-een-voordeel/>

Valstar, W, 25 februari, 2013.

Interessante discussies over Het Nieuwe Belichten. Energiek 2020.
<http://www.energiek2020.nu/alle-berichten-energiek2020/detail/interessante-discussies-over-het-nieuwe-belichten/>

Van der Made, D. 22 maart, 2013.

Extra stengels onder diffuus glas. Energiek 2020,
22 maart 2013.

<http://www.energiek2020.nu/alle-berichten-energiek2020/detail/extra-stengels-onder-diffuus-glas/>
De Gelder, A. 18 april, 2013.
Gewaskleur en gewasstand niet maatgevend.
<http://www.energiek2020.nu/aan-het-woord/detail/gewaskleur-en-gewasstand-niet-maatgevend/>
Janse, J. 3 juni, 2013.
Bij diffuus glas en led meer blad aanhouden. Energiek 2020,
3 juni 2013
<http://www.energiek2020.nu/alle-berichten-energiek2020/detail/bij-diffuus-glas-en-led-meer-blad-aanhouden/>
Valstar, W, 18 juni, 2013.
Belicht gewas sterker onder diffuus glas. Energiek 2020.
<http://www.energiek2020.nu/aan-het-woord/detail/belicht-gewas-sterker-onder-diffuus-glas/>
De Gelder, A. 24 juli, 2013.
Leerzame warme dagen.
<http://www.energiek2020.nu/aan-het-woord/detail/warme-dagen-om-van-te-leren/>
Dueck T. 29 augustus, 2013.
Nieuwe Belichten onder diffuus glas succesvol. Energiek 2020.
<http://www.energiek2020.nu/gas-electra-subsidie-nieuws/detail/het-nieuwe-belichten-onder-diffuus-glas-succesvol/>

Films

Kas als Energiebron - Diffuus licht, met Tom Dueck & Dirk v/d Kaaij
<http://www.tuinbouwvtv.nl/film/video/kas-als-energiebron-diffuus-licht/>
Allereerste LED-tomaat geteeld in Bergschenhoek, met Michel Zwinkels en Andy de Jong
<http://www.rijnmond.nl/nieuws/13-02-2013/allereerste-led-tomaat-geteeld-bergschenhoek>
Eerste tomaten kwekerij met hybride LED belichting, met Michel Zwinkels en Andy de Jong
http://www.youtube.com/watch?v=cqgyos9_Ceg
Onderzoek naar effect van LED-licht en diffuus glas bij tomaat, met Tom Dueck en Jan Janse
<http://youtu.be/YgRjNm6T5B4>

Lezingen:

22 oktober 2012	Diffuus licht: waarom werkt het? Lezing Tom Dueck, seminar DLV, Wageningen.
31 oktober 2012	Tussentijdse resultaten HNB met diffuus glas. Jan Janse, tomatencommissie, Pijnacker
26 november 2012	Realisatie teeltplan. Arie de Gelder, BEP HNB Diffuus, Bleiswijk.
6 december 2012	Diffuus licht: optimaal door het jaar bij tomaat. Tom Dueck, Arena Sessie, IC Bleiswijk.
19 december 2012	Tussentijdse resultaten HNB met diffuus glas. Jan Janse, tomatencommissie, Hoek van Holland
7 januari 2013	Realisatie teeltplan. Arie de Gelder, BEP HNB Diffuus, Bleiswijk.
31 januari 2013	Het Nieuwe Belichten bij tomaat. Tom Dueck, Stuurgroep Licht, IC Bleiswijk.
7 februari 2013	Tussentijdse resultaten HNB met diffuus glas. Jan Janse, tomatencommissie, Beek en Donk
18 februari 2013	Realisatie teeltplan en analyse teelt. Arie de Gelder, BEP HNB Diffuus, Bleiswijk.

8 april 2013	Discussiepunten rond LED Diffuus proef en productie bij IC en WUR. Arie de Gelder, BEP HNB Diffuus, Bleiswijk.
10 april 2013	Tussentijdse resultaten HNB met diffuus glas. Jan Janse, tomatencommissie, Bleiswijk
16 april 2013	Diffuse Glass: A light added value? Tom Dueck, seminar GreenQ/IC Bleiswijk
16 april 2013	Lighting & LED systems in horticulture. Tom Dueck, seminar GreenQ/IC Bleiswijk
13 mei 2012	Discussiepunten rond LED Diffuus proef: behandelingen bij WUR. Tom Dueck, Frank Kempkes, Jan Janse, Arie de Gelder, BEP HNB Diffuus, Bleiswijk.
12 juni 2013	Overzicht Belichtingsexperimenten, Tom Dueck, Arena Sessie, IC, Bleiswijk.
19 juni 2013	Tussentijdse resultaten HNB met diffuus glas. Jan Janse, tomatencommissie, Dinteloord
2 juli 2013	Het Nieuwe Belichten bij tomaat: 5 jaar onderzoek bij WUR en IC. Tom Dueck, Seminar Energiezuinige Belichting, PT, Zoetermeer.
4 september 2013	Eindresultaten HNB met diffuus glas. Jan Janse, tomatencommissie, Kwintsheul
23 sept 2013	Het Nieuwe Belichten met Diffuus Glas. Tom Dueck, Jan Janse, Frank Kempkes, Arie de Gelder, BCO, Bleiswijk
30 sept 2013	Het Nieuwe Belichten met Diffuus Glas. Tom Dueck, Jan Janse, Frank Kempkes, Arie de Gelder, Landelijke Tomaten informatiedag, Bleiswijk
25 sept 2013	Diffuus Glas: mogelijkheden en onderzoekresultaten. Tom Dueck, Energiek Event ZON, Horst.
16 okt 2013	Next Generation Lighting with Diffuse Glass, Tom Dueck, Lezing Noorse onderzoekers. Bleiswijk.

Samenvatting

Het tot stand komen van het Nieuwe Belichten is een proces geweest waarbij elementen uit Het Nieuwe Telen centraal staan en waarbij een belichtingsstrategie ingezet is om het gewas gericht te sturen en energie te besparen. Een tomatengewas in de wintermaanden wordt gekenmerkt door vegetatieve groei en tegelijkertijd een toenemende plantbelasting onder omstandigheden met een lichtbeperking. In de wintermaanden is de globale straling laag en de assimilatiebelichting beperkt tot dat wat de tuinder heeft hangen. In deze maanden is het belangrijk om het gewas gezond en in balans te houden. Na de kortste dag neemt de natuurlijke straling toe en moet de assimilatie belichting slim worden gebruikt om de plant in balans te houden. Naast deze wijze van telen is in de afgelopen jaren gebleken dat telen onder diffuus glas tot een meerproductie in onbelichte groenteteelten van 5 tot 10% mogelijk is, terwijl dit geen extra energie kost. Daarnaast werd een derde aspect het reduceren van de CO₂ input.

In een vergelijkend onderzoek zijn deze elementen samengebracht om tot een optimaal rendement te komen waarbij energiebesparing en productiesturing wordt gecombineerd. Het project is gefinancierd door het Ministerie EZ en het Productschap Tuinbouw, als onderdeel van het programma Kas als Energiebron. Het project werd medegefinancierd en ondersteund door Samenwerken aan Vaardigheden, Cultilene, Monsanto en door Philips Lighting die tevens het LED-belichtingssysteem leverde.

In dit project is gebruik gemaakt van afdelingen bij Wageningen UR (WUR) en een afdeling bij GreenQ Improvement Centre (IC). Tomaten van het ras Komeett werden belicht met twee belichtingssystemen: SON-T belichting, 220 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, en een hybride belichtingssysteem met 110 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ SON-T belichting boven het gewas en 110 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ LED-tussenbelichting. Al vroeg in de wintermaanden is er verschil in groei en productie geconstateerd tussen de twee tomatenteelten met gelijke belichting onder diffuus glas die bij WUR en IC stonden. Bij WUR was de productie en ontwikkelingssnelheid hoger dan bij het IC. Het verschil lijkt veroorzaakt te zijn door verschillende kastemperaturen in de nacht als de lampen aanstonden. Bij het IC is bewust gekozen voor een lagere etmaaltemperatuur omdat de gewasstand té schraal was geweest en gedacht werd dat bij een lagere etmaaltemperatuur, meer assimilaten over zouden blijven voor de gewasgroei. Komeett is een relatief gevoelig gewas voor het effect van de etmaaltemperatuur op de ontwikkeling van de vruchten. De groeianalyse heeft duidelijk gemaakt dat de afsplitsing bij het IC lager is geweest dan bij WUR. Het vruchtgewicht bij het IC was juist hoger, dat deels het lagere aantal gezette en geogste vruchten compenseert. Bij het begin van de teelt is gekozen om de gewasbalans te sturen middels plantbelasting. Daarbij is in het snoeibeleid rekening gehouden met de te verwachten lichtsom en zetting, b.v. op vier snoeien enkele weken voordat een extra dief in de winter aangehouden werd om het gewas minder te belasten op dagen met weinig licht. Onder diffuus glas leek het gewas vaak energie over te hebben en meer assimilaten in de vruchten te brengen. Al is het gewas goed in balans gebleven, het lijkt mogelijk om met een hogere plantbelasting onder diffuus glas te telen.

In principe zou men denken dat als het licht afneemt in het najaar, er met meer assimilatie licht geteeld moet worden. Dat gebeurt ook in de praktijk. Echter, door het toepassen van een belichtingsstrategie waarmee belicht wordt naar plant behoefte, blijkt dat dit niet altijd het geval hoeft te zijn. Het is zelfs denkbaar dat er op dagen met relatief veel zonlicht in het najaar, licht geschermd zou moeten worden om het gewas in balans te houden. Meer schermen in het begin van de teelt bij Diff hybr IC zou waarschijnlijk tot een betere balans in het gewas hebben geleid. Nu is gestuurd met temperatuur in plaats van met licht.

Eén van de redenen om LED tussenbelichting te gebruiken is dat er een groter bladoppervlak belicht kan worden met meer assimilatenproductie als gevolg. Zowel het gebruik van diffuus glas als van tussenbelichting heeft dit potentiële voordeel. In deze proef resulteerde LED tussenbelichting in een productiestijging van 1.6% t.o.v. SON-T belichting en deze meerproductie was niet gebonden aan het belichtingsseizoen. Diffuus glas leverde in vergelijking met helder glas een productiestijging van 4.9% op. Diffuus glas had een effect op de productie gedurende de hele teelt.

In de behandelingen zijn 83 tot 89 kg tomaten m² geproduceerd, met maar 30 kg m² CO₂. Dat is een duidelijke besparing in CO₂ gebruik ten opzichte van de praktijk. Door tussen 450 ppm en een maximum van 800 ppm te doseren is er een goed producerend gewas geteeld, waarbij de CO₂-doelstelling is bereikt.

Een kasdek met diffuus glas heeft weer zijn voordelen bewezen, nu in een belichte teelt. Onder diffuus glas is er een meerproductie van 5% geconstateerd t.o.v. helder glas met hetzelfde belichtingssysteem. Dat de meerproductie kleiner is dan in een eerdere proef met een niet belichte teelt (10% meerproductie) van Komeett, is waarschijnlijk het gevolg van het feit dat er nu belicht werd, waarmee het verschil tussen Dir hybr en Diff hybr kleiner is. Ook tijdens de wintermaanden was er een meerproductie onder diffuus glas, een ondersteuning van bevindingen in eerdere studies (Dueck *et al.* 2012a; Janse *et al.* 2012). Het voordeel van diffuus glas komt deels doordat er meer licht in kas wordt gebracht (verklaart mogelijk ca. 3% van de meerproductie), maar ook meer licht in het gewas en het feit dat het licht beter verdeeld wordt in zowel het horizontale als verticale vlak (verklaart mogelijk ca. 2% van de meerproductie).

Tijdens de wintermaanden waren er in alle behandelingen teveel bladrandjes geconstateerd, maar vooral bij Dir SON-T. Vooral dankzij het kunnen toepassen van het middel Luna Privilege is Botrytis goed onder controle gebleven.

Overzicht Energie en Productie cijfers, teelt van 12 maanden, en de omschrijving van de behandelingen

	Elektra (kWh m ²)	Warmte (a.e. m ³ m ²)	Productie (kg m ²)	Glas type	Belichting	Locatie
Diff hybr	348	21.0	89.1	Diffuus	SON-T + LED	WUR
Dir hybr	348	21.2	84.9	Helder	SON-T + LED	WUR
Dir SON-T	366	21.9	83.6	Helder	SON-T	WUR
Diff hybr IC	335	21.4	79.7	Diffuus	SON-T + LED	GreenQ IC

Of de energiedoelstelling is gerealiseerd is niet eenduidig te zeggen. Voor wat betreft de warmtevraag lijkt dat wel gehaald te zijn, met maar 21 m³ gas verbruik tijdens de teelt. Omdat er geen goede referentie was uit de praktijk, kan een vergelijking voor wat betreft het elektrische verbruik alleen gemaakt worden met de SON-T belichtingsafdeling, en daarmee lijkt er een besparing van ca. 13% behaald te zijn. Dat zou beneden de doelstelling zijn, omdat er uitgegaan was van een besparing van ca. 20% aan warmte energie en van 20% aan elektrische energie. Een besparing van 5% vanwege het gebruik van LED tussenbelichting blijft staan, maar een besparing door minder uren te hoeven belichten in de gebruikte belichtingsstrategie is bij de helft van de doelstelling gebleven.

Inleiding

In het transitiepad Licht van het programma Kas als Energiebron is in de afgelopen twee groeiseizoenen de toepassing van een hybride-belichtingsstelsel (bovenlichting met SON-T en tussenlichting met LED) onderzocht in combinatie met elementen van Het Nieuwe Telen om energiebesparing te realiseren (Het Nieuwe Belichten, HNB). In deze teelten met HNB is gebruik gemaakt van hybride belichtingsstelsels met ca. 180-210 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ licht in teeltsystemen met een rijafstand van 192 of 160 cm (Dueck *et al.* 2012b; Dueck *et al.* 2013). De elementen van HNT die toegepast zijn, waren geforceerde ventilatie voor buitenlucht ontvochtiging en gebruik van een tweede scherm. Met SON-T boven- en LED tussenbelichting binnen HNB is een energiebesparing gerealiseerd van 30% bij gelijkblijvende productie.

In de vorige teelt (2011-2012) is er een robuustere teeltstrategie toegepast. Minder risico lopen, minder aan de knoppen van instellingen draaien, 'constant telen'. De lessen uit de eerste teelt met HNB en het teruggaan naar een 160 cm rijafstand systeem heeft goed gewerkt (Dueck *et al.* 2013). Er is ook gebruik gemaakt van een belichtingsstrategie, waarbij de gegeven lichtsom afgestemd werd op de plantbelasting, waarbij beide geleidelijk toenamen in december/januari. Met deze strategie werd een gewas neergezet waarvoor voldoende licht beschikbaar was (zonlicht en belichting samen) bij gegeven plantbelasting in de winter. De geforceerde ventilatie voor buitenlucht ontvochtiging heeft in beide jaren meer energie gekost dan was voorzien als gevolg van een hoge interne weerstand. In het teeltjaar 2011-2012 is daarom in plaats van geforceerde ventilatie veelvuldig gebruik gemaakt van beperkte ventilatie door het openen van de windzijde van de luchtramen. Hiermee kan droge buitenlucht gemakkelijker in de kas worden gebracht. Dit is een praktisch alternatief. Het nadeel is dat er koude lucht direct in de kas komt, maar zolang dit beperkt blijft is het een pragmatische benadering voor het beheersen van de luchtvochtigheid bij een belichte teelt.

Naast deze lijn voor belichting is de afgelopen jaren gebleken dat met telen onder diffuus glas een meerproductie in onbelichte groenteteelten van 5 tot 10% mogelijk is, terwijl dit geen extra energie kost (Dueck *et al.* 2012a; Janse *et al.* 2012). De voordelen zijn plantkundig vooral behaald door een betere lichtverdeling in het horizontale en verticale vlak, betere lichtbenutting en betere beheersing van de gewastemperatuur.

Een derde lijn uit het onderzoek van Kas als energie bron is het beperken van de CO₂ input en het verminderen van de risico's van schade door CO₂ verontreinigingen (De Gelder *et al.* 2012; Dueck *et al.* 2013).

De uitdaging voor een optimaal rendement is het combineren van de ontwikkelingen uit deze verschillende onderzoeklijnen in een concept dat energiebesparing en productiesturing combineert. Dit concept moet daarbij dicht aansluiten bij de praktijk, waarbij levering van product gestuurd door de marktvaart een belangrijk uitgangspunt is. In dit project worden daarom de volgende elementen gecombineerd: telen volgens Het Nieuwe Belichten; diffuus licht door diffuus glas; een vroege plantdatum (begin september); en telen met minder CO₂. Getracht wordt dit alles te doen binnen de randvoorwaarde voor een energiebesparing van 40% ten opzichte van een bedrijf dat een normale verwarmings- en belichtingsstrategie bij de gekozen plantdatum zou realiseren. Een tweede randvoorwaarde is dat bij de belichting wordt voldaan aan de lichtemissieregels zoals die gelden en gaan gelden. Het gebruik van geforceerde ventilatie voor ontvochtiging zal echter worden losgelaten en er wordt gebruik gemaakt van luchten op de windzijde. Door schermkieren goed te combineren met een beperkte ventilatie wordt voorkomen dat er ongewenste temperatuur verschillen in de kas kunnen ontstaan.

Waarom zijn deze verschillende elementen opgenomen in dit concept?

Vroege plantdatum: Men wil zo vroeg mogelijk (rond Kerst) veel tomaten kunnen produceren en afleveren. Met een teelt die geplant wordt op 1 september kan in november al begonnen worden met oogsten.

Diffuus licht: De voordelen van diffuus licht hebben zich bewezen in eerdere teelten met komkommer en (onbelichte) tomaat: een generatiever gewas en meer productie (Dueck *et al.* 2012a; Janse *et al.* 2012). Diffuus licht leidt tot een betere horizontale en verticale lichtverdeling in het gewas, en daarmee voegt het extra licht toe in het gewas, samen met dat van het tussenlicht. Het resulteert ook in een gematigder kasklimaat, waardoor meer licht toegelaten kan worden in het gewas, extreem hoge (direct) lichtintensiteiten in de kop (en daarmee fotoinhibitie) kan worden voorkomen. Met diffuus licht lijken de planten ook sterker en minder gevoelig te zijn voor stengelbotrytis. Verwacht wordt dat dit in het voorjaar tot extra voordeel in groei zal leiden. Een punt van bijzondere aandacht bij diffuus glas is de mate van condensatie tegen dit glas en daardoor een verhoogde lichttransmissie. Dit kan in de winter leiden tot relatief meer natuurlijk licht in de kas en daardoor ook een voordeel hebben voor de groei (Dueck *et al.* 2012c).

Belichtingsstrategie: De wijze van belichting op basis van lichtintegratie met als doel energiebesparing en een gezonder gewas in de winter is eerder met succes toegepast met een maximum van 16 belichtingsuren per etmaal (Dueck *et al.* 2013). De voor een tomatenteelt benodigde lichtsom werd gerealiseerd door de natuurlijke instraling in de winter aan te vullen met het hybride SON-T en LED-belichtingssysteem tot de gewenste lichtsom bereikt werd. Mede naar aanleiding van eerder onderzoek (Dueck *et al.* 2012b; Dueck *et al.* 2013) is gekozen voor een 50/50 verhouding van boven- en tussenbelichting. Met een belichtingssysteem met een maximum capaciteit van $215 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ zijn er voldoende mogelijkheden voor lichtsturing in de donkere wintermaanden. De benodigde lichtsom wordt berekend met behulp van een gewasmodel. Bij een vroegere plantdatum wordt het gebruik van een belichtingsstrategie een grotere uitdaging, om bij een sterke mate van afnemend licht in het najaar, de juiste lichtsom te realiseren om een goed groeiende gewas neer te zetten. Het betekent dat er gezorgd moet worden dat het gewas in het najaar niet teveel licht krijgt, mogelijk door te schermen bij teveel licht en belichten bij te weinig licht.

Buitenluchtontvochtiging: In eerdere proeven met buitenluchtontvochtiging heeft het niet goed gefunctioneerd. Kaslucht werd onvoldoende ontvochtigd en het heeft veel meer energie gekost dan wenselijk. Door regelmatig een kleine kier te houden in het schermdoek en door beperkt te luchten op de windzijde moet de kaslucht voldoende ontvochtigd kunnen worden. Desnoods wordt een minimumbuis op vocht ingezet.

Telen met minder CO₂: In voorgaande proeven waarbij minder CO₂ werd gedoseerd, leek het gewas goed te gedijen (De Gelder *et al.* 2012; Dueck *et al.* 2013). Daarnaast wordt het gebruik van CO₂ kostbaarder met het naderen van een 'CO₂-plafond'. Bij de start van de teelt in het najaar en bij het einde in het voorjaar wordt de CO₂ dosering licht afhankelijk, en in de winter wordt verwacht dat de dosering maximaal $0.5 \text{ kg m}^{-2} \text{ week}^{-1}$ is (16 uur per dag, $45 \text{ kg ha}^{-1} \text{ uur}^{-1}$). Met deze strategie voor dosering in de kas wordt een CO₂-verbruik van maximaal $30 \text{ kg m}^{-2} \text{ jaar}^{-1}$ verwacht.

Energiebesparing van 40%: Het programma Kas als Energiebron heeft voorgesteld een nog hogere doelstelling, namelijk 40% energiebesparing na te streven. Met het gereedschap en de kennis uit voorgaande projecten wordt getracht het gebruik van elektra en verwarming te verminderen en daarmee 40% energie te besparen t.o.v. een belichte tomatenteelt met $220 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en een belichtingsduur van maximaal 18 uur per dag.

