



Het Nieuwe Belichten bij tomaat met minder CO₂

Tom Dueck¹, Arie de Gelder¹, Jan Janse¹, Piet Hein Baar², Barbara Eveleens¹
& Marc Grootcholten² ¹ Wageningen UR Glastuinbouw ² GreenQ Improvement Centre



Referaat

Gedurende de laatste jaren zijn de inzichten in Het Nieuwe Belichten aanzienlijk toegenomen. Inmiddels heeft de praktijk gevraagd om een robuuster teeltstrategie met minder risico voor ziektes en met minder veranderingen in de klimaatinstellingen. In dit project worden natuurlijke instraling, belichting, CO₂ en teeltstrategie geïntegreerd om een gewas te krijgen dat sterk en gezond na de kortste dag tevoorschijn komt én met 30% energiebesparing.

Tomaten van het ras Komeett werden belicht met een hybride belichtingssysteem, met SON-T belichting boven het gewas en LED-tussenbelichting. De belichting werd ingezet in aanvulling op zonlicht, door de lichtsom van de achterliggende drie dagen te middelen en rekening te houden met de lichtsomverwachting voor de komende dagen.

Het gemis aan licht in het voorjaar t.o.v. eerdere jaren was gelijk aan ongeveer 550 belichtingsuren. Met het later begin van de oogst was dit de voornaamste oorzaak dat er ongeveer 5 kg minder tomaten geoogst zijn t.o.v. het voorgaande seizoen, en uitkwam op 70 kg m⁻². Er is minder CO₂ gebruikt voor de teelt, met een gemiddelde concentratie van 560 ppm CO₂, maar heeft de productie niet beïnvloedt, wat betekent dat er met minder CO₂ een goede productie gerealiseerd kan worden. In deze proef is er gestreefd naar gelijkmatigheid, en door een veelvuldig gebruik van minimum ventilatie aan de windzijde waren zijn er weinig veranderingen in het klimaat en de instellingen. Dit heeft zijn invloed op het gewas gehad met een constante groei tijdens de teelt.

Een blijvend aandachtspunt in de proef was aantasting door Botrytis. Een aantasting kwam in december naar voren en bleef steeds aanwezig. Al zijn de doelstelling van minder aantasting door Botrytis onvoldoende gerealiseerd, is de energiedoelstelling wel gerealiseerd, met 33% besparing op warmte-energie en 30% op elektrische energie.

Abstract

The Next Generation Lighting insights

have increased significantly during the past years. Now however, growers have requested a robust production strategy with less risks for disease and with fewer changes in greenhouse climate settings. In this project, natural radiation, lighting, CO₂ and cultivation strategy were integrated in order to realize a strong, healthy crop after the shortest winter day, as well as a 30% saving of energy.

The Komeett tomato was illuminated with a hybrid lighting system, with HPS lighting above the crop and LED interlighting. Artificial lighting was used to supplement sunlight; sunlight being the averaged light sum from the last three days and the expected light sum for the coming days.

The amount of light missed in the spring compared to previous years was equal to about 550 hours lighting. Together with the later start of the harvest this was the main reason that 5 kg m⁻² tomatoes less were harvested compared to the previous year, and amounted to 70 kg m⁻². Less CO₂ was used for cultivation, with an average concentration of 560 ppm CO₂, but this did not affect the production, which means that a good production can be realized with less CO₂.

A gradual cultivation management was aimed for and by frequent use of minimum ventilation on the windward side, there were very few changes in greenhouse climate. This had a good influence on the crop, with a constant growth and production throughout the cultivation season.

Botrytis infection remained a challenge. Botrytis infection occurred in December and remained constantly present. Although the objective to reduce Botrytis infection was insufficiently realized, the energy target was achieved, with 33% savings in heating energy and 30% of electric energy.

© 2013 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.