Naast de integrale aanpak van het concept als een demo bij het Improvement Centre, wordt een drietal behandelingen uitgevoerd in de kassen bij Wageningen UR Glastuinbouw. Hiermee wordt het mogelijk de effecten van de diverse maatregelen van Het Nieuwe Belichten te kunnen kwantificeren en te onderzoeken wat de verklarende factoren daarvoor zijn. Om het met de praktijk de kunnen vergelijken wordt een referentie afdeling met helder glas en SON-T belichting ($220 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, maximaal 18 uur per dag) gebruikt. Omdat het concept niet alleen hybride belichting maar ook diffuus glas omvat, wordt een tweede afdeling uitgerust met helder glas en hybride belichting. Hierin wordt de hybride belichting vergeleken met de SON-T belichting. De derde afdeling is een afdeling volgens het nieuwe concept zodat zichtbaar wordt of hybride belichting met diffuus glas nog een extra effect heeft ten opzichte van alleen hybride belichting.

1 Materialen & Methoden

1.1 Teelt & Behandelingen

1.1.1 Teeltcondities

Proefplaats:	Wageningen UR Glastuinbouw en GreenQ Improvement Centre in Bleiswijk
Kasafdelingen:	WUR: Afd. 6.06, 6.07, 6.09, 15 m lang en 9.6 m breed (bruto 144 m ²), kolomhoogte 5.50 m met doorlopende nokluchting IC: Kasnummer 2, 35 m lang en 3 x 9.60 m breed (bruto 1008 m ²), kolomhoogte 6.70 m.
Ras	Komeett (De Ruiter Seeds), een grove tomatomaat, geënt getopt op Maxifort.
Hoogte gewasdraad:	WUR: 4.30 m IC: 4.60 m
Plantdatum:	29-08-2012
Stengeldichtheid:	WUR: 2.55 pl/m ² , in week 51 1 op 4 naar 3.1 en in week 8 1 op 4 (hoofdstengels) naar 3.8 st/m ² ; IC: 2.5 pl/m ² , in week 51 1 op 4 naar 3.1, in week 8 1 op 4 (hoofdstengels) naar 3.8 en in week 12 1 op 6 naar 4.3 st/m ²
Substraatmat:	Cultilene Excellent 120*20*7.5, 9 l/m ²
Schermbelichting:	WUR: Energiescherm (LS 10 plus) en lichthinderscherm (95%) IC: Energiescherm (LS10 ultra plus H2no) en lichthinderscherm 99% Glas: Diff., diffuus glas met hemisferische transmissie 85% en haze factor 62% Dir., helder glas met hemisferische transmissie 83% en haze factor 0% Belichting: WUR: Diff hybr. 110 µmol/m ² /s SON-T; 110 µmol/m ² /s LED; Dir hybr. 110 µmol/m ² /s SON-T; 110 µmol/m ² /s LED; Dir SON-T 220 µmol/m ² /s SON-T IC: Diff hybr. 110 µmol/m ² /s SON-T; 110 µmol/m ² /s LED
Verwarming:	WUR: Groeibuis (35 mm) Buisrailnet (51 mm) IC: Groeibuis (2 x 28 mm) Buisrailnet (51 mm)
CO ₂ -dosering:	Doseerrichtlijn 600 ppm met OCAP-CO ₂ tot maximaal 800 ppm Doseercapaciteit tot 250 W globale straling 40 kg ha ⁻¹ uur ⁻¹ ; vanaf 250 W 65 kg; vanaf 400 W 85 kg; vanaf 550 W 100 kg en vanaf 700 W 110 kg ha ⁻¹ uur ⁻¹
Duur proef:	Tot 25-08-2013
Toppen:	Planten zijn getopt in week 29
Trossnoei:	Trossen snoeien op 5 vruchten, in oktober/november 6 weken op 4 vruchten snoeien, daarna op 5 vruchten. Als er extra stengels worden bijgemaakt, de hoofdstengel snoeien op 4 vruchten. Bij de bijgemaakte stengel de eerste 2 trossen snoeien op 4 vruchten.

1.1.2 Behandelingen

Het ras Komeett werd op 29 augustus 2012 geplant met een rijafstand van 160 cm.

Het project werd opgezet met teelten in twee typen kassen:

1. Vergelijkende teelten bij WUR, omdat de resultaten uit de teelten in de onderzoekskassen bij WUR al dan niet met diffuus glas en hybride belichting vergeleken kunnen worden;
2. Demonstratieteelt bij het IC opdat de resultaten in het IC de praktijk zeer zouden aanspreken en de wijze van telen goed vertaald zou kunnen worden naar de praktijk.

Bij WUR werden vergeleken: SON-T belichting ($220 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ SON-T boven) onder helder glas en twee hybride belichtingssystemen ($110 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ SON-T boven en $110 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ LED tussenlicht), één onder helder glas en één onder diffuus glas. Bij het IC werd gebruik gemaakt van een hybride belichtingssysteem ($110 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ SON-T boven en $110 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ LED tussenlicht) onder diffuus glas, gelijk aan die bij WUR.

In dit verslag worden de behandelingen als volgt aangeduid.

Omschrijving	Plaats	Glas	LED tussen belichting	SON-T topbelichting
Diff hybr.	WUR 6.06	Diffuus	$110 \mu\text{mol m}^{-2}$	$110 \mu\text{mol m}^{-2}$
Dir hybr.	WUR 6.07	Helder	$110 \mu\text{mol m}^{-2}$	$110 \mu\text{mol m}^{-2}$
Dir SON-T	WUR 6.09	Helder		$220 \mu\text{mol m}^{-2}$
Diff Hybr IC	IC afd 2	Diffuus	$110 \mu\text{mol m}^{-2}$	$110 \mu\text{mol m}^{-2}$

Bij het begin van de teelt zijn de vergelijkings punten, teeltmaatregelen en sturing van het gewas afgesproken:

1. **Energiebesparing** wordt vastgesteld op twee manieren:

1. door het energieverbruik vooraf te berekenen, uitgaande van 2500 uren belichten met SON-T lampen ($220 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), en de aanvullende thermische energievraag zonder inzet van een tweede scherm zoals in de teelt van 2011-2012 is gebeurd. De daarvoor benodigde energie bedraagt naar schatting 300 kWh/m^2 elektrisch en 1080 MJ/m^2 thermisch. Een besparing van 40% op beide betekent een doelstelling van 180 kWh per m^2 elektrische en 650 MJ per m^2 thermische energie gebruikt mag worden.
2. door het energieverbruik te meten in de referentiebehandelingen (SON-T toplicht en hybride-belichting onder helder glas) en daarmee te vergelijken.

Voor het totale energie gebruik wordt alles uitgedrukt in MJ zonder rekening te houden op de wijze waarop de elektriciteit is opgewekt. Hierdoor is het mogelijk om relatief meer of minder elektriciteit ten opzichte van warmte te gebruiken. De besparing komt voor een 20% door minder warmte input - geen minimum buis gebruik anders dan voor vochtregeling en schermen. Het aantal belichtingsuren zal zo'n 15% van de totale besparing leveren en de hybride belichting zo'n 5%. De exacte verhoudingen worden bij het uitwerken van het teeltconcept voorafgaand aan de start van de teelt berekend.

2. **Diffuus licht.** Eén van de kassen bij WUR en de kas bij het IC werd verdekt met diffuus glas met een haze factor van 62% en hemisferische lichttransmissie van 85.3%. Ter controle werd de haze factor en transmissie gemeten van helder glas (kas met nieuw glas verdekt) en die bleek een haze factor van 0% en hemisferische lichttransmissie van 83.6% te hebben.

3. **Belichtingsstrategie.** De belichtingsstrategie is op vergelijkbare wijze als de vorige teelt bij het IC (Dueck *et al.* 2013) toegepast. Tussenlicht met LEDs werd gerealiseerd door 2 strengen LEDs te hangen tussen het gewas, de onderste streng ca. 50 cm boven de onderste bladlaag en de bovenste streng ca. 40 cm daarboven. De benodigde lichtsom op uurbasis werd berekend en de beschikbare assimilatiebelichting werd gebruikt ter aanvulling van zonlicht om op de benodigde lichtsom uit te komen. Er is gerekend met een maximale belichtingscapaciteit van $220 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ die alleen werd ingezet als de benodigde lichtsom niet werd gehaald bij een maximum van 16 belichtingsuren per etmaal. Belicht werd met SON-T tot een instraling van 150 W en met LED tot 250 W/m^2 . Bij 300 W/m^2 straling gingen alle lampen uit. Wanneer de beoogde lichtintensiteit in een afdeling niet helemaal gehaald werd, werd er langer belicht (dat is alleen in de SON-T referentie afdeling voorgekomen).

In het belichtingsmodel werd gewerkt met een lichtintegratieduur van ± 7 dagen.

Bij dit alles wordt voldaan aan de geldende lichtregels om aan te tonen dat dit mogelijk is zonder productieverlies.

4. **CO₂**. Omdat in het project Het Nieuwe Belichten met tomaat met minder CO₂ (Dueck *et al.* 2013) is gebleken dat de productie van tomaat niet hoeft te lijden onder minder CO₂ en er tevens mogelijk minder kans is op Botrytisinfectie, is er voor gekozen om met minder CO₂ te telen. Richtlijn was gemiddeld 600 ppm CO₂ met een min/max van 450/800 ppm CO₂, afhankelijk van de lichtintensiteit en mate van ventilatie.
5. **Vergelijkende teelten**. Duidelijk is dat het nodig is om aan te tonen wat de bijdrage is van de factoren diffuus glas en hybride belichting aan de prestatie van het totale concept. Dat werd gedaan door vergelijkende teelten uit te voeren met de referentieteel van standaard SON-T belichting onder helder glas. Als tweede teelt werd een hybrideteelt onder helder glas gebruikt.
6. **Teelt**. Voor de kortste dag werden geen extra stengels aangehouden. Met een rijafstand van 160 cm en het hanteren van een robuuste klimaatstrategie zou het gewas gelijkmatiger (vlakker) geteeld worden. Tot de kortste dag werd de plantbelasting gestuurd met vruchtsnoei om te voorkomen dat er door lichttekort een gebrek aan assimilaten zou ontstaan. Na de kortste dag werden met toenemend licht op basis van de PAR-som extra stengels aangehouden. Doelstelling voor wat betreft productie was ca. 80 kg m².

1.2 Metingen

1.2.1 Kasklimaatregistratie

De setpoints en het gerealiseerde klimaat in de kassen werden elke 5 minuten geregistreerd met de Priva- en Hogendoorn klimaatcomputers. Daarbij werden de kasluchttemperatuur, relatieve luchtvochtigheid, het vochtdeficiet, de CO₂-concentratie, raamstand en globale straling buiten de kas gemeten en opgeslagen.

1.2.2 Lichtmetingen

1.2.2.1 Lichttransmissie van de kas

De lichttransmissie in elke kas werd gemeten met een Sunscan Canopy analysis systeem (Delta-T Ltd, UK) door de lichtintensiteit in de kas te vergelijken met de gemeten lichtintensiteit buiten. Daarnaast werd in de kassen met hybride belichting bij WUR, met helder glas en diffuus glas, een reeks van 5 Licor puntsensoren (LI 190) gemonteerd naast de staafmeter (Licor LI-191). Iedere 5 minuten werden de lichtintensiteiten gemeten en gelogd.

1.2.2.2 Lichtverdeling van de lampen

Bij een volgroeid gewas werd de lichtverdeling in de kas gemeten door in het horizontale vlak continue lichtmetingen uit te voeren met een LICOR puntmeter (LI 190). De metingen zijn in alle paden op een rijdende buisrailkar net boven het gewas gedaan. De metingen zijn uitgevoerd na zononder met alleen licht van de lampen.

1.2.2.3 Lichtonderschepping

Om de lichtverdeling in het gewas te analyseren werden metingen van de lichtintensiteit in een verticaal traject van de kop van het gewas tot de teeltgoot uitgevoerd. Metingen werden in februari gedaan bij bewolkt weer met behulp van een Sunscan Canopy analysis systeem (Delta-T Ltd, UK). De Sunscan met een lengte van 75 cm werd elke 25 cm tussen de kop van het gewas en de mat dwars in de rij gestoken. Tegelijkertijd werd er een referentiemeting boven het gewas uitgevoerd om de relatieve lichtintensiteit te bepalen. Deze geeft de mate van lichtonderschepping aan.

1.2.3 Waterverbruik

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

1.2.4 Plantregistraties en destructieve oogst

1.2.4.1 Plantwaarnemingen

De gewasgroei werd wekelijks gemonitord door aan 2 x 10 stengels de volgende parameters te registreren:

- lengtegroei;
- kopdikte (ter hoogte van de top van de plant in de voorgaande week);
- bladlengte (eerste blad onder de bloeiende tros);
- bloeiende tros;
- gezette tros;
- aantal gezette vruchten;
- plantbelasting;
- geoogste tros.

1.2.4.2 Waarnemingen Botrytis aantasting

Bladrandjes en het aantal planten aangetast met Botrytis (op stengels) werden incidenteel gemonitord. Om Botrytis te voorkomen werden de verdroogde bladpunten in het begin regelmatig vroegtijdig verwijderd. Toen het goed werkende middel Luna privilege werd toegelaten is dit tijdens de teelt ook gebruikt, waardoor de waarnemingen weinig zin meer hadden en is hiermee gestopt.

1.2.4.3 Bladmorfologie

In de winter en het voorjaar werden 10 volgroeide bladeren respectievelijk hoog en laag in het gewas geplukt en geanalyseerd. De volgende parameters werden bij de destructieve bepalingen gemeten:

- Vers- en drooggewicht bladeren [g];
- Bladoppervlak [m²];
- SLA per plant (specific leaf area) [cm² g⁻¹].

Door op meerdere hoogtes bladeren te plukken en het bladoppervlak te meten werd de LAI [m² m⁻²] bepaald.

1.2.4.4 Productie

Per goot of carrousel werd bij de oogst het netto gewicht van de geoogste trossen (klasse I) bepaald.

Op het IC werd het gemiddelde vruchtgewicht vastgesteld door van een monster van ongeveer 90 vruchten per oogst het precieze aantal vruchten en het totaal gewicht van het monster te bepalen. Bij WUR werd per oogstdatum het aantal vruchten geteld en het totaal gewicht bepaald van één carrousel, waaruit het gemiddelde vruchtgewicht werd berekend.

1.2.5 Energieverbruik

De branduren van de lampen werden geregistreerd en de elektriciteit van de SON-T- en LED-belichting in de afdeling werd berekend aan de hand van de specificaties van Philips (SON-T: $1.8 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, tussenLED: $1.91 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). De thermische energie werd gemeten en wekelijks afgelezen om samen met de elektrische energie tot het totale energieverbruik te komen.

1.3 Begeleiding

Wekelijks is er op maandag een bijeenkomst geweest van de begeleidingscommissie waarvan Willem Valstar een teelt verslag heeft gemaakt. Aan het eind van de week werd een rapportage rond gestuurd van de stand van het gewas die gemaakt waren door Kees Scheffers bij WUR en Piet Hein van Baar bij het IC.

Om de 6 weken is er een grotere stuurgroep bijeenkomst geweest waarin de voortgang van het onderzoek is besproken. Daarbij werden ook voorlopige conclusies getrokken naar aanleiding van analyses van de verschillen in ontwikkeling.

2 Resultaten & Discussie

2.1 Verloop van de teelt

Het onderstaande overzicht is gemaakt op basis van de wekelijkse verslagen van Piet Hein Baar (Diff hybr IC) en Kees Scheffers (Dir SON-T, Dir hybr, Diff hybr) en de verslagen van de BCO gemaakt door Willem Valstar. Van het verloop van de teelt wordt er per maand een samenvatting gegeven.

De planten van het ras Komeett zijn volgens plan 29 augustus in de kas gekomen en direct op het gat gezet. De planten waren groot, namelijk ruim 1.4 m.

September

De planten werden in de eerste periode sterk beheerst geteeld door voornamelijk een beperkte watergift, hoog Cl en hoge EC. Bij Diff hybr leek de kop in de 1^e helft van september iets sterker dan bij Dir hybr. Vanaf week 37 is in de kassen bij de WUR gestart met CO₂-dosering. Bij de WUR is in de 2^e helft van september een wat lagere temperatuur dan bij Diff hybr IC aangehouden, omdat de planten er zwakker opstonden. Dit had waarschijnlijk te maken met de lagere licht transmissie van de kassen bij WUR. Op 25 september (week 39) is voor het eerst gebruik gemaakt van de belichting. Vanaf deze week was de streefconcentratie aan CO₂, afhankelijk van de instraling, 500 tot 600 ppm. De eerste 3 trossen werden op 5 gesnoeid en de vervolgens op 4. In september waren de verschillen in gewasstand tussen de drie behandelingen bij WUR gering.

Oktober

In oktober stond het gewas bij WUR in de Dir SON-T kas het groeizaamst, maar met de minste kracht in de kop en bovenste tros. In alle WUR-kassen was het gewas wat aan de vegetatieve kant met vrij lange trosselen. Aan het einde van de maand waren de gewasverschillen tussen de WUR-kassen gering: het gewas stond er sterk op, waardoor er vanaf de 2^e helft van oktober wat hogere temperaturen aangehouden konden worden. In de kassen bij WUR trad er soms een onregelmatigheid c.q. vertraging op in de overgang van de 3^e naar de 4^e vrucht van een tros. De oorzaak hiervan moet mogelijk gezocht worden in de vegetativiteit in combinatie met weerswisselingen. Dit verschijnsel kwam in de kassen bij WUR later ook nog regelmatig naar voren. In Diff hybr IC trad dit verschijnsel nauwelijks op. Wel hadden de planten daar in oktober wat last van het ingebrachte pepinovirus. In week 42 zijn de etmalen op beide locaties weer meer naar elkaar toegekomen.

Al vanaf begin oktober stond er bij Diff hybr IC een open, schraal, generatief gewas met nogal eens spits en donker blad. Dit is eigenlijk de hele teelt zo gebleven. De tros was in oktober wel sterk. Er ontstonden wat bladrandjes, waar later weer Botrytis op kwam. Gezien de schrale gewasstand is vanaf eind oktober bij Diff hybr IC gedurende een lange periode een lagere etmaaltemperatuur aangehouden dan in de WUR-kassen. Het idee was dat er daardoor meer assimilaten over zouden blijven voor de gewasgroei.

November

In het begin van deze maand stonden de gewassen bij WUR er met een dikke, paarse kop, sterk op. In de SON-T-kas stond het gewas zelfs té sterk en vegetatief met een zwakkere tros en ook bladrandjes. Hierop is gereageerd door een aantal weken een grotere DIF en een hogere etmaaltemperatuur aan te houden dan in de andere kassen. De troskwaliteit was in alle kassen met 7 à 8 bloemen per tros behoorlijk goed. Tegen het einde van de maand nam de kracht in het gewas vooral door de lagere lichthoeveelheid en de hogere etmaaltemperaturen wat af. In alle kassen kwamen later in de maand wat bladrandjes voor, maar duidelijk het meest bij SON-T. De randjes bleven echter droog. Wekelijks werd er een kopblaadje verwijderd.

Op het IC bleef het gewas generatief met een dunne kop en behoorlijk wat bladranden, die gevoelig waren voor Botrytis. Om aantasting van deze schimmel zoveel mogelijk te voorkomen werden de natte bladpunten verwijderd. Om meer groeikracht te verkrijgen werden de trossen op het IC in de 1^e weken van november op 4 gesnoeid en bij WUR op 5. In de 2^e helft van november was dit overal op 5 vruchten per tros.

December

Bij de WUR worden de gewassen slanker en wat zwakker: ze stonden echter goed in balans. De tendens die vorige maand in het gewas van de SON-T-kas werd gezien, zette zich voort: zwakkere, soms schrale, gelige kop met de meeste bladrandjes van de 3 kassen. De plantbelasting in deze kas was hoog. Dit kwam door de ca. één tros hogere aanmaak, maar een gelijke oogsttros in vergelijking met Dir hybr. Bij SON-T kwam er immers minder warmte tussenin het gewas door het ontbreken van de LED-tussenbelichting. Bij de zwakste planten in de SON-T kas werd er soms een tros uit de kop verwijderd. In week 52 ontstond er op de bladrandjes Botrytis: deze bladgedeeltes werden zoveel mogelijk weggenomen. In week 52 is er in Dir hybr en Diff hybr een extra stengel aangehouden, bij SON-T is dit uitgesteld tot week 4.

Tot en met week 50 werden de trossen op 5 gesnoeid (week 50 SON-T op 4), daarna is er in alle kassen weer op 4 gesnoeid.

In het gewas in Diff hybr IC schieten sommige bladrandjes door in Botrytis en daarom worden grote stukken blad verwijderd.

Januari

Bij de WUR is er 'spontaan' pepinomozaïekvirus (Chili2-stam) in het gewas gekomen. Vooral de planten in de SON-T-kas hadden hier veel last van. Het gewas was op een erg ongunstig moment geïnfecteerd geraakt: in een lichtarme periode in combinatie met een hoge plantbelasting. Toen het virus geconstateerd is, zijn alle kassen bewust besmet om deze goed met elkaar te kunnen blijven vergelijken.

De oogsttros van SON-T was vaak wat minder van kwaliteit dan in de Dir hybr en Diff hybr kassen. Het gewas in de SON-T kas was de laatste periode steeds het zwakst, maar qua productie kon deze kas goed meekomen met Dir hybr. Half januari zijn de koppen van de planten in de SON-T kas zo laag mogelijk gehangen om de afstand tot de lampen te vergroten. Om de onderste vruchten er sneller af te krijgen is eind januari bij SON-T de minimumbuis ingezet.

Botrytisaantasting in het gewas is zoveel mogelijk voorkomen door zowel bij WUR als IC ruime gedeeltes van bladeren met natte bladpunten weg te nemen. Bovenin bleven de bladrandjes veelal wel droog. De hoeveelheid bladrandjes in de Dir hybr en Diff hybr kas varieerde wat per week: soms was de aantasting groter bij Dir hybr en soms weer bij Diff hybr. Het gewas in de Diff hybr kas er het sterkst op.

Bij de hybridebelichting werd eind januari overgeschakeld naar een tros snoei van 1 op 5; bij SON-T bleef dit nog 1 op 4. Bij sommige planten met een zwakke diefgroei werd bij SON-T een hele tros verwijderd. Bij deze behandeling werd in week 4 bij 1 op de 3 planten dieven aangehouden (plantdichtheid 3.33 pl/m²).

Bij het IC bleef het gewas nog erg open met weinig diefgroei en korte trossen met consequenties voor de lichtonderschepping. De assimilaten gingen steeds snel naar de groeiende trossen met tomaten, die ten koste gingen van de vegetatieve groei.

Februari

De gewassen in de kassen bij WUR waren in week 5 en 6 duidelijk sterker en bovenin groener geworden.

In week 6 is het middel Luna Privilege tegen Botrytis en meeldauw meegedruppeld. Dit middel bleek zeer effectief: de natte bladranden droogden goed op en de Botrytis stopte. Hierdoor was het niet meer nodig om grote bladgedeeltes te verwijderen, waardoor de LAI weer toe kon nemen. De wortels waren prima.

In week 6 is bij Dir hybr en Diff hybr bij 1 op 6 planten een extra dief aangehouden en op het IC 1 op 4. Hierdoor werd de stengeldichtheid respectievelijk 3.33, 3.33 en 3.75 stengels/m². De extra dieven groeiden goed mee.

Half februari nam het aantal bladranden toch weer toe, mogelijk als gevolg van het koude weer. Bij de SON-T werden de meeste bladranden gevonden en trad bladverschaling op.

Bij Diff hybr IC waren de koppen van vooral de dieven dun. Het gewas stond er vrij hard en scherp op.



Foto 1. Overleg BCO.

Maart

Bij WUR stond het gewas in de hybridekassen er in de meeste weken goed op. Wel kwamen er vooral bij koud weer regelmatig nog verbrande bladrandjes voor, maar tussen beide kassen was het beeld wisselend.

Bij de SON-T was er veel bladverschraling ofwel gelig in de kop ("kaliumgebrek") en waren de trossen aan de zwakke kant. Vaak werd het gewas naar onderen toe wel weer veel groener. Tegen het einde van de maand werd er steeds minder met de SON-T lampen belicht en nam de aantasting van bladrandjes af.

Bij Diff hybr IC stond er nog steeds een zwak, dun, generatief, open gewas met een te lage LAI. Veel planten hadden zwakke wortels. Om meer kasvulling te verkrijgen is daarom in week 11 bij 1 op de 6 planten een extra dief aangehouden, waardoor de stengeldichtheid uitkwam op 4.3 stengels/m². Waarschijnlijk vooral dankzij de toepassing van Luna Privilege was de Botrytisdruk veel lager dan in voorgaande seizoenen.

April

In alle WUR-kassen is in week 14 een extra stengel aangehouden, zodat de stengeldichtheid op 3.8 stengels/m² uitkwam. Begin april was de kop bij Diff hybr beter dan bij Dir hybr. De planten begonnen sterker en generatiever te staan; de wortelkwaliteit bleef in alle kassen prima. Bij SON-T was het blad nog steeds vrij zwak, maar de tomaten dikten wel goed uit. Het aantal mindere planten bij deze behandeling nam in de loop van april duidelijk af. Eind april zijn de lampen uitgegaan en is in alle kassen een 1 °C lagere stooktemperatuur aangehouden. Half april is Luna Privilege weer gebruikt. De aantasting van witte vliegen is het gehele seizoen in alle kassen zeer beperkt gebleven door het goed aanslaan van de *macrolophus et al.* en toe gebruiken van gele vanglinten.

Bij Diff hybr IC is i.v.m. de zwakke groei in week 15 bij alle stengels een tros verwijderd. De blijvend zeer matige groei op het IC heeft waarschijnlijk verschillende oorzaken, namelijk ondermeer bij de start teveel licht toelaten ofwel geen licht wegschermen in een relatief lichte kas, lage plantbelasting in combinatie met een lage temperatuur, besmetting met 'zwak' virus, hoog Cl-gehalte in de mat. Daarnaast is er bij de start van de belichting niet radicaal bijgestuurd, waardoor er een onbalans in de plant ontstond. Door de grofheid van de vruchten ontstonden er half april op het IC vrij veel zwelscheurtjes op de vruchten.

Mei

Bij de WUR waren de trossen die in week 17 gezet waren, van matige kwaliteit. Daarna werden de trossen duidelijk sterker. In de 1^e helft van mei kwamen er nog maar weinig nieuwe bladrandjes bij. De trossen werden ook krachtiger. In de SON-T kas was het gewas nog steeds het meest open. Zwakke trossen werden op 4 gesnoeid om de kans op groene punten of gescheurde tomaten te voorkomen. I.v.m. lichttekort is de tussenbelichting in de hybride kassen en de helft van de SON-T belichting in de SON-T kas half mei weer tijdelijk aangezet. In de 2^e helft van mei stonden de gewassen er wat gelig op.

Aan het gewas op het IC was nog weinig effect te bemerken van het verwijderen van de tros. De koppen waren nog steeds dun. Overdag werd hier een wat hogere temperatuur aangehouden om meer vocht in de kas te houden. Ook hier is de LED-tussenbelichting half mei tijdelijk gebruikt.

Juni

Gewassen in de verschillende WUR-kassen trokken steeds meer naar elkaar toe. Het idee was dat ze de zomer gemakkelijk aan zouden moeten kunnen. De planten vertoonden sterkere trossen. Een enkele plant was wat gelig. Trossnoei op 5, bij zwakke planten op 4.

In de 1^e helft van juni stond het gewas op het IC er nog steeds matig bij: matige kleur van de kop, bladrandjes en geen goede wortels. Later in juni knapte het gewas wat op, stond de kop er frisser op, werden de trossen sterker en waren er meer witte wortelpunten in de matten te vinden.

Juli

Door de weersomslag van langdurig donker naar zeer licht en warm weer gingen sommige planten begin juli bij zowel de WUR als het IC wat slap. Er trad ook wat bladvergeling en necrose op. Begin week 28 is in alle kassen de kop eruit gehaald. Half juli stond het gewas in de Diff hybr kas er duidelijk beter op dan in de Dir hybr kas. Wel waren er in eerstgenoemde kas wat meer gele planten te vinden. In de SONT kas stond het gewas nog steeds het zwakst. Eind juli stonden er vooral bij de WUR sterke gewassen. Door de hoge gerealiseerde etmaaltemperaturen als gevolg van de langdurig hoge instraling werden de vruchten wat vlekkerig van kleur.

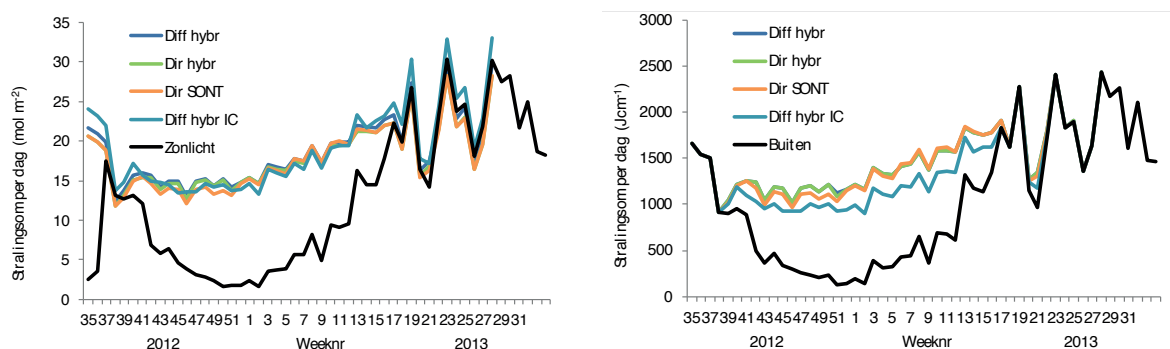
Augustus

Begin week 33 is in alle behandelingen ethrel toegepast. In week 35 zijn de laatste tomaten geoogst.

2.2 Licht

2.2.1 Lichtsom

De hoeveelheid licht die het gewas werkelijk krijgt bestaat uit de globale straling (zonlicht) van buiten vermenigvuldigd met de kasdektransmissie, en de hoeveelheid licht van de lampen. De totale stralingssom is berekend, rekening houdend met de kasdektransmissie in elke behandeling en het lamplicht. De kasdektransmissie verschilt tussen de behandelingen, voor de referentie kas bij WUR wordt ca. 60% aangehouden en bij het IC 70%. Daarnaast wordt voor de behandelingen Diff hybr en Diff hybr IC een 5% hogere (65%) transmissie aangehouden (wordt in 2.2.2 verder uitgelegd).



Figuur 1. Links de gemiddelde stralingssom per dag berekend in de kas ($\text{mol m}^{-2} \text{ dag}^{-1}$), rekening houdend met het verschil in transmissie van het diffuse kasdek bij het IC en WUR. Rechts de stralingssom per dag buiten ($\text{J cm}^{-2} \text{ dag}^{-1}$) en de totale stralingssom (zonlicht en lampen) berekend als was het natuurlijk licht buiten ('naar buiten toe').

In Figuur 1 (links) is dan ook te zien dat de stralingssom per dag gedurende het belichtingsseizoen tussen de behandelingen vrijwel gelijk is. Gedurende de weken tot week 51 was de stralingssom bij Dir SON-T net iets lager dan de overige behandelingen en dit werd verder aangevuld met een langere belichtingsduur van 30 tot 60 minuten. Bij Diff hybr IC waren er relatief minder lampen in het midden van de kas, waardoor de stralingssom gedurende de winter iets lager uitviel dan in de overige behandelingen. Maar met de toenemende hoeveelheid zonlicht in het voorjaar werd er meer licht berekend in die behandeling vanwege de hogere kasdektransmissie bij het IC.

Tuinders rekenen de stralingssom vaak 'naar buiten toe', d.w.z. de hoeveelheid lamplicht wordt vermenigvuldigd met de kasdektransmissie en opgeteld met de hoeveelheid buitenstraling. Dit geeft de hoeveelheid buitenlicht aan die nodig zou zijn om bij de betreffende kas de gerealiseerde lichtsom binnen te bereiken en is te zien in Figuur 1 rechts. Daarin valt op dat de op deze wijze benodigde stralingssom minder is voor Diff hybr IC omdat de kasdektransmissie ca. 10% hoger is dan bij WUR. Je hebt bij een WUR kas dus meer buitenlicht nodig om binnen in de kas dezelfde lichtsom te bereiken dan bij de Diff hybr IC afdeling, vooral vanwege de hogere kasdektransmissie bij het IC.

2.2.2 Lichttransmissie van diffuus en helder glas: metingen in het lab

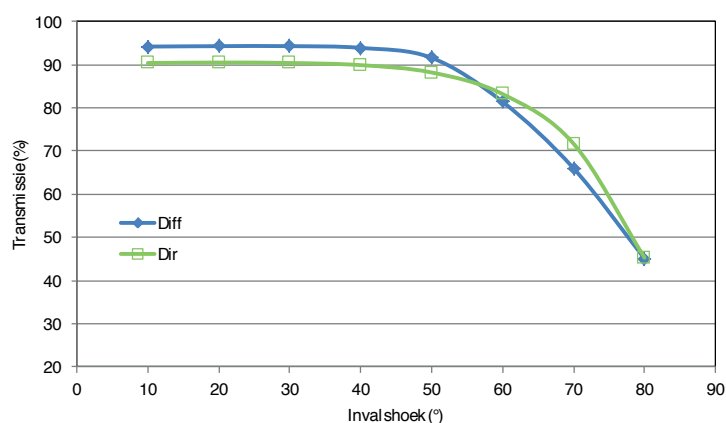
Vooraf aan het verdekken van de kassen zijn metingen uitgevoerd in het lichtlab in Wageningen aan beide glastypen.

Volgens de metingen van Wageningen UR heeft het diffuse en heldere glas de volgende kenmerken:

- Standaard float glas: hemisferische lichttransmissie 83.6% met een haze factor van 0%;
- Prismatic diffuus glas: hemisferische lichttransmissie 85.3% met een haze factor van 62%.

Bij de loodrechte meting is een lichttransmissie verschil gemeten van 3.9% en bij hemisferische meting een verschil van 1.7%. Een uitgebreide tabel is te vinden in Bijlage I.

Transmissiemetingen over de verschillende invalshoeken **ten opzichte van loodrecht** op het glas zijn gegeven in Figuur 2. Daarin is duidelijk te zien dat er een hogere transmissie is van ca. 2% bij invalshoeken tussen 0 en 50° en tussen invalshoeken tussen 60 en 75° is dat andersom; de transmissie van standaard glas is hoger. Deze figuur suggereert dat voor wat betreft de hemisferische lichttransmissie, diffuus glas in het nadeel is t.o.v. helder glas bij een lage invalshoek van het licht.

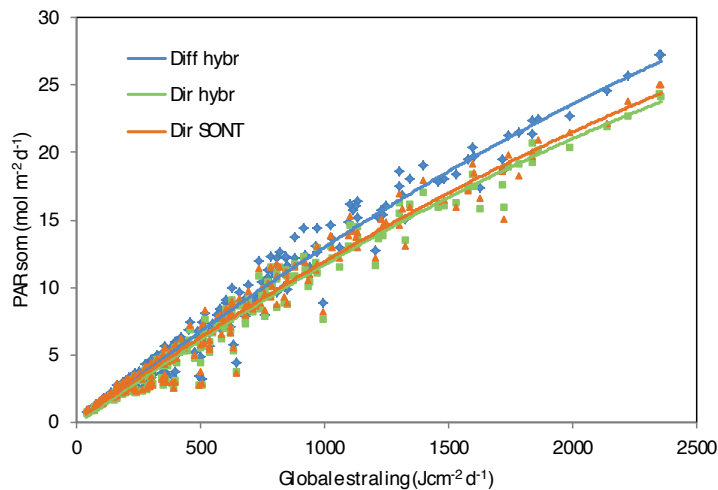


Figuur 2. Transmissie van standaard float glas (Dir) en prismatic diffuus glas (Diff) bij de invalshoeken van het licht tussen 10 en 80° ten opzichte van loodrecht.

2.2.3 Lichttransmissie van diffuus en helder glas: metingen in de kas

In alle afdelingen bij Wageningen UR is per 5 minuten de PAR intensiteit gemeten met lijnsensoren (LICOR LI-191) die vlak boven de lampen zijn geïnstalleerd, zodat uitsluitend de lichtintensiteit van natuurlijk PAR (zonlicht) is gemeten en niet de intensiteit van de lampen. De lijnsensoren zijn vooraf gekalibreerd tegen één standaard lijnsensor.

Door de PAR dagsommen te vergelijken over de periode van 8 september tot 22 april kan nagegaan worden of alle kassen dezelfde lichttransmissie hebben.



Figuur 3. Dagelijkse PAR sommen ($\text{mol m}^{-2} \text{dag}^{-1}$) voor de behandelingen bij WUR, gemeten met lijnsensoren tijdens het belichtingsseizoen.

Uitgezet tegen de dagsom globale straling blijkt dat de kassen met helder glas een gelijke lichttransmissie hebben. De trendlijnen liggen vrijwel op elkaar. De afdeling met diffuus glas heeft een 11% hogere lichtsom op basis van de dagsommen, gemeten met de lijnsensor. Omdat het gemeten verschil in lichttransmissie tussen helder en diffuus glas niet te rijmen valt met metingen in het lab (zie 2.2.2) is gediscussieerd over een mogelijk verschil tussen de puntsensor van Licor (LI 190) die wel cosinus is gecorrigeerd en de lijnsensor die dit niet is, en de gevolgen daarvan voor de metingen van de lichttransmissie. In de afdelingen Diff hybr en Dir hybr bij WUR is naast de lijnsensor een set van 5 puntsensoren bovenin de kas geplaatst (zie foto). De puntsensoren zijn na installatie in de kas gekalibreerd tegen een met een standaard lichtbron geijkte puntsensor van LICOR.



Foto 2. Opstelling van 1 lijnsensor met 5 puntsensoren bovenin de kas.

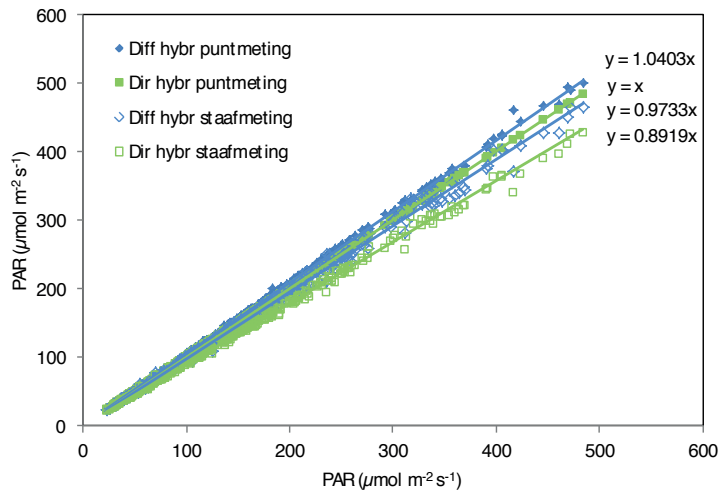
In de periode van 20 december tot 15 augustus is met deze set puntsensoren de lichtintensiteit gemeten en vergeleken met de lijnsensoren. Puntsensoren zijn zoals eerder vermeld wel cosinus gecorrigeerd, maar zijn gevoeliger voor de schaduwwerking van de kasconstructie.

Voor een vergelijking tussen de punt- en lijnsensoren is in de dataset geselecteerd op uren die voldoen aan de volgende criteria:

- Er zijn 12 vijf-minuten waarnemingen in dat uur;
- Het is buiten geheel bewolkt; de uitstraling is vrijwel nihil gemeten met een pyrgometer;
- De schermen zijn open;
- De globale straling is $> 10 \text{ W m}^{-2}$ per 5 minuten.

Aan deze criteria voldoen 348 uren in genoemde periode. Volgens de lijnsensoren is er onder deze diffuse condities een transmissieverschil van 7.3% tussen de afdeling met diffuus glas en de afdeling met helder glas. Volgens de puntmeters is het verschil 4.3%. Beide waarden zijn duidelijk hoger dan de 1.7% die op basis van de hemisferische transmissie was te verwachten.

Tussen de gemeten waarden van de puntsensoren en lijnsensoren zit een verschil van 10.8% bij helder glas en 6.7% bij diffuus glas. Hierdoor lijken de lijnsensoren betrouwbaarder te zijn onder diffuus dan onder helder glas. De lijnsensor geeft lagere waarden aan, d.w.z. dat de lijnsensoren minder licht (totaal) meten dan de puntsensoren (Figuur 4). Dit zou een gevolg kunnen zijn van verschil in kalibratie van de twee typen sensoren. Het verschil in waarden bij diffuus glas kan het gevolg zijn van verschil in cosinus correctie.

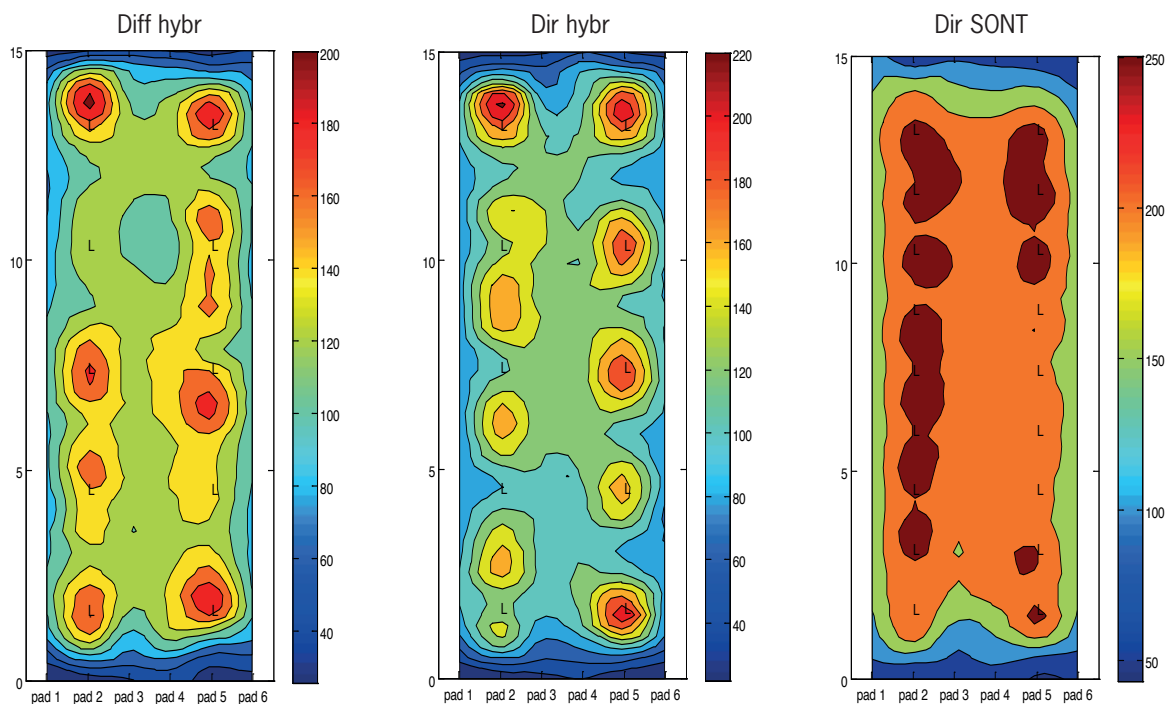


Figuur 4. PAR intensiteit ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) gemeten door lijnsensoren (staafmetingen) en puntsensoren onder helder (Dir hybr) en diffuus (Diff hybr) glas vergeleken met de meting van de puntsensor onder helder glas.

Om na te gaan of kalibratie een rol speelde zijn de puntsensoren in februari verwisseld tussen de afdelingen. Dit had vrijwel geen effect op de uitkomsten, zodat geconcludeerd kan worden dat het verschil niet aan de sensoren kon liggen. De conclusie van deze analyse is dat de lichttransmissie van de afdeling met diffuus glas ca. 5% hoger is dan de lichttransmissie van de afdeling met helder glas. Het is aan te bevelen om met INTKAM de gevolgen van dit verschil in lichttransmissie te berekenen voor de productie. Het verschil met de metingen uit het lab is hiermee nog niet verklaard, maar heeft mogelijk te maken met verschillen in transmissie veroorzaakt door condens op het glas (Dueck *et al.* 2012).