Inhoudsopgave

	Voorwoord	5
	Samenvatting	7
	Inleiding	9
1	Materialen & Methoden	11
	1.1 Teelt & Behandelingen	11
	1.1.1 Teeltcondities	11
	1.1.2 Referentieteelt	11
	1.1.3 Behandelingen	11
	1.2 Metingen	13
	1.2.1 Kasklimaatregistratie	13
	1.2.2 Lichtonderschepping	13
	1.2.3 Waterverbruik	13
	1.2.4 Plantregistraties en destructieve oogst	13
	1.2.4.1 Plantwaarnemingen	13
	1.2.4.2 Waarnemingen Botrytis aantasting	14
	1.2.4.3 Bladmorfologie	14
	1.2.4.4 Productie	14
	1.2.5 Bladrandjes	14
	1.2.6 PR-eiwitten (pathogen related proteins)	14
	1.2.7 Energieverbruik	14
2	Resultaten & Discussie	15
	2.2.1 Verloop van de teelt	15
	2.2.2 Klimaatregistratie	17
	2.2.3 Lichtonderschepping	19
	2.2.4 Belichting	19
	2.2.4.1 Planning en uitvoering belichting	19
	2.2.4.2 Realisatie belichting	21
	2.2.5 Waterverbruik	22
	2.2.6 Plantregistraties en destructieve oogst	23
	2.2.7 Bladrandjes	24
	2.2.8 PR Eiwit expressie	24
	2.2.9 Productie	25
	2.2.10 Energieverbruik	27
3	Conclusies en Leerpunten	31
	3.1 Teelt & Klimaat	31
	3.2 Gelimiteerde CO ₂	31
	3.3 Belichting	31
	3.4 Energie	31
	3.5 Reactie van de praktijk	32
	3.6 Aanbevelingen voor een vervolg	32
4	Referenties	33
Bijlage I	Stuurgroep/maandelijks BCO	35

Voorwoord

In 2010/2011 is onderzoek uitgevoerd naar het gebruik van een hybride belichtingssysteem (belichting boven en tussen het gewas) en de voordelen van het nieuwe telen bij een belichte tomaten teelt. Dat bleek goede resultaten te geven en door belichtende tuinders werd gevraagd om het gebruik van hybride belichting verder te verfijnen. De aanpak hiervoor is voortgekomen uit een aantal ervaringen en ideeën afkomstig uit voorgaande projecten met LED-belichting bij tomaat en het nieuwe telen bij Gerbera. 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 als een proof of principle project in het kader van het innovatieprogramma Kas als Energiebron in opdracht van het Ministerie van EZ en het Productschap Tuinbouw uitgevoerd. Kas als Energiebron heeft als doel om een aanzienlijke energiebesparing in de tuinbouw te realiseren. Het onderzoek werd uitgevoerd op het GreenQ-Improvement Centre met Wageningen UR Glastuinbouw. In het onderzoek werd gezocht naar het optimaal sturen van het gewas, waarbij zo zuinig mogelijk zou worden omgegaan met het inzetten van elektrische en thermische energie in de kas om tot een energiebesparing van 30% te komen.

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

De teelt werd aangestuurd en intensief begeleid door een BCO bestaande uit Jan Mulder, Nic van Roosmalen en Pieter van Staalduinen.

De auteurs
Wageningen UR Glastuinbouw
maart 2013

Kennisoverdracht

Publicaties:

Van Staalduinen J (interview met TA Dueck, M Grootsholten, N van Rosmalen). 2011. Praktijkproef rond HNT en belichten levert veel lichtpuntjes op. Onderglas 11:40-41. November 2011.

Grootsholten, Marc. 2012. Onderzoek naar ledbelichting bij GreenQ. Film op Groenten&Fruit Actueel.
<http://www.gfactueel.nl/FotoFilm/Onderzoek-naar-ledbelichting-bij-GreenQ.htm#firstReaction>

Mulder, Jan. 2012. Plantbalans is te sturen met licht. Energie2020. 11 mei 2012.

Bouwman-van Velden, P (interview met A. de Gelder en P.H. van Baar). 2012. Nieuw belichtingsmodel geeft een meer evenwichtige plantbelasting. Onder Glas 9 (5): 59.

Bouwman-van Velden, P (interview met T.A. Dueck en M. Grootsholten). 2012. 'Telers leren snel door zelf een proef te sturen' Onder Glas 9 (10). p. 75.

Bouwman-van Velden P (interview met TA Dueck). 2012. De grootste uitdaging ligt in het balanceren met plantbelasting. Onder Glas 9 (11):38-39.

Sleegers J, Dueck T & De Gelder A. (interview met T. Dueck en A. de Gelder). 2012. Belichten naar behoefte van de plant. Vakblad voor de Bloemisterij 67(40): 28-29.

Weblogs www.energiek2020.nu

Tom Dueck 22-12-2011 Gelijkmatic telen is de kunst

Nic van Rosmalen 1-3-2012 Minder overregelen geeft rustiger groeiklimaat

Lezingen:

27 sept 2011 Het nieuwe belichten bij tomaat met minder CO₂. Lezing Tom Dueck. Seminar HNT, Zoetermeer.

3 nov 2011 Artificial lighting with LEDs in Dutch greenhouse horticulture. Tom Dueck. Seminar Hortifair, Amsterdam.

3 nov 2011 Artificial lighting with LEDs in Dutch greenhouse horticulture. Lezing Tom Dueck. Taiwanese delegatie, Bleiswijk.

17 jan 2012 Ontwikkelingen in het LED onderzoek. Arenasessie Efficiënt Groeilicht, Tom Dueck. Bleiswijk.