2.2.4 Lichtverdeling in de kas

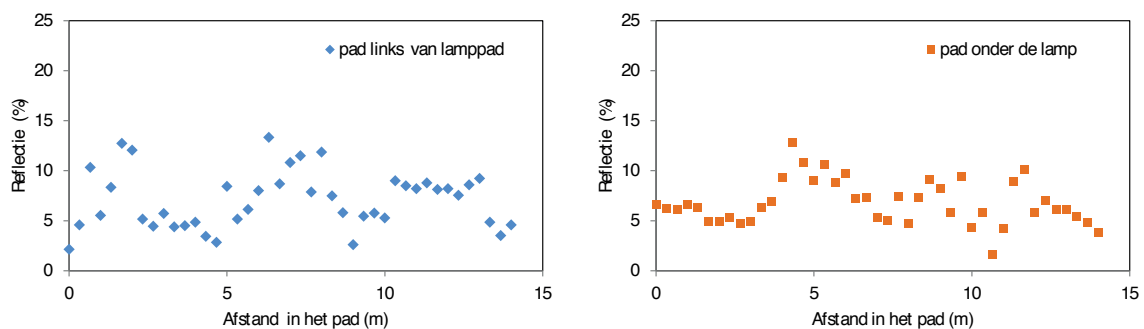
Bij een volgroeid gewas is de lichtverdeling in de kas gemeten. In Figuur 5 is in alle kassen te zien dat er minder licht op gewashoogte is vóór- en achter in de kas. Dat is een gevolg van het lichtplan en ingestelde lichtverdeling (aanwezigheid van luchtcirculatiebuizen achterin en het pad voorin) in de kas. In alle kassen zijn ook de lichtpunten van de SON-T lampen goed zichtbaar. Dit is het sterkst in de Dir SON-T behandeling waar de lichtintensiteit twee keer zo hoog was als in Diff hybr en Dir hybr. Het feit dat de aanwezigheid van SON-T lampen zo zichtbaar is betekent een iets té heterogene lichtverdeling op gewashoogte. Overigens is door het hogere aantal lampen bij de Dir SON-T behandeling de lichtverdeling op gewashoogte daar beter dan in de hybride behandelingen.



Figuur 5. Lichtverdeling in de kas onder de hybride belichting (Diff hybr en Dir hybr) en onder de SON-T lampen. De kleur geeft de lichtintensiteit ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) aan. "L" geeft de positie van de lampen aan.

Tijdens het winterseizoen is er gemeten aan de verticale lichtverdeling (lichtpenetratie) in het gewas. In de kassen met hybride belichting was zowel bij WUR als het IC een nagenoeg evenredige afname in de lichtintensiteit met de hoogte in het gewas tot op ca. 150 cm boven de mat waar te nemen. Daarna was de afname in lichtintensiteit tot op de mat minder snel, waarschijnlijk door de invloed van de tussenbelichting.

2.2.5 Lichtreflectie



Figuur 6. Lichtreflectie gemeten boven het gewas in de behandeling Diff hybr.

Met alleen de lampen aan werd de reflectie van het (lamp)licht vanaf het gewas gemeten in relatie tot de hoeveelheid lamplicht dat op het gewas schijnt (Figuur 6). De puntsensor werd daarbij geïmplementeerd net boven de lamp zodat geen licht van opzij van de puntsensor gemeten kon worden. Er werd zowel gemeten in een pad net onder de lamp als in een pad daar links van. De gemiddelde hoeveelheid licht dat werd gereflecteerd was 7.1% in het pad links van de lamp en 6.9% in het pad onder de lamp. Dat komt goed overeen met de vaak aangehouden mate van lichtreflectie vanaf het gewas van 7%. In beide gevallen valt er enige variatie in de metingen waar te nemen. Dit zal veroorzaakt zijn door de gewasstructuur en positie van de lamp in relatie tot het punt waarop werd gemeten. Het meetpunt beweegt van lamp tot lamp met een regelmatige verandering van lichtintensiteit, maar de gewasstructuur is meer heterogeen van aard, waardoor de reflectie hoger of lager kan zijn op punten relatief dicht bij elkaar.

2.3 Belichting

2.3.1 Planning en uitvoering belichting

Voor de teelt bij het Improvement Centre is een teeltplan gemaakt en besproken op 17 augustus 2012 (Bijlage III). Daarin is gewerkt met de volgende uitgangspunten:

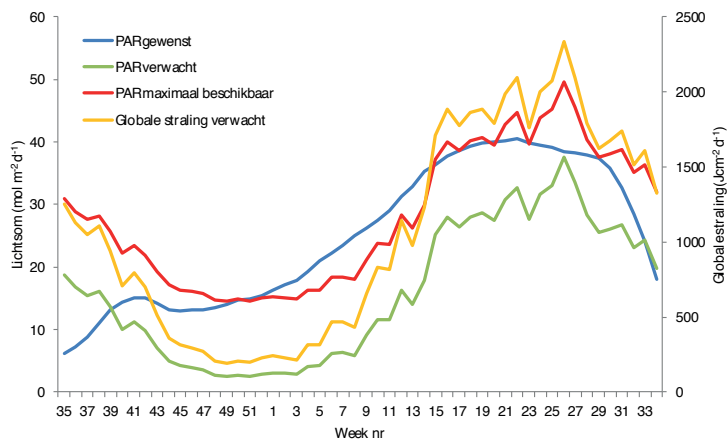
- Plantdatum 30 augustus 2012;
- Start met een bloeiende plant, die direct kan zetten;
- Stengeldichtheid bij start 2.5 stengels m^{-2} ;
- Eind december wordt een extra stengel aanhouden bij 1 op de 4 stengels om naar 3.125 stengels m^{-2} te gaan;
- Eind februari wordt een extra stengel aangehouden bij 1 op de 4 stengels om naar 3.75 stengels m^{-2} te gaan;
- Starten met 5 vruchten per tros, en in oktober/ november gedurende 6 weken snoeien op 4 vruchten per tros, daarna weer op 5 wanneer het licht het toelaat. Als er extra stengels worden bijgemaakt de hoofdstengel snoeien op 4 vruchten. De eerste 2 trossen op de bijgemaakte stengel snoeien op 4 vruchten;
- Toppen op 15 juli 2013.

De geschatte productie volgens deze planning is 82.5 kg m^{-2} waarvan 9 kg m^{-2} in de laatste twee weken.

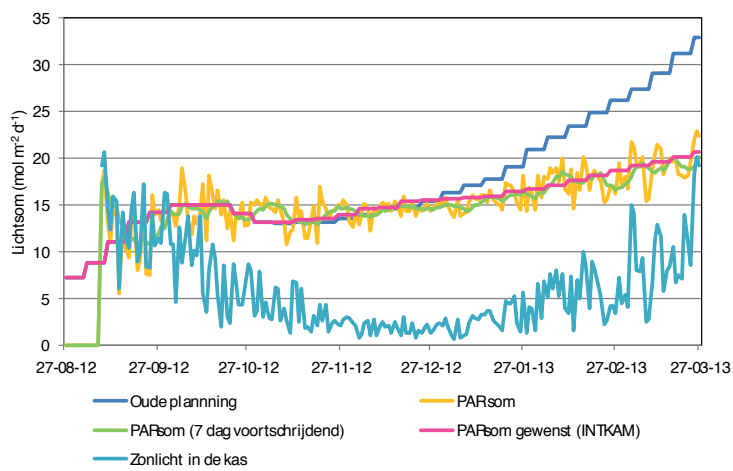
Voor de afdelingen bij Wageningen UR is vanwege de aangenomen lagere lichttransmissie van de afdelingen, in de loop van de teelt gekozen voor een lagere stengeldichtheid. In plaats van een dief aanhouden op 1 op de 4 stengels werd een dief op 1 op de 6 stengels aangehouden. Hierdoor kwam de plantdichtheid op het eind van de teelt op 3.3 stengels m^{-2} uit. Met de gegevens van het teeltplan (Bijlage II) is een simulatie gemaakt met INTKAM om de sinksterkte van het gewas te berekenen. Aangenomen is dat de kasttemperatuur op 19.5 °C wordt gehouden en dat bij veel instraling een normale ventilatiestrategie wordt gebruikt. De berekende sinksterkte is vervolgens gebruikt om de lichtbehoefte van het gewas te berekenen om daarmee het aantal belichtingsuren, om op deze wijze te kunnen sturen op de gewenste lichtsom.

Figuur 7 geeft de resultaten van deze berekening weer, zowel uitgedrukt in PAR ($\text{mol } m^{-2} d^{-1}$) als in globale straling ($J m^{-2} d^{-1}$). Bij de start van de teelt werd niet opgemerkt dat de stralingsbehoefte voor de zomer té hoog ($> 30 \text{ mol } m^{-2} d^{-1}$) was berekend. Dit komt doordat INTKAM een hogere sinksterkte berekent dan werkelijk het geval is in de vorm van assimilatenpool. In december is hier handmatig voor gecorrigeerd. Daarbij is gelijktijdig rekening gehouden met een aangepast teeltplan zoals dat tot dan toe gerealiseerd was door de ontwikkeling van de plant en omgezet in stengeldichtheid en snoeibeleid.

In Figuur 8 is de gewenste en gerealiseerde lichtsom per dag weergegeven voor de teelt bij Wageningen UR Glastuinbouw in de afdeling met hybride belichting (Dir hybr). Uit de grafiek van de realisatie blijkt dat er eind september een té lage lichtsom werd gerealiseerd. Er had toen al belicht mogen worden, terwijl dit niet is gebeurd. Daarna is er steeds volgens de gewenste lichtsom gewerkt. In april is met INTKAM het gewenste licht weer berekend waarbij het teeltplan was aangepast aan het gerealiseerde teeltplan (Figuur 9). Bij deze herberekening blijkt dat de sinksterkte als maat voor de gewenste lichtsom in het begin van de teelt is onderschat en bij een producerend gewas wordt dat overschat. Dit is voor het doel van INTKAM, voorspelling van de productie geen probleem, maar een beperking voor het gebruik van INTKAM als input gegeven voor de gewenste lichtsom.



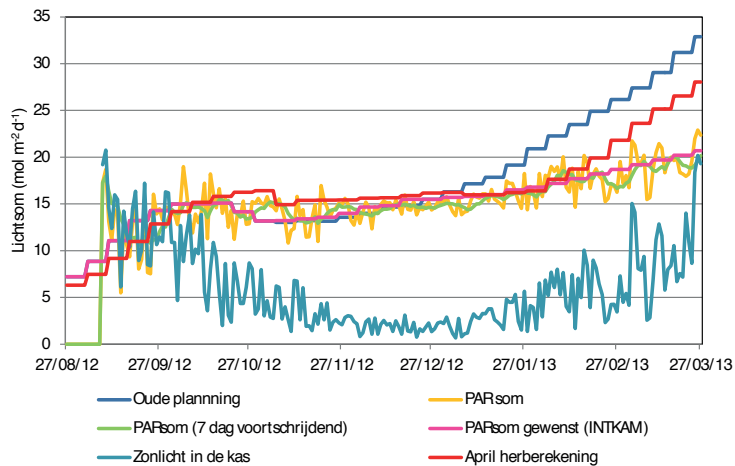
Figuur 7. Planning van de lichtbehoefte in het teeltplan.



Figuur 8. De gewenste en gerealiseerde lichtsom per dag weergegeven voor de teelt behandeling 'Dir hybr' bij Wageningen UR Glastuinbouw.



Foto 3. Hybride belichtingsysteem.



Figuur 9. De gewenste en gerealiseerde lichtsom per dag weergegeven voor de teeltbehandeling 'Dir hybr' bij Wageningen UR Glastuinbouw, waarbij het teeltplan was aangepast aan het gerealiseerde teeltplan.

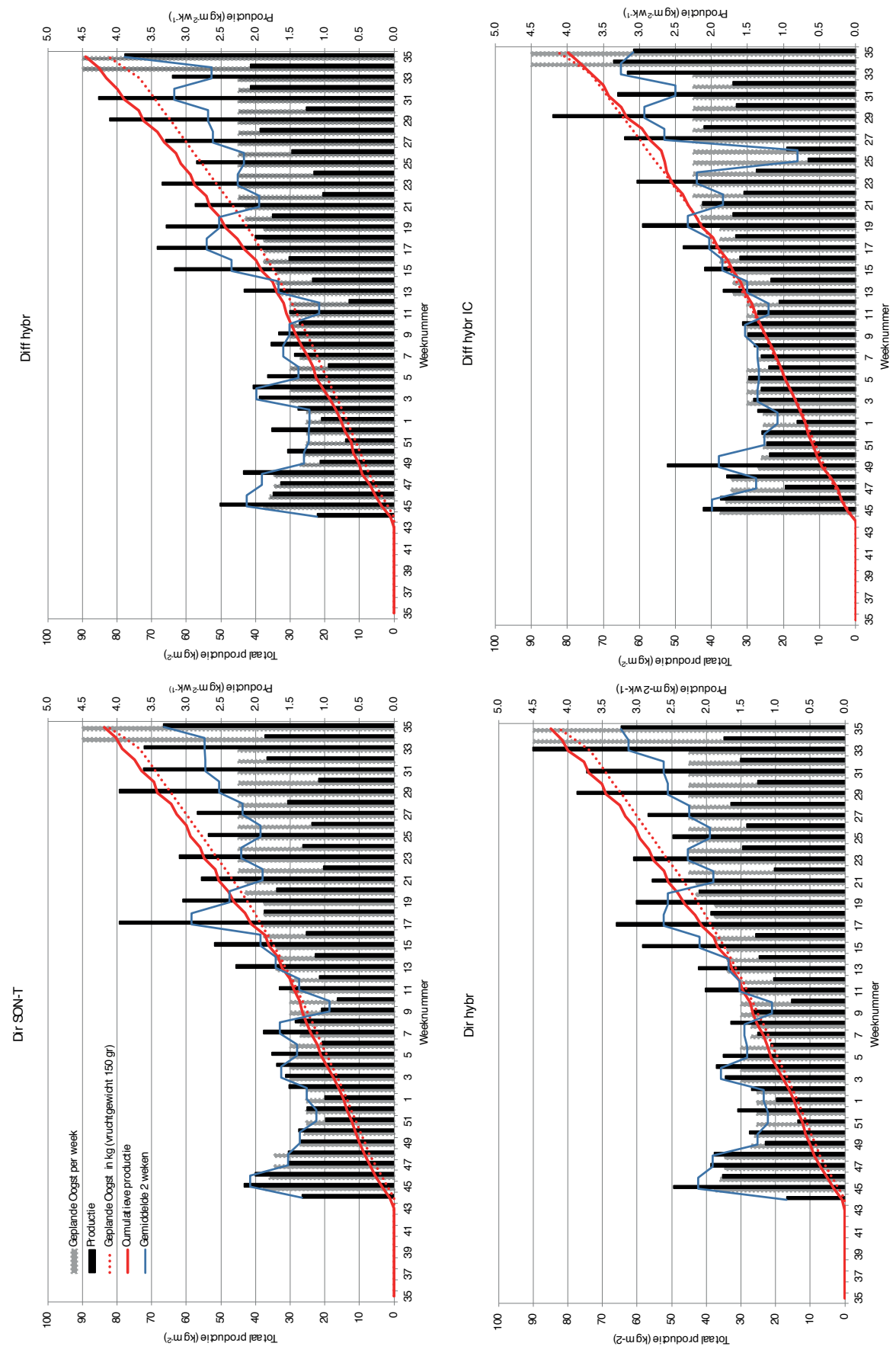
Bij het IC is de realisatie van de werkelijke lichtsom in de kas minder betrouwbaar omdat in het begin van de teelt de gegevens van de PAR sensor ontbrak en toen de meter wel functioneerden er twijfels ontstonden over de gemeten lichtopbrengst. Voor het belichtingsplan zijn er een aantal leerpunten uit dit experiment naar voren gekomen:

- Gegeven een teeltschema is de berekening van de gewenste lichtsom met INTKAM goed te doen;
- Bij de omrekening van de gesimuleerde sinksterkte naar gewenste lichtsom moeten de resultaten van INTKAM worden gecorrigeerd, omdat INTKAM een té grote sinksterkte berekent als het licht toeneemt;
- Een correcte PAR meting in de kas is essentieel voor een goede belichtingsstrategie;
- De berekende gewenste lichtsom moet tijdens de loop van de teelt worden aangepast aan de gerealiseerde ontwikkeling van het gewas.

Van alle afdelingen is de gerealiseerde productie per week/twee weken uitgezet tegen de geprognostiseerde productie (Figuur 10). Die blijkt bij Wageningen UR in de tijd redelijk te kloppen met de prognose, ondanks het aangepaste teeltplan. De productie bij IC wijkt af van de planning door de mindere groei vooral in het begin van de teelt en door het verwijderen van een tros in het vroege voorjaar.

2.3.2 Realisatie belichting

De belichting is in elke behandeling in 2 groepen aangelegd, één voor de bovenbelichting (SON-T) en één voor de tussenbelichting (LED) bij de hybride belichtingssystemen. In de Dir SON-T behandeling werd de belichting ook in 2 groepen in dambord patroon aangelegd, zodat er in alle gevallen indien gewenst met de helft van de lampen belicht kon worden.

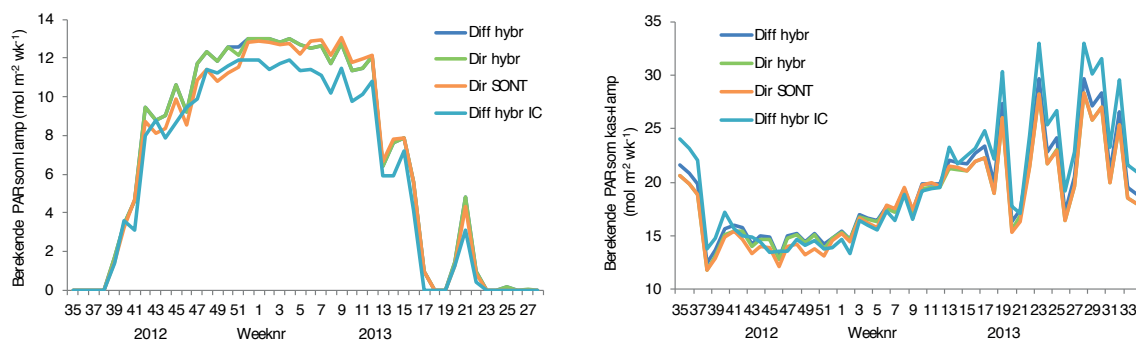


Figuur 10. De gerealiseerde productie uitgezet tegen de prognose voor de productie in de 4 behandelingen.

Tabel 1. Het aantal gebruikte lampuren per maand en in totaal door boven- en tussenbelichting bij de hybride belichtingssystemen. De bovenbelichting bij SON-T is samengesteld uit 2 groepen, die in dambord patroon onafhankelijk van elkaar aangeschakeld zijn.

	Dir SON-T		Dir hybr		Diff hybr		Diff hybr IC	
	Toplicht1	Toplicht2	Toplicht	Tussenlicht	Toplicht	Tussenlicht	Toplicht	Tussenlicht
Sept	38	38	0	39	0	39	0	43
Okt	338	264	232	339	232	339	303	240
Nov	417	417	390	417	390	417	415	375
Dec	495	490	478	471	478	479	489	481
Jan	519	511	492	485	492	485	484	478
Febr	486	448	413	437	413	437	400	428
Maart	492	445	408	443	408	443	381	414
April	173	148	141	158	141	158	132	139
Mei	100	100	26	100	26	100	14	75
Juni	0	0	0	3	0	3	0	0
Totaal	3057	2861	2580	2893	2580	2899	2620	2674

In Tabel 1 wordt het aantal lampuren weergegeven per maand voor de boven- en tussenbelichting en voor beide delen van de SON-T belichting bij Dir SON-T. De lampen in Dir SON-T hebben de meeste uren gebrand, omdat de totale lichtintensiteit wat lager bleek te zijn dan in de hybride behandelingen en deze hebben langer gebrand om dat te compenseren (voor het lampschema WUR zie Figuur 5 en voor het IC zie Bijlage IV). In het voor- en najaar (oktober, februari, maart en april) werd vaker de helft van de SON-T belichting aangezet bij Dir SON-T dan de SON-T belichting bij de hybride systemen. In alle hybride behandelingen werden de SON-T lampen minder gebruikt (eerder uitgezet) dan de LED tussenbelichting. Dit kwam vooral voor op relatief zonnige dagen waarin de kasluchttemperatuur anders té hoog dreigde op te lopen. Waarschijnlijk door de hogere lichttransmissie van de kas bij het IC, zijn er daar minder belichtingsuren gemaakt. Dat is zichtbaar gemaakt in Figuur 11 links en Bijlage V. Er was voldoende licht om aan de gewasbehoefte te voldoen en in ieder geval meer licht in de kas dan bij de WUR afdelingen.



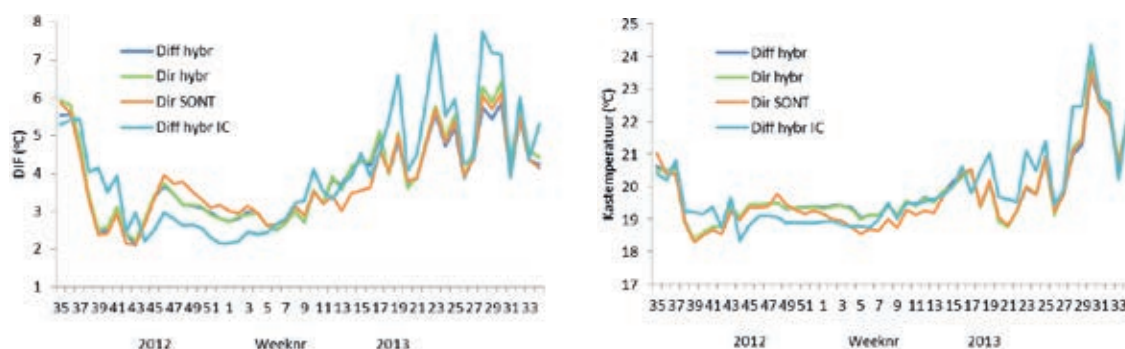
Figuur 11. Berekende hoeveelheid licht (PAR som) afkomstig van de lampen (links) en van de lampen en de zon (rechts).

Goed zichtbaar is dat de lampen rond week 21 weer zijn gebruikt. Dat was een donkere periode met weinig zonlicht en de begeleidingscommissie was van mening dat meer licht nodig was voor het gewas.

In Figuur 11 rechts en in Bijlage II, waarin de PARsom afkomstig van de lampen en de zon wordt weergegeven, is te zien dat het aandeel aan de totale PARsom tijdens het belichtingsseizoen afkomstig van de lampen bedraagt 52-53% bij de WUR afdelingen, en 45% bij Diff hybr IC. Gedurende de hele teelt hebben de belichtingssystemen ca. 30% van de totale lichtsom geleverd. Het is duidelijk te zien dat er bij het IC, vooral vanaf ca. week 13 meer licht in de kas komt. Dat is een gevolg van de ca. 10% hogere lichttransmissie van het kasdek bij het IC.

2.4 Klimaatregistratie

Klimaatgegevens zijn per 5 minuten verzameld en samengevat in onderstaande figuren. In de eerste 2 weken van de teelt is er bij het IC een iets lagere temperatuur aangehouden dan bij WUR (Figuur 12). In de volgende 3 weken was de temperatuur bij het IC juist hoger en vanaf week 44 t/m week 6 was de temperatuur ongeveer 0.5 °C lager dan bij WUR. Deze lagere temperatuur is ingesteld omdat het gewas er erg zwak generatief bij stond, met o.a. een dunne kop. Vanaf week 7 is de etmaaltemperatuur met 19.5 à 20 °C op beide proefplaatsen ongeveer gelijk. Met het aanbreken van het voorjaar is de kasluchttemperatuur in alle behandelingen hoger geworden. Met meer zonlicht en een hogere kasdektransmissie bij het IC is de temperatuur daar consistent hoger geweest dan bij WUR. In de SON-T kas is vanaf ongeveer week 1 tot week 13 een wat lagere temperatuur aangehouden t.o.v. de andere kassen bij WUR, omdat het gewas bij Dir SON-T aan de zwakke kant was.

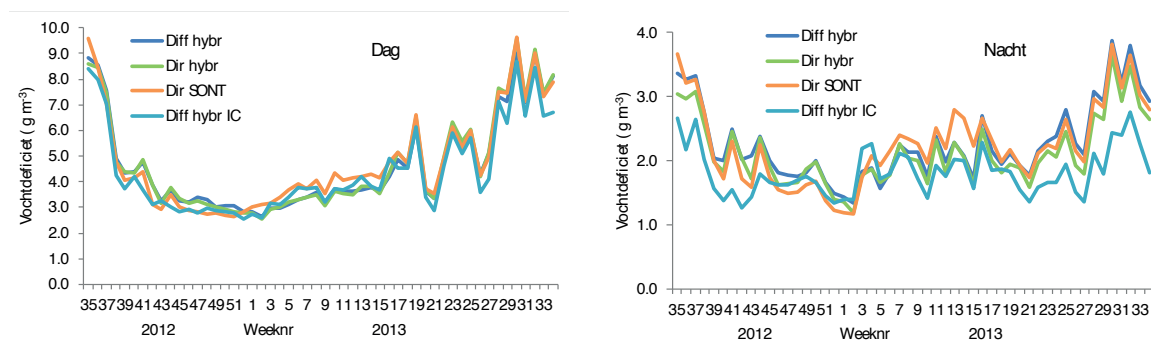


Figuur 12. Gemiddelde etmaaltemperatuur (°C) links, met de bijbehorende DIF in de kas, rechts.

Om meer gewasgroei te verkrijgen is op het IC de DIF vanaf week 39 t/m week 52 verkleind. Vervolgens liep de DIF bij het IC in vergelijking met die bij WUR met ingang van maart hoger op. De DIF in deze teelten was lager dan in het jaar hiervoor. Dit geldt met name voor het IC waar de DIF in voorgaande najaren/winter als volgt was: DIF 3-4 in 2010/11 (Dueck *et al.* 2013) en DIF 5 in 2011/2012 (Dueck *et al.* 2012).

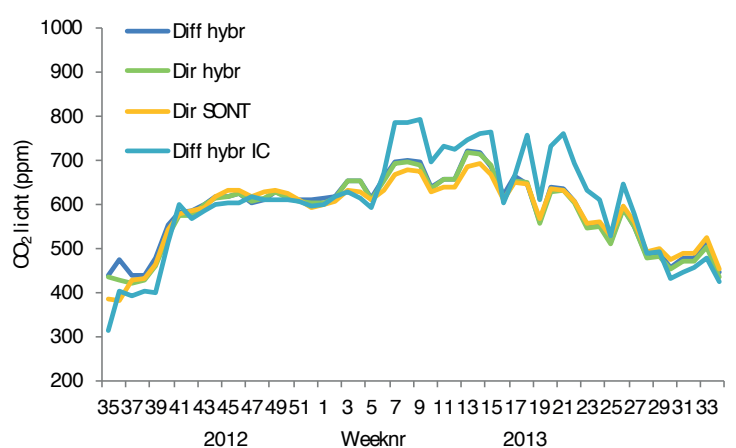
Het gemiddelde vochtdeficiet was overdag (uren met licht) in alle behandelingen nagenoeg gelijk (Figuur 13 links). Tijdens de nachtelijke uren waren er wel wat verschillen waarneembaar. Gedurende de eerste weken was het vochtdeficiet wat lager bij het IC, maar vanaf week 45 was het goed vergelijkbaar met de behandelingen bij WUR. Na week 8 is het weer lager geworden bij het IC en is lager gebleven gedurende de resterende maanden van de teelt. Op het IC is daar bewust naar toegestuurd om te proberen de groei te stimuleren.

Vanaf januari t/m maart was het vochtdeficiet bij Dir SON-T net iets hoger dan bij de overige behandelingen. Dit heeft geduurd tot week 17, waarna het gelijk aan de behandelingen met hybride belichting is gebleven. Waarschijnlijk was het hogere vochtdeficiet in deze periode het gevolg van het zwakkere gewas.



Figuur 13. Gemiddeld vochtdeficiet ($g\ m^{-3}$) overdag en 's nachts.

Eén van de doelstellingen van het project was net als in het voorgaande seizoen te telen met minder CO₂. Daar was de CO₂-concentratie gemonitord, maar was het niet mogelijk om de gedoseerde hoeveelheid CO₂ in kaart te brengen. Dat is nu wel gebeurd.



Figuur 14. Gemiddelde dag CO₂-concentratie (ppm) overdag in de kaslucht.

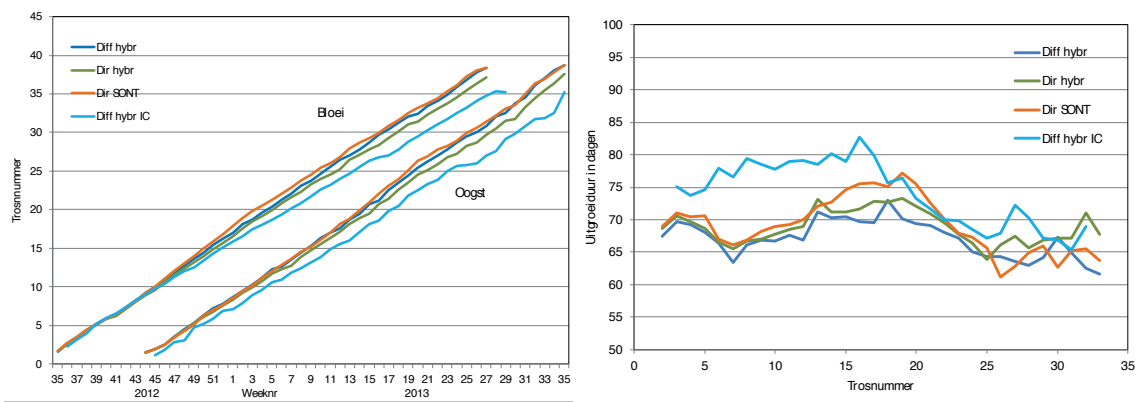
De gemiddelde CO₂-concentratie in de kas, weergegeven in Figuur 14, was tot week 7 in alle behandelingen nagenoeg gelijk. Dit was ook het geval bij de 3 behandelingen bij WUR gedurende de hele teelt. Bij het IC is echter in week 6 besloten om de CO₂-concentratie te verhogen naar 800 ppm bij meer dan 300 W cm⁻² instraling. Bij WUR werd deze meer afhankelijk gemaakt van het instralingsniveau en het ventilatievoud om het CO₂-gebruik beperkt te houden. Dat is goed te zien in Figuur 14 waar vanaf week 6 het gemiddelde CO₂-niveau bij het IC omhoog is gegaan naar ca. 750 ppm. Verrassend was dat dat geen invloed had op de hoeveelheid gedoseerde CO₂ in de kas (Tabel 2). Voor alle behandelingen werd 28-31 kg CO₂ m⁻² verbruikt, met de laagste hoeveelheid (28 kg m⁻²) bij het IC. Hiermee is de doelstelling in alle behandelingen gehaald en hiermee is gebleken dat er goed geteeld kan worden met minder CO₂.

Tabel 2. Hoeveelheid CO₂ (kg) gedoseerd per maand per behandeling.

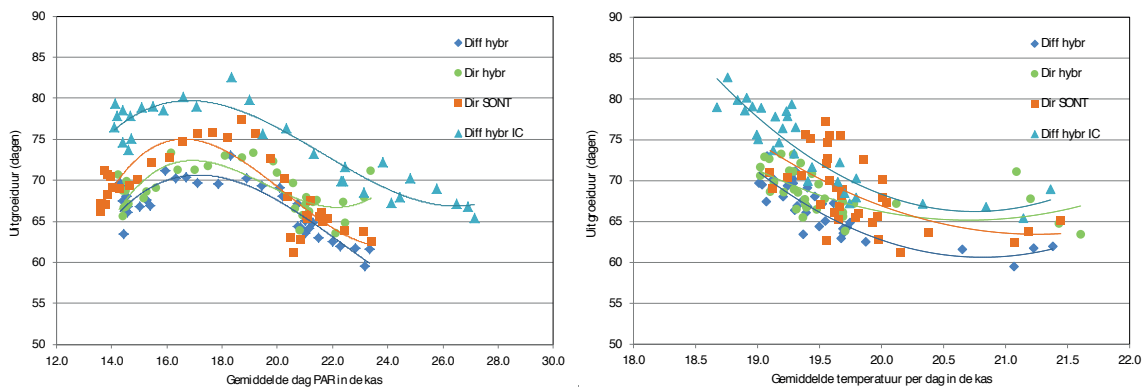
	Dir SON-T	Dir hybr	Diff hybr	Diff hybr IC
Sept	0.4	0.4	0.5	0.5
Okt	2.3	2.5	2.3	1.8
Nov	1.2	1.4	1.4	1.1
Dec	1.3	1.4	1.3	1.0
Jan	1.2	1.2	1.1	1.0
Febr	1.5	1.5	1.4	1.5
Mrt	2.0	1.9	1.8	2.0
April	3.1	3.1	3.0	2.8
Mei	3.7	3.8	3.6	4.0
Juni	5.1	5.2	5.1	4.7
Juli	6.3	6.4	6.2	5.2
Aug	2.5	2.5	2.5	2.5
Totaal	30.5	31.2	30.2	28.1

2.5 Uitgroeiduur

Gedurende de hele teelt is de ontwikkeling van de vruchten gemonitord en geanalyseerd in relatie tot het belichtingssysteem waaronder de vruchten groeiden. In Figuur 15 links worden de bloei- en oogstdata van alle trossen weergegeven. Daarin is te zien dat de meeste trossen zijn aangemaakt en geoogst in de Dir SON-T en Diff hybr behandelingen, gevolgd door Dir hybr en dan Diff hybr IC. Als belangrijkste reden dat er minder trossen zijn aangemaakt en geoogst bij het IC is de lagere kasttemperatuur vanaf eind oktober t/m half februari (Figuur 12). Daarnaast is er rond week 23 een tros verwijderd om het gewas meer vegetatief te laten groeien. De uitgroeiduur van de trossen bij het IC, vooral de eerste 16-18 trossen verliep langzamer dan bij WUR, met een uitgroeiduur van 75-80 dagen tegenover 65-75 dagen bij WUR (Figuur 15 rechts). De uitgroeiduur in het belichtingsseizoen verliep vooral bij tros 15-22 langzamer, waarna het versnelde tot ca. 65 dagen. Als de uitgroeiduur bij Diff hybr wordt vergeleken met die van Dir hybr, dan is deze ondanks een gelijke gemiddelde etmaaltemperatuur, vrijwel steeds iets korter (Figuur 15 rechts). Mogelijk is dit een effect van het diffuse glas, veroorzaakt doordat er meer licht en warmte dieper in het gewas komt waar de (af)rijpende vruchten zich bevinden, omdat dit ook al eerder in een onbelichte teelt is gevonden (Dueck *et al.* 2012).



Figuur 15. Bloeitijd en oogsttijd per tros (links) en de uitgroeiduur per tros (dagen) rechts.

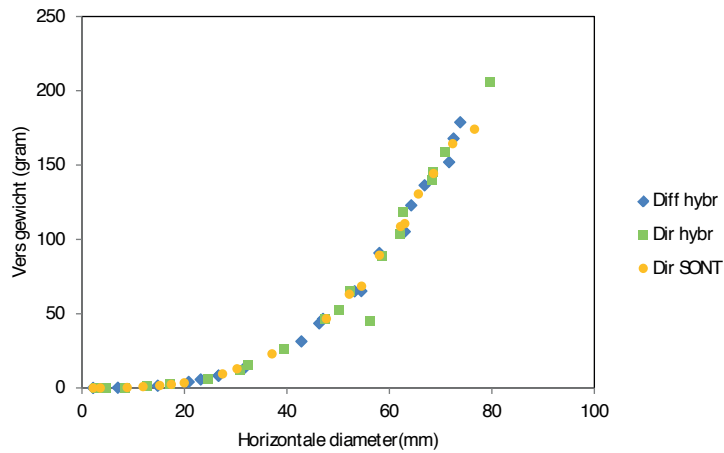


Figuur 16. De uitgroeiduur per tros in relatie tot de gemiddelde lichtintensiteit (links) en de gemiddelde temperatuur (rechts) tijdens de periode bloei tot oogst.

De uitgroeiduur wordt vooral bepaald door de temperatuur en gezien het verschil in kasluchttemperatuur tussen de behandeling bij het IC (Diff hybr) en de behandelingen bij WUR (Figuur 12), lijkt dat inderdaad zo te zijn. Dit wordt bevestigd door het beeld gevormd in Figuur 16. In de linker figuur wordt de uitgroeiduur gerelateerd aan de gemiddelde PAR som per dag over de dagen van uitgroei van bloei tot oogst. Daarin zijn de punten in de grafiek gespreid over de PAR som en niet geclusterd bij de hoogste of laagste PAR som. Dat is veel meer het geval bij Figuur 16 rechts, waar de punten per behandeling gegroepeerd zijn, met de langste uitgroeiduur in dagen bij Diff hybr IC en het minste aantal dagen bij Diff hybr. Dir hybr en Dir SON-T zitten hier tussenin.

2.6 Uitgroei van vruchten i.r.t. belichting

Bij de metingen van de uitgroei van de vruchten, uitgevoerd in het kader van haar Bachelor Thesis, is door Janneke Grit eerst naar een relatie tussen de vruchtdiameter en het vruchtgewicht gezocht (Grit, 2013). Daarvoor is gekozen om de horizontale vruchtdiameter van de tweede vrucht op de tros te nemen in relatie tot het versgewicht. In Figuur 17 is de relatie weergegeven voor de 3 behandelingen bij WUR.

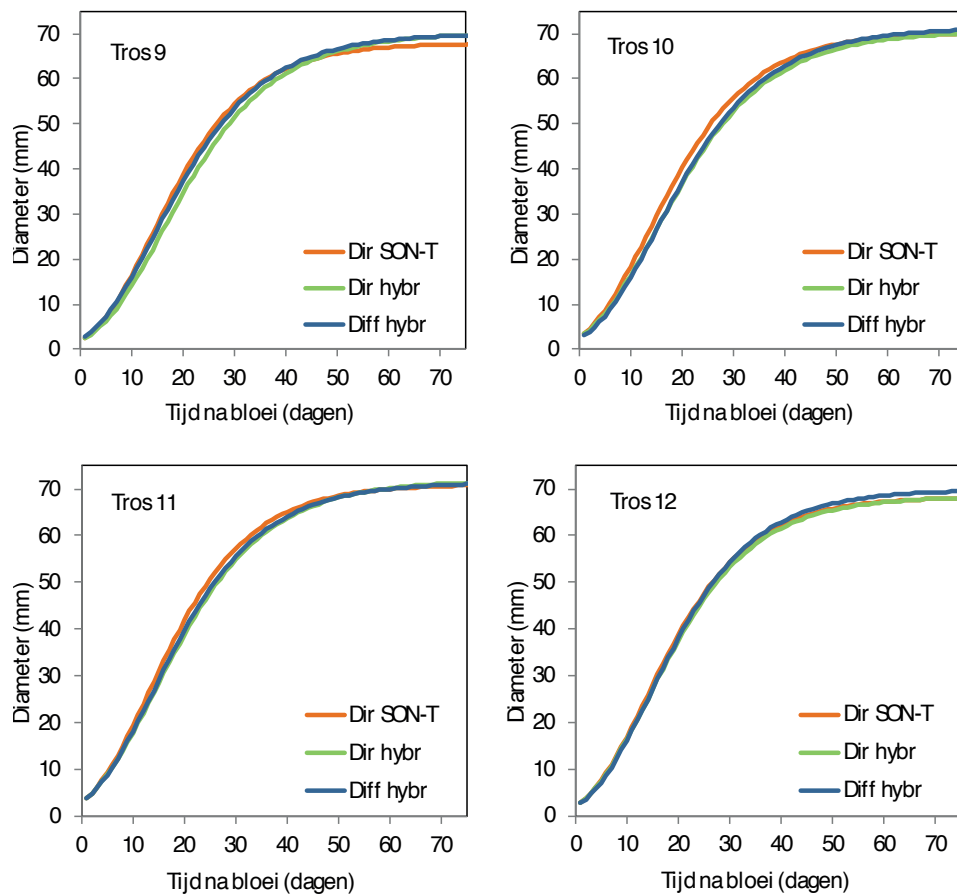


Figuur 17. Relatie tussen het versgewicht en diameter van vruchten onder 3 belichtingssystemen.

De relatie vertoont een exponentiële curve met een bijna lineaire relatie tussen diameter en versgewicht bij vruchtgewichten boven 55 g. Hiermee komen de groeicurves (vruchtdiameter) voor 4 trossen per belichtingssysteem vrijwel overeen met de versgewichten, in ieder geval in de laatste helft van de uitgroeiperiode.



Foto 4. Vruchtontwikkeling naast de tussenbelichting.



Figuur 18. Vruchtgroei van 4 trossen in de Dir SON-T, Dir hybr en Diff hybr behandelingen in de tijd.

In Figuur 18 zijn de curves voor de diameter-toename in de tijd gegeven voor 4 trossen in 3 behandelingen. Er is enkele dagen na de bloei gestart met de metingen, omdat de vruchtjes eerder té klein waren om een betrouwbare meting uit te voeren. Daarom zijn de curves niet door nul getrokken. Vruchtdiameters zijn elke 3 dagen gemeten en met die data zijn de lijnen gefit met Genstat. Na ongeveer 5 dagen neemt de groeicurve een exponentiële vorm aan en na 30-40 dagen begint deze weer af te vlakken. Vervolgens zijn de gefitte lijnen getoetst op significante verschillen tussen de behandelingen op basis van 3 parameters (Tabel 3). Voor géén van de 3 behandelingen is er een significant verschil in einddiameter gevonden. Het grootste gemiddelde verschil in diameter was 2.3 mm in tros 9, maar bleek toch niet significant te zijn. Voor een uitgebreide beschrijving zie Grit (2013).

Tabel 3. Invloed van lichtbehandelingen op parameters van vruchtgroei. Diameter van de vrucht (mm), groei van de vrucht (mm dag⁻¹) en tijd tot omslagpunt van de groeicurves in Figuur 18. Verschillende letters geven het verschil per tros tussen behandelingen aan, LSD=0.05.

		Behandelingen		
		Dir SON-T	Dir hybr	Diff hybr
Diameter (mm)	9 ^e tros	67.9 ^a	70.2 ^a	70.0 ^a
	10 ^e tros	70.4 ^a	70.5 ^a	71.3 ^a
	11 ^e tros	71.0 ^a	71.8 ^a	71.4 ^a
	12 ^e tros	68.3 ^a	68.4 ^a	69.8 ^a
Groei (mm dag ⁻¹)	9 ^e tros	0.093 ^c	0.082 ^a	0.085 ^b
	10 ^e tros	0.088 ^b	0.081 ^a	0.083 ^{ab}
	11 ^e tros	0.090 ^b	0.082 ^a	0.085 ^a
	12 ^e tros	0.090 ^a	0.087 ^a	0.088 ^a
Tijd tot omslag (d)	9 ^e tros	13.8 ^a	15.8 ^b	14.6 ^a
	10 ^e tros	13.4 ^a	14.7 ^b	14.9 ^b
	11 ^e tros	12.9 ^a	14.0 ^b	13.7 ^b
	12 ^e tros	13.7 ^a	14.1 ^a	14.3 ^a

Er waren wel consequente verschillen in groeisnelheid. Alle trossen bij de Dir SON-T behandeling groeiden het snelst (mm dag⁻¹), gevolgd door Diff hybr en daarna Dir hybr. Al groeiden ze sneller, de einddiameter en dus het versgewicht van deze tomaten, was niet significant verschillend van de overige behandelingen. Ook de tijd tot omslag, d.w.z. de groei tijdens het eerste deel van de uitgroei, was het kortst bij Dir SON-T. Dat zou mogelijk kunnen liggen aan het feit dat de warmte van het grotere aantal SON-T lampen boven het gewas de groeisnelheid stimuleerde. Deze analyse komt overeen met de indruk dat de vruchten bij de hybride belichting iets later groot worden dan die bij de SON-T belichting.