21 febr 2012 Energie prognose. Lezing Sjoerd Nieboer, Bleiswijk

22 febr 2012 LED verlichting: onderzoek en praktijk. Lezing Tom Dueck. INES-Gelderland, Twello.

25 april 2012 Het Nieuwe Belichten bij Tomaat. Tom Dueck. Platform Licht, Bleiswijk.

2 juli 2012 Lighting and LED systems in Horticulture. High-Tech Greenhouse 2020. Tom Dueck. Interreg Floriade, Venlo.

Samenvatting

Gedurende de laatste jaren zijn de inzichten in Het Nieuwe Belichten aanzienlijk toegenomen. Een energiebesparing van 30% kan gerealiseerd worden bij een vergelijkbare productie als in de praktijk. Ondanks de energiebesparing is vanuit de praktijk aangegeven dat er met name voor de teelt een robuuster strategie gewenst is, minder risico te lopen, met minder veranderingen in de klimaatinstellingen.

In dit Proof of Principle project is een nieuwe aanpak beproefd, voortgekomen uit een aantal ervaringen en ideeën afkomstig van voorgaande projecten met tomaat en gerbera. Hierbij worden natuurlijke instraling, belichting, CO₂ en teeltstrategie geïntegreerd om een gewas te krijgen dat sterk en gezond na de kortste dag tevoorschijn komt én met 30% energiebesparing. Het project is gefinancierd door het Ministerie EZ (voorheen EL&I) 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.

Tomaten van het ras Komeett werden belicht met een hybride belichtingssysteem, 110 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ SON-T belichting boven het gewas en 100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ LED-tussenbelichting. De onderste streng van de LED-tussenbelichting hing ca. 40 cm boven de onderste bladeren van het gewas. De tweede streng van de LED-tussenbelichting hing op 40 cm hoogte boven de onderste streng. Er werden twee typen LED's gebruikt: productie-LED's (lichtefficiëntie 1.6 $\mu\text{mol W}^{-1}$; 13% blauw/87% rood) waar de productie geregistreerd werd, en interlighting LED's (lichtefficiëntie 1.9 $\mu\text{mol W}^{-1}$; 5% blauw/95% rood) met dezelfde lichtintensiteit, en waarvan het effect op productie vergelijkbaar was.

De belichting werd ingezet in aanvulling op zonlicht, door de lichtsom van de achterliggende drie dagen te middelen en rekening te houden met de lichtsomverwachting voor de komende dagen. Vervolgens werd de lichtsom aangevuld met belichting om de voor het gewas benodigde lichtsom te realiseren. Het hiervoor gebruikte lichtmodel heeft goed gewerkt, zodat het minder belichten dan wat men in de praktijk gewoon is, geen negatieve consequenties had voor het gewas en het gewas beter door de donkere wintermaanden kwam. Het berekenen van de belichting is in de praktijk gemakkelijk toe te passen.

Uit het oogpunt van energiebesparing is besloten om na het belichtingsseizoen niet meer te belichten. Juist in deze tijd was er aanzienlijk minder zonlicht en telers in de praktijk zijn doorgegaan met belichten. Het gemis aan licht van dit jaar t.o.v. eerdere jaren was gelijk aan ongeveer 550 belichtingsuren. Dit was de voornaamste oorzaak dat er ongeveer 5 kg minder tomaten geoogst zijn van week 7 t/m week 24. Dat betekent dat het t.o.v. het voorgaande seizoen niet slecht is gegaan, en omgerekend naar het gemis aan buitenlicht het veel beter is gegaan zowel op energie- als op productiegebied. Bij het eventueel doorbelichten bij donkere periodes in voor- en najaar moet gekeken worden naar de buitenomstandigheden. Wanneer er veel verwarmd moet worden, moet overwogen worden om toch te belichten en bij minder warmtevraag alleen de LED's gebruiken. In deze proef is vooral de energiedoelstelling en de aansluiting bij de praktijk leidend geweest in de beslissing niet meer te belichten in het voorjaar. Teelttechnisch zou belichting in het voorjaar gunstiger zijn geweest voor de productie en de kwaliteit van het gewas.

De doelstelling was een duidelijke besparing op CO₂ te realiseren ten opzichte van de referentieteelt. Er zou worden gestuurd op CO₂-dosering, maar met het hanteren van een minimum CO₂-concentratie in de kas van 450 ppm, een maximum van 800 ppm en een gemiddelde concentratie van 600 ppm. De doelstelling is bereikt met een gemiddelde concentratie in de kas van 560 ppm CO₂. Dit heeft niet geleid tot een lagere opbrengst dan in de jaar hiervoor, wat betekent dat er met minder CO₂ een goede productie gerealiseerd kan worden.