2.7 Productie

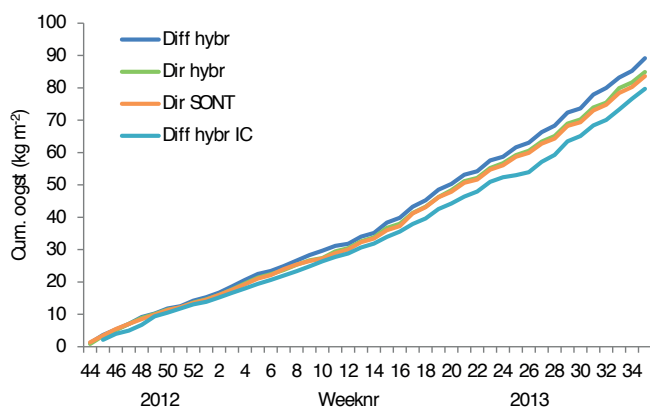
2.7.1 Vruchtgewichten en -aantallen

Zoals eerder opgemerkt bij Figuur 14, werd het aantal geogste trossen beïnvloed door de behandelingen. De behandelingen (belichtingssystemen) bepaalden dan ook alle productieparameters. Het gewas onder een diffuus kasdek met hybride belichting bij WUR produceerde samen met de Dir SON-T behandeling, de meeste trossen (Tabel 4). Bij Diff hybr werden de meeste vruchten per m² geproduceerd en ook de meeste kilo's per m². Het aantal trossen bij het IC (Diff hybr IC) was met 35.2 trossen het laagst en mede daardoor produceerde deze kas ook veel minder vruchten per m². De vruchten in deze behandeling waren gemiddeld wel zwaarder, met 172 g in vergelijking met de overige behandelingen (159-164 g). Dit had uiteraard gevolgen voor de productie met in totaal 80-89 kg per m², die de doelstelling voor productie overtrof. Alleen bij Diff hybr IC werd de doelstelling niet gehaald. Vooraf was daar uitgegaan van een productie van 82.5 kg m⁻².

Tabel 4. Productieparameters van de teelt: aantal trossen, aantal vruchten, gemiddeld vruchtgewicht (g) en totaalproductie (kg m²).

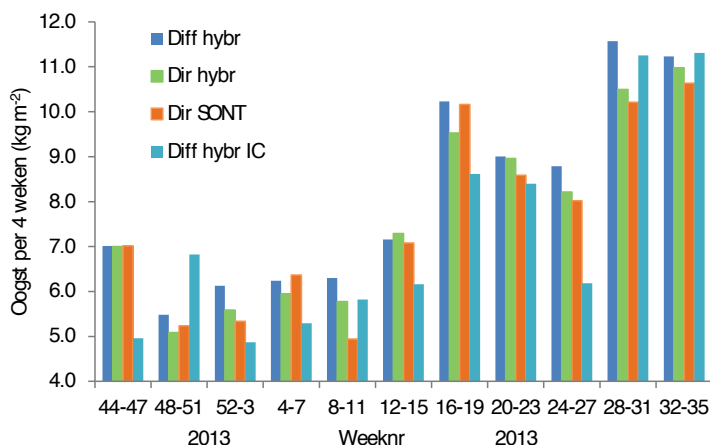
	Dir SON-T	Dir hybr	Diff hybr	Diff hybr IC
Aantal trossen per plant	38.7	37.6	38.7	35.2
Aantal vruchten per m ²	529	527	552	466
Gemiddeld vruchtgewicht	159	162	164	172
Productie (kg m ²)	83.6	84.9	89.1	79.7

De productie in de loop van de teelt wordt cumulatief weergegeven in Figuur 19. Vrijwel vanaf het begin van de oogst is de mindere productie bij Diff hybr IC en iets later de meerproductie bij Diff hybr bij WUR te zien. Beide trends hebben zich geleidelijk gedurende de teelt voortgezet. De productie bij Dir hybr en Dir SON-T lagen dicht bij elkaar en de extra kilo bij Dir hybr wordt in de laatste weken pas zichtbaar. De uiteindelijke productie bij Diff hybr, Dir hybr, Dir SON-T en Diff hybr IC was respectievelijk 89.1, 84.9, 83.6 en 79.7 kg/m².



Figuur 19. De cumulatieve productie (kg m²) onder de verschillende lichtregimes.

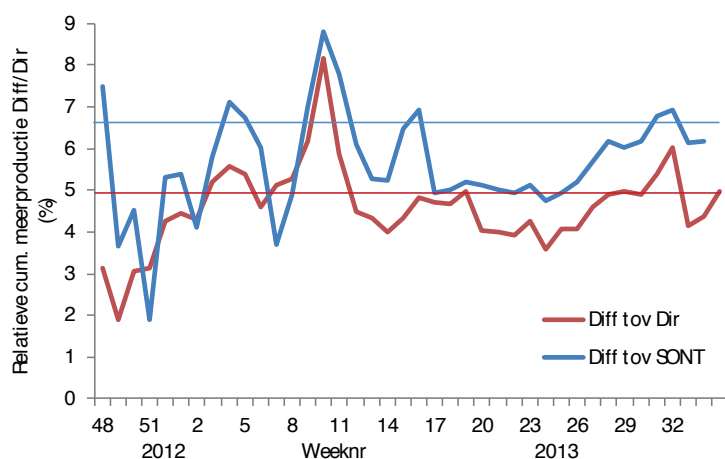
Wanneer de productie wordt uitgezet in 4-weekse periodes, wordt het nog duidelijker. Over het algemeen wordt er telkens meer geoogst bij de Diff hybr bij WUR en minder bij Diff hybr IC (Figuur 20). Daarvoor zijn al eerder in dit rapport de waarschijnlijke oorzaken voor gegeven, namelijk het niet in balans zijn van de plant, een té generatief gewas en later de correctie daarop met het verwijderen van een tros in week 23.



Figuur 20. De 4-weekse productie (kg m²) onder de verschillende lichtregimes.

Wanneer het invloed van het diffuse kasdek op de productie wordt bekeken, valt het op dat in iedere vierweekse periode, met uitzondering van periode week 44-47 en 12-15, er meer tomaten onder diffuus glas werden geoogst dan onder helder glas met hetzelfde hybride belichtingssysteem.

In Figuur 21 is de productie onder diffuus glas over de hele teelt vergeleken met de producties onder helder glas met dezelfde hybride belichting en met SON-T belichting. Het verschil in productie onder diffuus glas en helder glas, afgezien van het belichtingssysteem, is gemiddeld 5% of meer. Er werd 4.9% meer tomaten geoogst onder diffuus glas dan onder helder glas bij hetzelfde belichtingssysteem en 6.6% meer dan onder helder glas en SON-T belichting. Uiteraard komt dit deels doordat er meer licht in Diff hybr is gemeten, maar wat nog meer tot de verbeelding spreekt is het positieve effect van diffuus licht op de productie vanaf het begin van de oogst in het najaar en winter. Ook in de winter, met veel meer bewolkte dagen en dus diffuus licht voor het gewas, is het effect van diffuus glas evident.

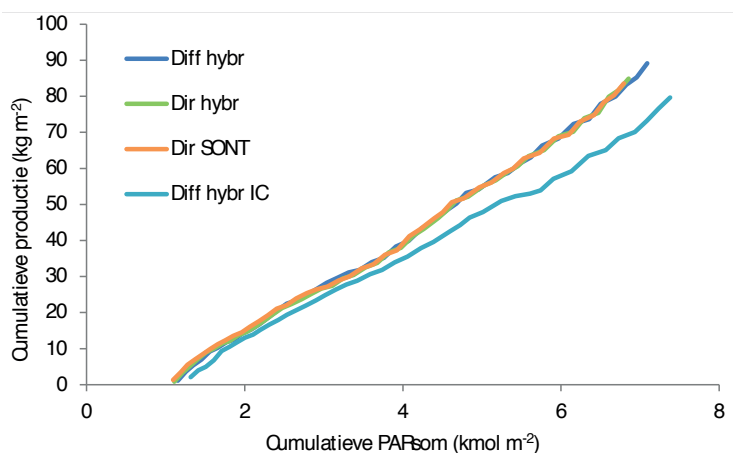


Figuur 21. De cumulatieve meerproductie (%) van Diff hybr ten opzichte van Dir hybr (rode lijn) en Dir SON-T (blauwe lijn).

2.8 Lichtefficiëntie

2.8.1 Lichtefficiëntie tijdens de teelt

De efficiëntie van de belichtingssystemen werd berekend door de cumulatieve productie uit te zetten tegen de totale hoeveelheid zon- en kunstlicht dat het gewas tot dan toe had gekregen (Figuur 22). Daarin is te zien dat bij de hybride belichting onder diffuus glas bij WUR het gewas meer licht heeft gekregen dan de overige behandelingen bij WUR en dat dit tot enkele kilo's meerproductie heeft geleid, ca. 4 kg m⁻² meer dan bij Dir hybr en Dir SON-T. Ook is duidelijk te zien dat het gewas onder Diff hybr bij het IC nog meer licht heeft gekregen, maar dat er beduidend minder is geproduceerd, ca. 10 kg m⁻² minder dan onder Diff hybr bij WUR. Zoals al eerder is gezegd in dit rapport is het achterblijven van de productie bij het IC is grotendeels veroorzaakt door een té generatief gewas dat vervolgens moeilijk in balans te krijgen was. Dit heeft er toe geleid dat de lichtbenutting (efficiëntie) lager is dan voor de overige behandelingen (Tabel 5).



Figuur 22. Cumulatieve productie (kg m^{-2}) in relatie tot zonlicht en lamplicht (PAR, kmol m^{-2}) tijdens de teelt.

Uit Figuur 22 en Tabel 5 blijkt ook dat het tussenlicht, uitgedrukt in kg geproduceerde tomaat per mol licht, iets efficiënter is dan alleen SON-T licht van boven. Bij de Diff hybr en Dir hybr belichting werd resp. 300 en 100 g meer geproduceerd per kmol licht dan onder SON-T belichting (Tabel 5). De meerproductie van tomaten onder Diff hybr t.o.v. de overige afdelingen bij WUR lijkt dan ook veroorzaakt te zijn door de gevolgen van diffuus glas: ongeveer twee derde door meer licht (zie Tabel 5) veroorzaakt door een hogere lichttransmissie en een derde door betere kasklimaatcondities als gevolg van diffuus glas (betere horizontale lichtverdeling en hogere lichtonderschepping), waaronder het gewas ook in de winter beter groeide en produceerde.

Tabel 5. Lichtefficiëntie van belichting (SON-T en LED) en zonlicht (PAR som) tijdens de teelt van 30 augustus 2012 t/m 27 augustus 2013.

	PAR som (mol m^{-2})	PAR som lampen	PAR som zon	Productie (kg m^{-2})	Efficiëntie (kg kmol^{-1})
Diff hybr	6958	32%	68%	89.1	12.8
Dir hybr	6727	33%	67%	84.9	12.6
Dir SON-T	6671	32%	68%	83.6	12.5
Diff hybr IC	7231	27%	73%	79.7	11.0

2.9 Vruchtkwaliteit

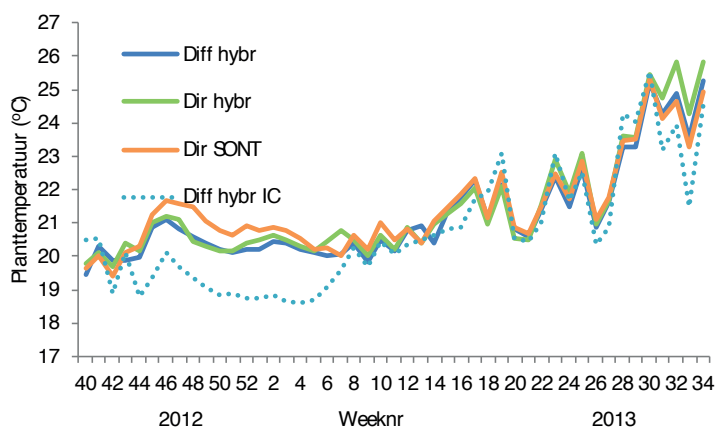
Tabel 6. Gemiddelde vruchtkwaliteit tijdens de teelt tussen 14 november 2012 en 7 juni 2013.

	Behandeling			
	Dir SON-T	Dir Hybr	Diff Hybr	Diff Hybr IC
Houdbaarheid	13.9	14.0	14.0	18.6
%Rot	6.3	3.2	6.8	3.8
Smaak	33	33	32	33
Refractie	3.3	3.3	3.3	3.6
Zuur	5.3	5.7	5.4	5.4
%Sap	31	29	28	29
Vitamine C	16	16	15	15

De kwaliteit van de geproduceerde tomaten was over het algemeen vergelijkbaar onder de verschillende behandelingen (Tabel 6). De cijfers voor de smaak, refractie, zuur, %sap en vitamine C gehalte waren nagenoeg gelijk, alleen de houdbaarheid vertoonde een effect van de behandeling (zie ook Bijlage VI). Dat was bij Diff hybr bij het IC, waar de houdbaarheid gemiddeld 5 dagen langer was dan bij de behandelingen bij WUR. Dit is waarschijnlijk het gevolg van het sterk generatieve, open gewas bij het IC. Een effect van het belichtingssysteem of type glas blijkt niet aanwezig te zijn.

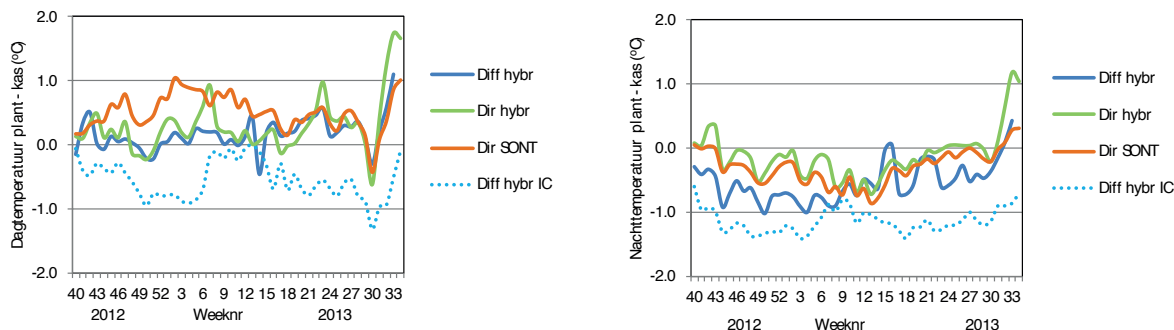
2.10 Planttemperatuur en waterverbruik

De planttemperatuur vertoonde enige schommelingen maar was tot ongeveer week 10 gemiddeld wat hoger onder Dir SON-T (Figuur 23). Bij het IC waren de metingen van de planttemperatuur vooral in het eerste deel van de teelt onbetrouwbaar, vandaar dat deze in Figuur 23 met een stippellijn is aangegeven. Tijdens de wintermaanden heeft de SON-T belichting een positief effect gehad op de gewastemperatuur. In november/december was het gewas ca. 1 °C warmer dan in de overige behandelingen bij WUR, waarschijnlijk met als gevolg verhoging van de verdamping en invloed op het aantal bladrandjes. Vanaf januari is het verschil tussen de behandelingen verdwenen.



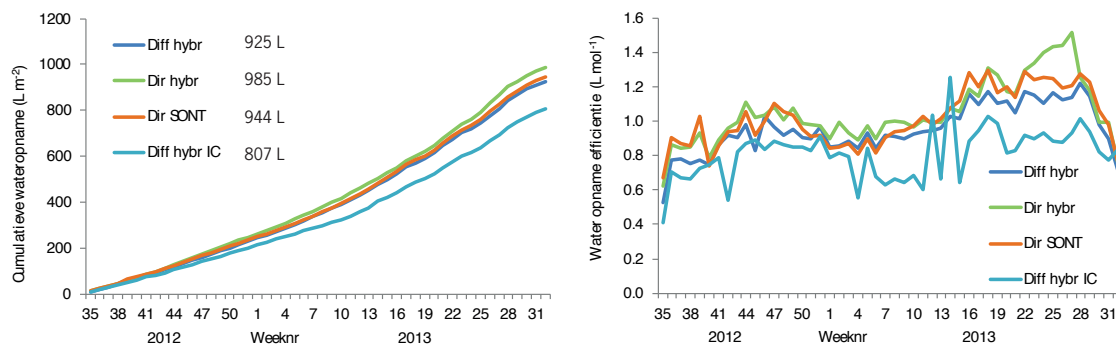
Figuur 23. Planttemperatuur (°C) gemeten tijdens de teelt.

Het verschil in planttemperatuur i.r.t. de kasluchttemperatuur kan belangrijk zijn. In Figuur 24 is te zien dat er op het IC na, overdag een hogere planttemperatuur dan luchttemperatuur heerst en 's nachts 0 tot ongeveer 1.4 °C lager is 's nachts. Het grootste verschil is bij het IC en de laagste bij Dir SON-T en Dir hybr. Waarschijnlijk geeft de planttemperatuurmeter echter bij het IC een te lage waarde aan.



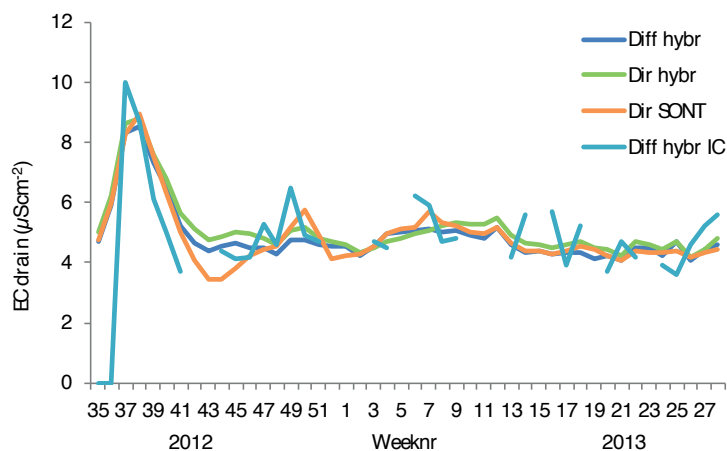
Figuur 24. Het verschil in planttemperatuur t.o.v. de kasluchttemperatuur (°C) overdag (links) en 's nachts (rechts).

De hoeveelheid water die het gewas nodig heeft gehad, is weergegeven in Figuur 25. De cumulatieve wateropname (links) laat zien dat het minste water werd opgenomen door het gewas onder Diff hybr bij het IC. Er is al eerder aangegeven dat er op het IC een lagere etmaaltemperatuur werd gehanteerd (Figuur 12), dan bij WUR en ook t.o.v. voorgaande jaren. Het gewas heeft 4-8% minder licht(som) gekregen als de WUR behandelingen (Figuur 1), mede door minder lampuren (Tabel 1). Toch is het vooral de lange periode met lagere kasttemperatuur en een veel opener gewas met lage LAI die dit heeft veroorzaakt.



Figuur 25. Cumulatieve wateropname ($L \cdot m^{-2}$) tijdens de teelt links. Rechts de efficiëntie van wateropname in liters per mol licht ($L \cdot mol^{-1}$) gedurende de teelt.

Bij WUR is een hogere wateropname te zien bij Dir hybr, over het algemeen zelfs hoger dan onder 100% SON-T belichting met meer stralingswarmte. Dit is niet helemaal te verklaren. Dit kan deels komen doordat in Dir SON-T een langere periode (week 51 t/m 14) een wat lagere temperatuur is gehandhaafd (zie Figuur 12). Onder alleen SON-T was het gewas ook zwakker met meer bladrandjes dan in de kas met diffuus glas, wat effect had op het bladoppervlak en dus ook op de verdamping.



Figuur 26. EC van het drainwater ($MS \cdot cm^{-1}$) gedurende de teelt.

De EC van het drainwater vertoont weinig verschillen bij WUR, met over het algemeen iets hogere EC bij Dir hybr (Figuur 26). Bij deze behandeling was ook de wateropname wat hoger, wat tot een iets hogere EC geleid kan hebben. Er ontbreekt een deel van de waarnemingen bij het IC omdat er minder frequent is bemonsterd, maar ondanks dat lijkt het verloop van het EC daar minder regelmatig te zijn in de tijd.

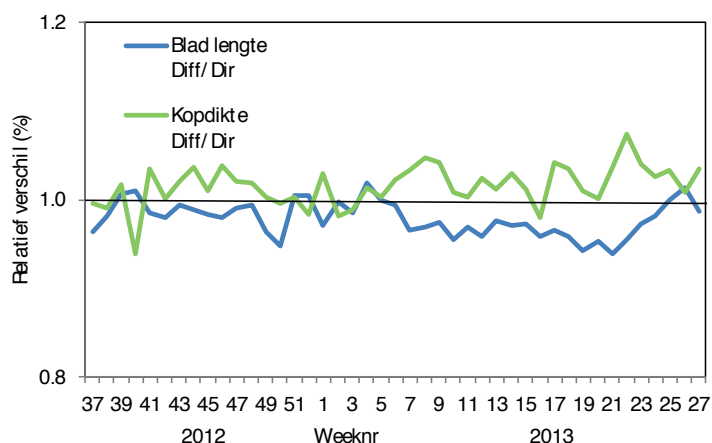
2.11 Plantregistraties en destructieve oogst

Gedurende het hele teeltseizoen zijn er elke week plantregistraties uitgevoerd. Daarin werden ondermeer parameters zoals bladlengte, kopdikte, lengtegroei van de plant, trosbloei, zetting en plantbelasting waargenomen. Deze parameters worden vooral door telers gebruikt om de stand van het gewas, de generativiteit en de aan- en afvoer van assimilaten naar de vruchten te beoordelen. Vooral de bladlengte en kopdikte blijken belangrijke parameters te zijn. Een relatief dikke kop en korter blad zijn indicaties dat het gewas sterk generatief is. In Tabel 7 is de gemiddelde bladlengte, kopdikte en lengtegroei weergegeven.

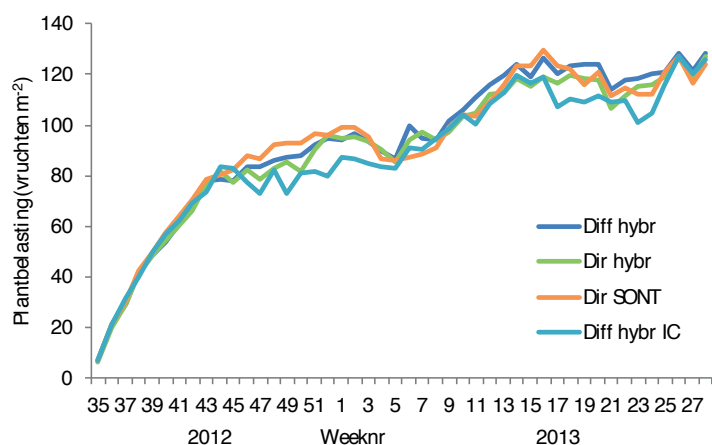
Tabel 7. Gemiddelde bladlengte (cm), kopdikte (mm) en totale lengtegroei (m) van planten gedurende de teeltperiode.

	Dir SON-T	Dir hybr	Diff hybr	Diff hybr IC
Bladlengte (cm)	41.0	43.4	42.5	41.2
Kopdikte (mm)	9.1	9.3	9.5	8.4
Lengtegroei (m)	11.9	12.0	12.0	11.2
Aantal gevormde trossen/stengel	38.4	37.1	38.4	35.2

De bladeren bij Dir SON-T en Diff hybr IC zijn het kortst. De combinatie van korter blad en dikkere kop bij Diff hybr t.o.v. Dir hybr, wijst op een sterker generatief gewas onder diffuus glas. Van de drie behandelingen bij WUR is de kop dunner bij Dir SON-T in vergelijking met de andere afdelingen: het gewas stond hier ook het zwakst. Bij Diff hybr IC was de kop echter nog veel dunner. In het algemeen waren de telers ook van mening dat het gewas bij WUR onder diffuus glas het meest generatief was. Om dit te toetsen is er bij dezelfde hybride belichtingssysteem de relatieve bladlengte, kopdikte en ook de bloeisnelheid onder diffuus glas uitgezet in relatie tot deze parameters onder helder glas (Figuur 27). Daarin is te zien dat gedurende de hele teelt het gewas bij Diff hybr een dikkere kop en kortere blad had t.o.v. onder helder glas. Het beeld bij de bloeiende tros is wat onregelmatig, maar gemiddeld werd er een hogere bloeisnelheid (3.5% meer trossaanmaak per week) waargenomen onder diffuus glas.



Figuur 27. Relatieve bladlengte en kopdikte (%) tijdens de teelt wekelijks gemeten onder hybride belichting met diffuus glas in relatie tot helder glas.



Figuur 28. Plantbelasting (aantal vruchten m²) wekelijks gemeten in de teelt.

Het verloop van de plantbelasting in de tijd, weergegeven in Figuur 28, laat zien dat na week 45 het gewas bij Diff hybr bij het IC een gemiddeld lagere plantbelasting had dan de overige behandelingen. Het gemiddelde vruchtgewicht was met 172 g (Tabel 4) echter doorgaans het hoogst in deze behandeling. In dezelfde periode steeg de plantbelasting bij Diff hybr bij WUR en deze bleef hoog gedurende de hele teelt. Door een hogere bloeiselheid a.g.v. een hogere planttemperatuur bij Dir SONT (zie Figure 23 en 24) is de plantbelasting vanaf week 46 tot week 3 bij deze behandeling wat hoger. Dit gaf een zwakkere plant, waardoor de temperatuur verlaagd moest worden en meer trossnoei is toegepast. Hierdoor werd de plantbelasting in deze afdeling weer wat lager.

De hoeveelheid droge stof in het blad geeft aan hoe de assimilatie van licht wordt omgezet in een kwalitatief sterk gewas. In Tabel 8 wordt het droge stof percentage en het specifieke bladoppervlak (SLA) gedurende het belichtingsseizoen gegeven. De bladlaag bovenin het gewas had doorgaans het hoogste percentage droge stof en de laagste SLA tot aan begin april, waarna ze in alle behandelingen weer bij elkaar kwamen. Het lijkt erop dat onder Dir SONT het blad bovenin, of meer koolstof in het blad zette, of dat de verdamping hoger was en minder vocht in het blad werd vastgehouden. Het feit dat de SLA gedurende het belichtingsseizoen het laagst was onder Dir SONT suggereert een relatief kleiner, dikker blad. Onderin het gewas lijkt het voor wat betreft het droge stof % een tegenovergesteld beeld te geven. Onderin was het blad bij SONT meestal het zwakst en begon eerder te vergelen, wat waarschijnlijk leidde tot een lager droge stof %. Er komt bij alleen SONT immers minder licht onderin en halverwege het gewas dan bij de hybridebelichting. De invloed van de behandelingen op de SLA varieert nogal per analysedatum en er valt geen duidelijke lijn in te ontdekken.

Tabel 8. Percentage droge stof (%) en specifiek bladoppervlak (SLA, $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$) van volgroeide bladeren bovenin (vanaf 6^e blad van boven) en onderin het gewas. Gemiddelde \pm SE, $n=10$.

Datum	Behandeling	Blad bovenin		Blad onderin	
		%DS	SLA	%DS	SLA
27 sept	Dir SON-T	9.0 \pm 0.1	267 \pm 5.3	9.6 \pm 0.1	219 \pm 4.6
	Dir hybr	9.1 \pm 0.1	262 \pm 7.4	9.8 \pm 0.1	228 \pm 6.5
	Diff hybr	9.0 \pm 0.1	245 \pm 5.1	10.3 \pm 0.1	204 \pm 3.7
30 okt	Dir SON-T	10.4 \pm 0.2	192 \pm 5.0	8.0 \pm 0.1	252 \pm 11.8
	Dir hybr	10.1 \pm 0.2	206 \pm 6.8	8.5 \pm 0.1	256 \pm 8.1
	Diff hybr	10.1 \pm 0.1	209 \pm 4.7	8.6 \pm 0.1	247 \pm 3.8
4 dec	Dir SON-T	11.5 \pm 0.3	149 \pm 5.1	8.1 \pm 0.2	243 \pm 9.5
	Dir hybr	9.6 \pm 0.2	194 \pm 4.3	9.3 \pm 0.1	201 \pm 5.8
	Diff hybr	9.4 \pm 0.2	180 \pm 6.0	9.3 \pm 0.1	193 \pm 5.4
17 jan	Dir SON-T	16.5 \pm 0.1	176 \pm 5.9	8.4 \pm 0.1	200 \pm 6.3
	Dir hybr	12.6 \pm 0.1	223 \pm 10.0	9.1 \pm 0.1	181 \pm 3.3
	Diff hybr	12.9 \pm 0.1	193 \pm 4.7	9.0 \pm 0.1	174 \pm 5.1
27 febr	Dir SON-T	14.3 \pm 0.9	124 \pm 10.8	9.3 \pm 0.1	149 \pm 4.3
	Dir hybr	12.1 \pm 0.3	158 \pm 4.2	10.2 \pm 0.2	141 \pm 4.5
	Diff hybr	12.3 \pm 0.6	165 \pm 12.6	10.8 \pm 0.2	117 \pm 4.0
26 mrt	Dir SON-T	14.9 \pm 0.2	123 \pm 4.6	10.1 \pm 0.2	143 \pm 4.3
	Dir hybr	13.9 \pm 0.2	135 \pm 4.1	10.0 \pm 0.2	146 \pm 5.6
	Diff hybr	14.3 \pm 0.4	123 \pm 2.0	10.5 \pm 0.2	139 \pm 4.9
15 mei	Dir SON-T	14.9 \pm 0.3	155 \pm 3.0	10.4 \pm 0.2	153 \pm 5.4
	Dir hybr	13.8 \pm 0.4	156 \pm 3.4	9.7 \pm 0.2	166 \pm 3.6
	Diff hybr	14.0 \pm 0.2	155 \pm 7.4	9.9 \pm 0.2	168 \pm 5.3

De leaf area index (LAI) is ook maandelijks waargenomen (Tabel 9). Daarin valt op dat de LAI bij Dir SON-T in het belichtingsseizoen vaak het laagst was. De LAI was gemiddeld 3, met eind november een uitschieter van boven de 4.

Tabel 9. LAI ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$) gemeten tussen oktober en mei. Gemiddelde \pm SE, $n=3$.

Behandeling	Datum						
	1 okt	30 okt	27 nov	15 jan	26 febr	25 mrt	14 mei
Dir SON-T	2.4 \pm 0.3	3.2 \pm 0.2	3.8 \pm 0.1	3.0 \pm 0.1	2.6 \pm 0.1	2.2 \pm 0.1	2.9 \pm 0.2
Dir hybr	2.1 \pm 0.2	3.3 \pm 0.1	4.5 \pm 0.3	3.1 \pm 0.2	3.3 \pm 0.2	3.0 \pm 0.1	3.4 \pm 0.3
Diff hybr	2.2 \pm 0.1	3.6 \pm 0.0	4.3 \pm 0.2	3.4 \pm 0.2	2.6 \pm 0.2	2.6 \pm 0.2	3.1 \pm 0.2

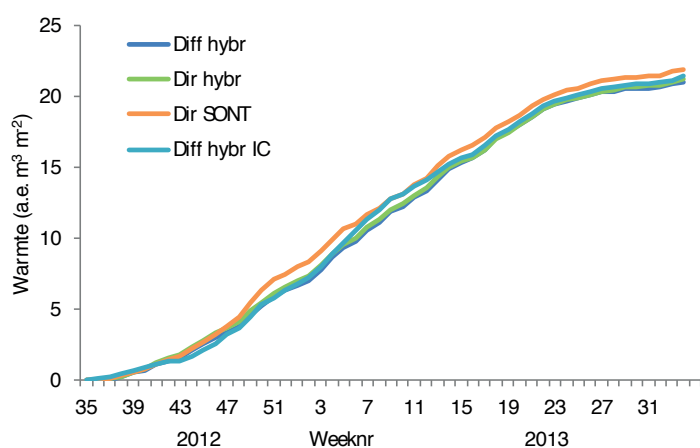
2.12 Bladrandjes/Botrytis

Vanaf eind november tot eind december is in totaal drie maal beoordeeld op bladrandjes. In deze periode nam bij alle behandelingen het aantal deelblaadjes met bladrandjes bij de bovenste 10 bladeren duidelijk toe. Omdat er al snel gedeelten van het blad werden weggenomen om te voorkomen dat Botrytis op de aangetaste bladeren door zou groeien naar de stengels, werd het steeds lastiger om goede beoordelingen van bladrandjes uit te voeren. Daarom is hiermee gestopt. De meeste bladrandjes leken echter voor te komen in de Dir SON-T afdeling en het minst bij Diff hybr.

Begin februari is het Botrytis- en meeldauwmiddel Luna Privilege toegepast, waardoor aangetaste bladdelen verdroogden en het niet meer noodzakelijk was om bladpunten te verwijderen. Botrytis was daarna geen probleem meer. De toepassing van dit middel heeft zeker bijgedragen tot het welslagen van de teelt.

2.13 Energieverbruik

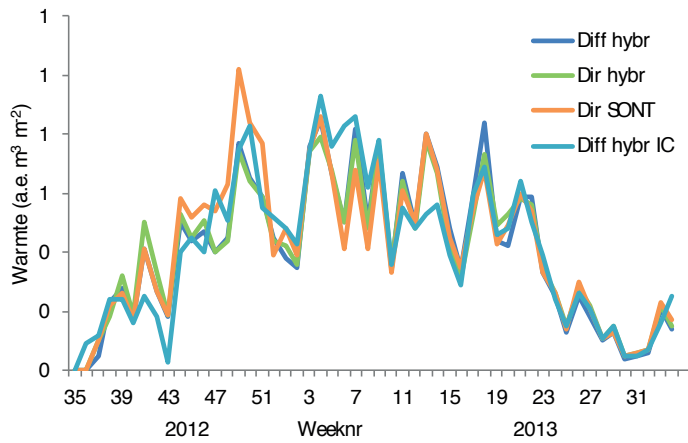
Het cumulatieve thermische energieverbruik weergegeven in Figuur 29 laat zien dat er gedurende het grootste deel van de teelt meer warmte nodig was voor het gewas in Dir SON-T. Dit zou deels veroorzaakt kunnen zijn geweest door dat deze afdeling grensde aan een lege kas, die minder verwarmd werd dan de overige behandelingen. Daarnaast is het zo dat de Diff hybr afdeling grensde aan een rozenkas.



Figuur 29. Het cumulatieve thermische energieverbruik ($m^3 m^2$) tijdens de teelt.

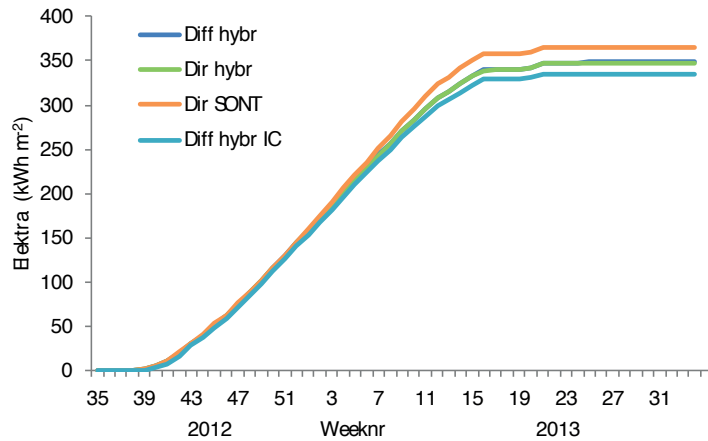
Dit kan het verbruik hebben beïnvloed. De lege kas naast Dir SON-T werd echter later verwarmd, maar het hogere verbruik in de wintermaanden in de SON-T kas zal deels het gevolg zijn geweest van de aangrenzende lege kas.

Figuur 30 geeft het gerealiseerde warmteverbruik per week weer. Daar is ook goed te zien dat gedurende de eerste weken, tot week 44, er minder warmte werd gebruikt in de Diff hybr afdeling bij het IC. Dat was een bewuste keus, en is eerder besproken in sectie 2.1 'verloop van de teelt'. En inderdaad, ook is te zien dat in de wintermaanden (week 43-52) de Dir SON-T afdeling meer warmte gebruikt dan de overige afdelingen.



Figuur 30. Het gerealiseerde thermische energieverbruik ($m^3 m^{-2}$) per week tijdens de teelt.

Figure 31 en 32 geven resp. het cumulatieve en wekelijks gerealiseerde elektra verbruik weer. De meeste elektra werd gebruikt in Dir SON-T, al is bijna dezelfde hoeveelheid licht (PARsom) in die afdeling gerealiseerd (zie ook Tabel 5). Vooral in de maanden januari t/m april (einde belichtingseizoen) is er meer elektra gebruikt in de Dir SON-T afdeling.



Figuur 31. Het cumulatieve elektrische energieverbruik (kWh) voor de LED en SON-T belichting tijdens de teelt.



Figuur 32. Het gerealiseerde elektrische energieverbruik ($m^3 m^{-2}$) per week tijdens de teelt.

In de drie afdelingen bij WUR valt op dat er bijna 200 meer lampuren zijn gebruikt bij Dir SON-T dan bij beide hybride afdelingen (Tabel 10), terwijl de lichtsom in alle drie de afdelingen nagenoeg gelijk was. Dat is een gevolg van het feit dat er relatief minder lampen opgehangen waren bij de SON-T (18 lampen t.o.v. 10 lampen bij de hybride afdelingen) waardoor bij een gelijk aantal branduren de lichtsom bij Dir SON-T lager uit zou komen. Bij Dir SON-T moesten de 18 lampen alle kunstlicht leveren, terwijl bij de hybride belichtingssystemen 10 SON-T lampen moesten zorgen voor de helft van de belichting. De extra branduren hebben ervoor gezorgd dat de lichtsommen gelijk zijn gebleven. Bij Dir hybr IC is er ca. 100 minder lampuren nodig geweest dan bij Dir hybr bij WUR, waarschijnlijk doordat de kasdek transmissie bij het IC ca. 10% hoger is dan bij WUR.

Opvallend is ook het totaal aantal uren die de lampen hebben gebrand. Een globaal referentiegetal is 2500 uur gedurende een teelt, en hier zien we dat er 2600-2900 uren branduren zijn gemaakt. Een normale teelt begint echter op 15 oktober en pas 3-4 weken later (medio november) worden de lampen volop gebruikt. Met deze vroege planting zijn er medio november al 600 lampuren gemaakt. In vergelijking van een teelt met een normale plantdatum betekent dit al een reductie in het gebruik van elektra van ruim 25%.

Tabel 10. Totaal aantal lampuren, berekende PARsom (mol m^2) van de lampen en de prognose en realisatie voor elektra (kWh m^2) en warmte (aardgas equivalenten in $\text{m}^3 \text{m}^2$).

	Lampuren	PARsom lampen (mol m^2)	Elektra		Warmte	
			Prognose (kWh m^2)	Realisatie (kWh m^2)	Prognose (a.e. $\text{m}^3 \text{m}^2$)	Realisatie (a.e. $\text{m}^3 \text{m}^2$)
Diff hybr	2710	308	366	348	21.2	21.0
Dir hybr	2700	308	366	348	21.2	21.2
Dir SON-T	2870	301	360	366	21.2	21.9
Diff hybr IC	2615	275	366	335	22.3	21.4

Bij de planning en uitvoering van de belichtingsstrategie is een prognose gemaakt voor de benodigde elektrische input, die voor alle 4 de behandelingen nagenoeg gelijk was (Tabel 10). De prognose is gebaseerd op het licht dat het gewas nodig zou moeten hebben gedurende de teelt. De realisatie is 20-30 kWh m^2 onder de prognose gebleven, behalve voor de Dir SON-T behandeling die net 6 kWh m^2 hoger uitkwam. Dat betekent een besparing van ca. 5% (beide WUR hybride afdelingen) en ca. 10% (Diff hybr) bij het IC. Een deel van het verschil tussen de hybride en SON-T behandelingen kan verklaard worden door de 10% hogere efficiëntie van de tussenbelichting, die de helft van de belichting voor zijn rekening neemt. Op het totaal aan belichting is dat een verschil van 5%.

Het kwantificeren van de mate van energiebesparing is lastig. Zowel voor wat betreft de elektra als verwarming is de prognose gemaakt op basis van de vorige teelt (Dueck *et al.* 2013) en van het teeltplan dat opgesteld is op basis van plantbehoefte. Omdat er geen goede referentie bekend is voor een vroege teelt die 12 maanden duurt, is het niet mogelijk de energiebesparing te berekenen. Het lijkt wel mogelijk om op basis van de referentieteelt (Dir SON-T) in dit experiment de energiebesparing te berekenen. Vooraf is er vanuit gegaan dat de inzet van tussenlicht 5% minder energie zou vragen, en dat is ook gebleken (zie Tabel 10). Het aantal uren dat de lampen bij deze belichtingsstrategie hebben gebrand bij een lichtintensiteit van $220 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, is ca. 200 uur minder in de hybride afdelingen t.o.v. de SON-T afdeling, wat een energiebesparing van nog eens 8% zou betekenen.

In een onbelichte teelt wordt 32-36 m^3 gas in de praktijk verbruikt en in een belichte teelt wordt dat hoger. Voor alle behandelingen is er een prognose gemaakt van ca. 21 m^3 aardgas equivalenten per m^2 . Dat is ook precies gerealiseerd, wat een warmte besparing van meer dan 60% zou betekenen, uitgaande van een referentie van 35 $\text{m}^3 \text{m}^2$ zoals in de praktijk vaker voorkomt.

3 Conclusies en Leerpunten

3.1 Teelt & Klimaat

Bij Komeett is al eerder geconstateerd dat het gewas beter gedijt bij een hogere temperatuur dan veel andere tomaten cultivars. Bij een iets lagere etmaaltemperatuur is de ontwikkeling trager, de vruchten komen er later af en zijn vaak té grof. Dat komt doordat teveel assimilaten direct naar de vruchten gaan en er minder geïnvesteerd wordt in de groei. Dit is waarschijnlijk het geval geweest met de teelt bij het IC, waar in het najaar bewust is gekozen voor het aanhouden van een lagere etmaaltemperatuur. De gewasstand was té schraal en gedacht werd dat bij een lagere etmaaltemperatuur er meer assimilaten over zouden blijven voor de gewasgroei.

Vooraf is gekozen om de gewasbalans te sturen middels plantbelasting. Enkele weken voorafgaande aan het nemen van een strategie zouden wij de plantbelasting aanpassen, b.v. op vier snoeien enkele weken voor een extra dief aanhouden in de winter om het gewas minder te belasten op dagen met weinig licht. Hiermee blijft het gewas goed in balans.

Al vroeg in de wintermaanden is er verschil in productie geconstateerd tussen de teelten onder diffuus glas. Bij WUR was de productie en ontwikkelingssnelheid hoger dan bij het IC. Het verschil lijkt veroorzaakt te zijn door verschillende kastemperaturen in de nacht als de lampen aanstonden. Bij het aangaan van de lampen was zowel de kasluchttemperatuur als bladtemperatuur lager bij het IC dan bij WUR. Komeett is een relatief gevoelig gewas voor het effect van de etmaaltemperatuur op de ontwikkeling van de vruchten. Bij het IC was de nachttemperatuur hoger in de vorige belichtingsproef dan nu het geval was. De groeianalyse heeft duidelijk gemaakt dat de afsplitsing bij het IC lager is geweest dan bij WUR. Het vruchtgewicht bij het IC was juist hoger, wat deels compenseert voor het minder aantal gezette en geoogste vruchten.



Foto 5. Overleg BCO.

3.2 Gelimiteerde CO₂

De doelstelling was een duidelijke besparing op CO₂ te realiseren ten opzichte van de referentieteel. Er is een minimum CO₂ in de kas van 450 ppm gerealiseerd, met een maximum van 800 ppm en een gemiddelde concentratie van 600 ppm. Door het meten van de CO₂-input is gebleken dat de doelstelling met een gemiddeld CO₂-verbruik van 30 kg m⁻² is bereikt. Met deze hoeveelheid CO₂ is er meer geproduceerd (85-89 kg m⁻²) dan in voorgaande jaren (70-75 kg m⁻²), al moet gezegd worden dat de huidige teelt 12 i.p.v. 11 maanden duurde.

3.3 Belichting

In principe zou men denken dat als het licht in het najaar afneemt, er met meer licht geteeld moet worden. Dat gebeurt ook in de praktijk. Echter, door het toepassen van een belichtingsstrategie waarmee belicht wordt naar plantbehoefte, blijkt dat het niet altijd het geval hoeft te zijn. Het is zelfs denkbaar dat er in het najaar op dagen met relatief veel zonlicht, licht weggeschermd zou moeten worden om het gewas in balans te houden. Meer schermen in het begin van de teelt bij Diff hybr IC zou waarschijnlijk ertoe geleid hebben dat het gewas beter in balans was. Daarbij is gestuurd met temperatuur in plaats van met licht.

Wat er ook kan gebeuren bij het gebruik van een belichtingsstrategie die van dag tot dag wordt bijgesteld is, dat als er té laat met belichten in een vroege teelt wordt begonnen, het gewas uit balans kan raken.

Eén van de redenen om tussenbelichting te gebruiken is dat er een groter bladoppervlak belicht kan worden met meer assimilatenproductie als gevolg. Zowel het gebruik van diffuus glas als van tussenbelichting heeft dit potentiële voordeel. Tussenbelichting zou ook moeten leiden tot een betere lichtverdeling met minder lichtverlies. Echter, op basis van de productie alleen, lijkt het voordeel van tussenbelichting kleiner te zijn dan werd verwacht. Op basis van de productie gedurende de hele teelt in Dir hybr t.o.v. Dir SON-T, leverde LED tussenlicht een meerproductie op van 1.6%. Het effect van diffuus glas, Diff hybr t.o.v. Dir hybr, leverde een meerproductie op van 4.9%. Al heeft diffuus glas een effect gedurende het hele jaar en het belichtingssysteem alleen in de winter, was dit verschil ook duidelijk zichtbaar op het einde van het belichtingsseizoen.

3.4 Diffuus glas

Een kasdek met diffuus glas lijkt weer zijn voordelen te hebben bewezen, nu in een belichte teelt. Onder diffuus glas is er een meerproductie van 4.9% geconstateerd t.o.v. helder glas met hetzelfde belichtingssysteem. Dat de meerproductie kleiner is (5%) dan bij een eerdere proef met een niet belichte teelt (10% meerproductie) van Komeett (Dueck *et al.* 2012), is waarschijnlijk het gevolg van het feit dat er nu belicht werd, waarmee het verschil tussen Dir hybr en Diff hybr kleiner is. Ook tijdens de wintermaanden was er een meerproductie onder diffuus glas, een ondersteuning van bevindingen in eerdere studies. Het voordeel van diffuus glas komt deels door de eigenschappen van diffuus glas zoals het feit dat het licht beter verdeeld wordt in zowel het horizontale als verticale vlak (verklaard mogelijk ca. 3% van de meerproductie), maar er komt ook meer licht in de kas (verklaard waarschijnlijk ca. 2% van de meerproductie).

3.5 Botrytis

De uitgevoerde belichtingsstrategie heeft goed gewerkt, maar toch werden er in alle behandelingen teveel bladrandjes geconstateerd, maar vooral bij Dir SON-T. Vooral dankzij de toepassing van het gewasbeschermingsmiddel Luna privilege is Botrytis onder controle gebleven. Er is een grote kans op resistentie in het gewas bij veelvuldig gebruik van LUNA, en aangeraden wordt het maximaal twee keer te gebruiken in één teelt. Ondanks het feit dat Luna goed heeft gewerkt, is er een risico op resistentieontwikkeling voor dit middel.

3.6 Energie

Of de energiedoelstelling is gerealiseerd is niet eenduidig te zeggen. Voor wat betreft de warmtevraag lijkt dat met maar 21 m³ gas verbruik tijdens de teelt wel gehaald te zijn. Omdat er geen goede referentie was uit de praktijk, kan een vergelijking voor wat betreft het elektrische verbruik alleen gemaakt worden met de SON-T belichtingsafdeling, en daarmee lijkt er een besparing van ca. 13% behaald te zijn. Dat zou beneden de doelstelling zijn, omdat er vantevoren uitgegaan was van een besparing van ca. 20% aan warmte energie, en 20% aan elektrische energie. Een besparing van 5% vanwege het gebruik van LED tussenbelichting blijft staan, maar een ander belangrijk aspect komt er nog bij. Het schatten van de mate van besparing wordt bemoeilijkt doordat er veel eerder in het najaar is begonnen met belichten in vergelijking met een praktijkteelt. Omdat er nu veel eerder is geplant, is er ook veel eerder en veel meer belicht dan in een praktijkteelt met plantdatum rond 15 oktober, ca. 600 branduren meer.

4 Referenties

- Dueck TA, Nieboer S, Janse J, Valstar W, Eveleens-Clark BA & Grootcholten M. 2012.
LED belichting en Het Nieuwe Telen bij tomaat. Proof of Principle. Rapport GTB-1177,
Wageningen UR Glastuinbouw, 50p.
- Dueck T, Janse J, Li, T, Kempkes F & Eveleens B. 2012a.
Influence of diffuse glass on the growth and production of tomato. Acta Hort. 956:75-82.
- Dueck TA, Janse J, Eveleens B, Kempkes FLK & Marcelis LFM. 2012b.
Growth of tomatoes under hybrid LED and HPS lighting. Acta Horticultura 952: 335-341.
- Dueck T, Janse J & Moerenhout S. 2012c.
Condens op diffuus glas: invloed op lichttransmissie? Rapport Wageningen UR Glastuinbouw, 19 blz.
- Dueck TA, De Gelder A, Janse J, Baar PH & Eveleens-Clark BA. 2013.
Het Nieuwe Belichten bij tomaat met minder CO₂. Rapport GTB-1232,
Wageningen UR Glastuinbouw, 42p.
- De Gelder A, Warmenhoven M, Kromdijk W, Driever S, De Zwart F, Stolker H & Grootcholten M. 2012.
Gelimiteerde CO₂ en het nieuwe telen tomaat. Rapport Wageningen UR Glastuinbouw.
- Grit, J. 2013.
Influence of Next Generation Lighting on fruit growth of tomato (*Lycopersicon esculentum*). Bachelor Thesis,
Wageningen UR, 14p.
- Janse J, Moerenhout S, Kempkes FLK, Dueck TA. 2012.
Vroege komkommerteelt onder diffuus glas. Rapport GTB 1183.
Wageningen UR Glastuinbouw, Bleiswijk.

Bijlage I Specificaties van het gebruikte glas

Measurement (appendix 1)	T normal	T hemispherical	Haze
Method (appendix 2)	WUR-TNO	WUR-TNO	WUR-TNO
Mean (appendix 3)	NEN 2675	NEN 2675	Not weighted
Prismatic 606	94.3 ± 0.5%	85.3 ± 0.5%	62 ± 5%
Float 607	90.4 ± 0.5%	83.6 ± 0.5%	

Sample	Angle of incidence							
	10	20	30	40	50	60	70	80
Prismatic 606	94.2	94.3	94.3	93.9	91.6	81.4	66.0	45.1
Float 607	90.4	90.5	90.4	89.9	88.2	83.2	71.7	45.3

Bijlage II Modelgegevens voor teeltplan berekening

				WUR	IC
				Deze gebruiken bij berekeningen april 2013	
Gewasparameterfile	Voorstel Arie HortiTomaat_HNB_diffuus	Voorstel Pieter van Staalduinen HortiTomaat_HNB_PVS	Voorstel Arie HortiTomaat_HNB_AdGnieuw	HortiTomaat_HNB_diffuus	HortiTomaat_HNB_diffuus
plantdatum	243 (30 aug 2012)	243	243 (30 aug 2012)	243 (30 aug 2012)	243 (30 aug 2012)
plantdichtheid	2.5 pl/m2	2.5 pl/m2	2.5 pl/m2	2.5 pl/m2	2.5 pl/m2
1° stenoelidatum	28 (28 jan)	358 (24 dec)	358 (24 dec)	365 (31 dec)	365 (31 dec)
plantdichtheid	2.9 (1 op 6)	3.125 (1 op 4)*	3.125 (1 op 4)*	2.92 (1 op 6)*	3.125 (1 op 4)*
2° extra stengel	56 (25 feb)	49 (18 feb)	42 (11 feb)	42 (11 feb)	42 (11 feb)
plantdichtheid	3.3 pl/m2 (1 op 6)	3.75 (pl/m2) (1 op de 4)	3.75 (pl/m2) (1 op de 4)	3.3 (pl/m2) (1 op de 6)	3.75 (pl/m2) (1 op de 4)
Toppen	196 (15 juli)	Aarnname: 196 (niet in file genoemd)	196 (15 juli)	196 (15 juli)	196 (15 juli)
	Start – 11 nov (day 316): 5 vrtros	Start – 23 sep (day 267): 5 vrtros	Start – 30 sept (273): 5 vrtros	Start – 30 sept (273): 5 vrtros	Start – 30 sept (273): 5 vrtros
	12 nov (day 317) – 16 dec (day 351): 4 vrtros	24 sep (day 268) – 21 oct (day 295): 4 vrtros	1 okt (day 274) – 11 nov (315): 4 vrtros	1 okt (day 274) – 5 nov (0): 4 vrtros	1 okt (day 274) – 5 nov (0): 4 vrtros
Aantal vruchten per tros				er is in het begin van de teelt een keer snoei op kwaliteit toegepast. Kleine slecht gezette vruchten zijn weggehaald. Dit is lastig in het model te vangen en wordt genegeerd.	
	17 dec (day 352) – einde: 5 vrtros	22 okt (day 296) – einde: 5 vrtros	12 nov (day 316) – einde: 5 vrtros	5 nov (day) – 16 dec (0): 5 vrtros	5 nov (day) – 10 dec (0): 5 vrtros
				16 dec (day) – 21 jan (0): 4 vrtros	10 dec (day) – 28 jan (0): 4 vrtros
				21 jan (day) – einde: 5 vrtros	28 jan (day) – einde: 5 vrtros

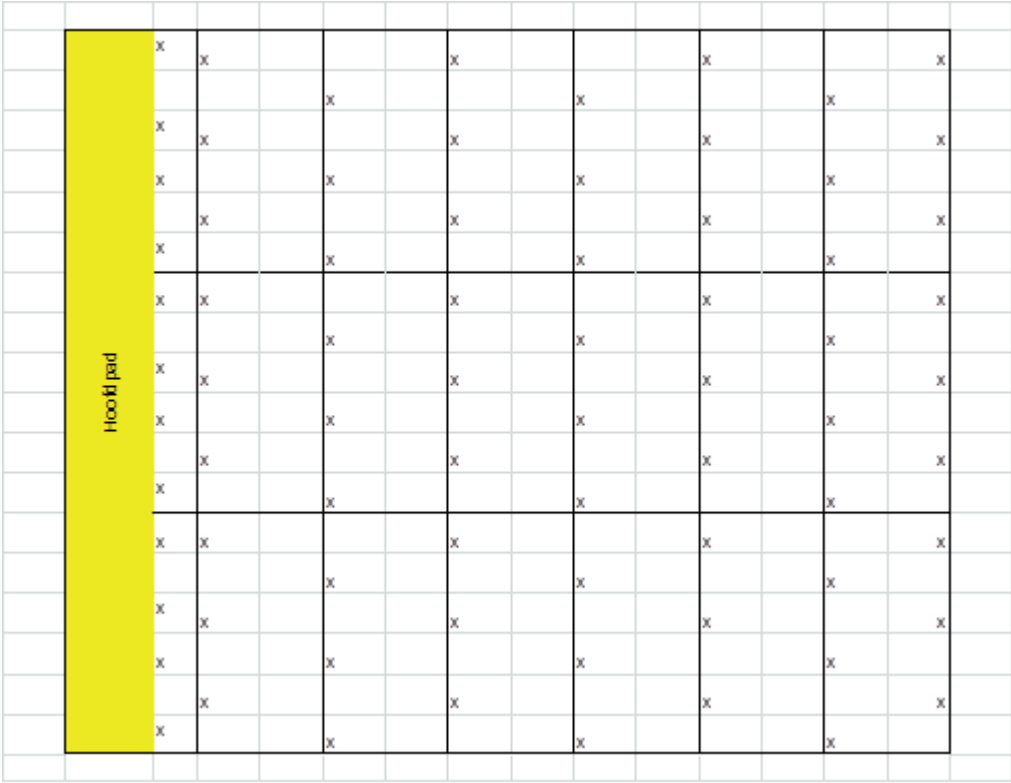
Bijlage III Oorspronkelijke teeltplan

Datum	Jaar	Week	Geplande zetting per stengels/ m2		snoeibeeld vruchten per tros	Uitgroeiduur in weken	Noodzakelijke bloeisnelheid	Cumulatief gezette vruchten	Cumulatief geoogste vruchten	Uitgroeide vruchten (Plant belasting)	Oogst in kg (vrucht gewicht 150 gr)	
27-8-2012	2012	35	0,0	2.500	5	9	0,00	0	0	0	0,00	
9-9-2012	2012	36	12,5	2.500	5	9	1,00	13	0	13	0,00	
10-9-2012	2012	37	12,0	2.500	5	9	0,96	25	0	25	0,00	
17-9-2012	2012	38	11,5	2.500	5	9	0,92	36	0	36	0,00	
24-9-2012	2012	39	11,5	2.500	5	9	0,92	48	0	48	0,00	
1-10-2012	2012	40	9,0	2.500	4	9	0,90	57	0	57	0,00	Op 4 snoeien gedurende tenminste 6 weken
8-10-2012	2012	41	8,7	2.500	4	9	0,87	65	0	65	0,00	
15-10-2012	2012	42	8,5	2.500	4	9	0,85	74	0	74	0,00	
22-10-2012	2012	43	8,5	2.500	4	9	0,85	82	0	82	0,00	
29-10-2012	2012	44	8,5	2.500	4	9	0,85	91	0	91	0,00	
5-11-2012	2012	45	8,5	2.500	4	9	0,85	99	13	87	1,88	
12-11-2012	2012	46	10,0	2.500	5	9	0,80	109	25	85	3,68	
19-11-2012	2012	47	10,0	2.500	5	9	0,80	119	36	83	5,40	
26-11-2012	2012	48	10,0	2.500	5	9	0,80	129	48	82	7,13	
3-12-2012	2012	49	10,0	2.500	5	9	0,80	139	57	83	8,48	
10-12-2012	2012	50	9,0	2.500	4,5	9	0,80	148	65	83	9,78	Snoeien op 4 en 5 afhankelijk van bijmaken zijstengel
17-12-2012	2012	51	9,0	2.500	4,5	9	0,80	157	74	84	11,06	Snoeien op 4 en 5 afhankelijk van bijmaken zijstengel
24-12-2012	2012	52	10,0	2.500	5	9	0,80	167	82	85	12,33	Extra stengel 1/4
31-12-2012	2012	1	10,0	2.500	5	8,9	0,80	177	91	87	13,61	
7-1-2013	2013	2	10,0	2.500	5	8,9	0,80	187	99	88	14,88	
14-1-2013	2013	3	10,0	2.500	5	8,8	0,80	197	109	88	16,38	
21-1-2013	2013	4	11,3	3.125	4,5	8,8	0,80	209	119	89	17,88	Bijgekomen Zijstengel 2 weken op 4 snoeien
28-1-2013	2013	5	11,3	3.125	4,5	8,7	0,80	220	129	91	19,38	Snoeien op 4 en 5 afhankelijk van bijmaken zijstengel.
4-2-2013	2013	6	11,3	3.125	4,5	8,7	0,80	231	139	92	20,88	Snoeien op 4 en 5 afhankelijk van bijmaken zijstengel.
11-2-2013	2013	7	12,5	3.125	5	8,6	0,80	244	148	95	22,23	Extra stengel 1/4
18-2-2013	2013	8	12,5	3.125	5	8,6	0,80	256	157	99	23,58	
25-2-2013	2013	9	12,5	3.125	5	8,5	0,80	269	167	101	25,08	
4-3-2013	2013	10	12,5	3.125	5	8,5	0,80	281	177	104	26,58	
11-3-2013	2013	11	14,3	3.750	4,75	8,5	0,80	295	187	108	28,08	Bijgekomen Zijstengel 2 weken op 4 snoeien
18-3-2013	2013	12	14,3	3.750	4,75	8,5	0,80	310	197	113	29,58	
25-3-2013	2013	13	15,0	3.750	5	8,5	0,80	325	209	116	31,28	
1-4-2013	2013	14	15,0	3.750	5	8,4	0,80	340	220	120	32,97	
8-4-2013	2013	15	15,0	3.750	5	8,4	0,80	355	231	124	34,67	
15-4-2013	2013	16	15,0	3.750	5	8,4	0,80	370	244	126	36,54	
22-4-2013	2013	17	15,0	3.750	5	8,3	0,80	385	256	129	38,42	
29-4-2013	2013	18	15,0	3.750	5	8,3	0,80	400	269	131	40,29	
6-5-2013	2013	19	15,0	3.750	5	8,3	0,80	415	281	134	42,17	
13-5-2013	2013	20	15,0	3.750	5	8,2	0,80	430	295	134	44,31	
20-5-2013	2013	21	15,0	3.750	5	8,2	0,80	445	310	135	46,46	
27-5-2013	2013	22	15,0	3.750	5	8,2	0,80	460	325	135	48,71	
3-6-2013	2013	23	15,0	3.750	5	8,2	0,80	475	340	135	50,96	
10-6-2013	2013	24	15,0	3.750	5	8,2	0,80	490	355	135	53,21	
17-6-2013	2013	25	15,0	3.750	5	8,2	0,80	505	370	135	55,46	
24-6-2013	2013	26	15,0	3.750	5	8,2	0,80	520	385	135	57,71	
1-7-2013	2013	27	15,0	3.750	5	8,2	0,80	535	400	135	59,96	
8-7-2013	2013	28	15,0	3.750	5	8,2	0,80	550	415	135	62,21	
15-7-2013	2013	29	0,0	3.750	5	8,2	0,00	550	430	120	64,46	Kop eruit
22-7-2013	2013	30	0,0	3.750	5	8,2	0,00	550	445	105	66,71	
29-7-2013	2013	31	0,0	3.750	5	8,2	0,00	550	460	90	68,96	
5-8-2013	2013	32	0,0	3.750	5	8,2	0,00	550	475	75	71,21	
12-8-2013	2013	33	0,0	3.750	5	8,2	0,00	550	490	60	73,46	
19-8-2013	2013	34	0,0	3.750	5	8,2	0,00	550	550	0	82,46	

Gelder, Arie de:
In de laatste week worden alle gezette vruchten geoogst. Daardoor een sterke productie sprong

Bijlage IV Lampenplan bij het IC

Afdeling 2 bij het IC. Posities van de SON-T lampen zijn door een 'x' aangegeven.



Bijlage V Gerealiseerde PAR som (mol m⁻²)

	Belichtingsseizoen (t/m 19 april)			Hele teelt		
	Lamp	Zon	Totaal	Lamp	Zon	Totaal
Diff hybr	2156 (53%)	1925	4081	2212 (32%)	4746	6958
Dir hybr	2156 (52%)	1974	4130	2205 (33%)	4522	6727
Dir SON-T	2107 (52%)	1974	4081	2149 (32%)	4522	6671
Diff hybr IC	1925 (45%)	2310	4235	1960 (27%)	5271	7231

Bijlage VI Overzicht van de vruchtkwaliteit in de tijd

	Behandeling			
	Dir SON-T	Dir Hybr	Diff Hybr	Diff Hybr IC
Houdbaarheid				
14 nov	13.6	14.6	15.4	-
12 dec	13.0	10.5	12.6	14.5
23 jan	9.5	8.9	9.1	17.1
20 febr	14.2	12.2	11.8	20.0
20 mrt	10.6	11.5	11.0	15.9
3 mei	20.0	22.5	22.8	24.2
7 juni	16.7	17.5	15.1	19.4
% Rot				
14 nov	0	0	0	0
12 dec	5	15	20	0
23 jan	33	4	13	23
20 febr	0	0	0	0
20 mrt	0	0	0	0
3 mei	0	0	8	0
7 juni	0	0	0	0
Smaak				
14 nov	29	30	29	-
1 febr	39	38	34	34
15 april	31	32	32	37
Refractie				
14 nov	3.3	3.4	3.4	-
1 febr	3.2	3.3	3.2	3.3
15 april	3.4	3.3	3.4	3.8
Zuur				
14 nov	5.7	5.6	5.7	-
1 febr	5.4	6.9	5.9	6.0
15 april	4.8	4.7	4.6	4.5
%Sap				
14 nov	22	24	22	-
1 febr	43	33	32	29
15 april	28	30	30	35
Vitamine C				
1 febr	15.9	16.1	13.3	13.3
23 mei	16.2	14.7	15.2	17.3
5 juni	16.6	16.1	16.7	-