In eerdere proeven is de teelt na de start soms té snel gegaan met veel licht, waardoor er in de wintermaanden problemen met het gewas ontstonden. Het gewas gedijt het beste bij gelijkmatigheid, met weinig veranderingen in klimaatinstellingen. In deze proef is er gestreefd naar gelijkmatigheid en dat heeft een stabiele uitwerking gehad op de teelt. Mede door een veelvuldig gebruik van minimum ventilatie aan de windzijde waren zijn er weinig veranderingen in het klimaat en de instellingen. Dit heeft zijn invloed op het gewas gehad met een constante groei tijdens de teelt.

Een blijvend aandachtspunt in de proef was aantasting door Botrytis. Een aantasting kwam in december naar voren en bleef steeds aanwezig. De doelstelling van minder aantasting door Botrytis is onvoldoende gerealiseerd.

De energiedoelstelling is goed gerealiseerd, met 33% besparing op warmte-energie en 30% op elektrische energie. Dat is positief voor de doelstellingen, maar voor het gewas was meer belichten, en dus meer energieverbruik beter geweest. Achteraf was er een periode in het voorjaar waarbij de energiedoelstelling los gelaten had moeten worden.

Inleiding

In het transitiepad Licht van het programma Kas als Energiebron is in het seizoen 2010-2011 de toepassing van LED-belichting in combinatie met elementen van Het Nieuwe Telen (HNT) onderzocht om energiebesparing te realiseren (Dueck *et al.* 2012). Daarbij is gebruik gemaakt van een hybride belichtingssysteem met $110 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ SON-T en $85 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ LED tussenbelichting in een teeltsysteem met een rijafstand van 192 cm. De toegepaste elementen van HNT waren buitenluchtontvochtiging en gebruik van een tweede scherm. Met deze verhouding boven- en tussenbelichting en het toepassen van HNT zou een verbetering van de energie-efficiëntie gerealiseerd kunnen worden.

Tijdens de teelt is er een energiebesparing van 30% gerealiseerd bij een vergelijkbare productie als in de praktijk. Ondanks de energiebesparing van 30% is vanuit de praktijk aangegeven dat er met name voor de teelt een robuustere strategie gewenst is. Minder risico voor Botrytis lopen, minder aan de knoppen van klimaatinstellingen draaien en toch de energiedoelstelling van tenminste 30% besparing halen. De oorzaak van de problemen met klimaatsturing in de afgelopen proef was voornamelijk de onervarenheid met (HNT) sturings-instrumenten in een met LED's belichte teelt met rijafstand 192 cm (Dueck *et al.* 2012). Die ervaring is inmiddels opgedaan en dat resulteerde in de volgende belangrijke verbeterpunten:

- Meer aandacht voor een té hoge plantbelasting zeker in het begin van de teelt, waardoor het gewas minder slijt. Een hoge plantbelasting resulteert in een zwakke vegetatieve groei en in combinatie met een relatief lage VPD geeft dat extra risico op Botrytis. Dit risico werd in de teelt van 2010-2011 door de dicht op elkaar staande planten (binnen een rij) nog versterkt.
- Kritische grenzen stellen voor het gebruik van buitenluchtontvochtiging en het gebruik van ventilatie in combinatie met kieren in het scherm. De ongelijkmatigheid in luchtvochtigheid en temperatuur zou beter geregistreerd moeten worden.
- Kritischer omgaan met belichting en de verhouding en inzet van LED/SON-T optimaal benutten zowel met betrekking tot de warmtevraag als plantbelasting. Hierbij moet rekening worden gehouden met het feit dat ca. 2/3 van de elektrische input van de tussenbelichting als een minimumbuisvermogen in het gewas kan worden gezien.

In dit Proof of Principle project wordt een compleet nieuwe aanpak beproefd. De aanpak is voortgekomen uit een aantal ervaringen en ideeën afkomstig van voorgaande projecten (De Gelder *et al.* 2012; Dueck *et al.* 2010; Dueck *et al.* 2012). Hierbij worden natuurlijke instraling, belichting, CO_2 en teeltstrategie geïntegreerd om een gewas te krijgen dat sterk en gezond na de kortste dag tevoorschijn komt én met 30% energiebesparing.

De wijze van belichting met lichtintegratie analoog aan die met Gerbera (De Gelder *et al.* 2011) wordt gekozen met als doel energie te besparen. Hierbij wordt de voor een tomatenteelt benodigde lichtsom gerealiseerd door de natuurlijke instraling in de winter aan te vullen met het hybride SON-T en LED-belichtingssysteem tot de gewenste lichtsom bereikt wordt, gemiddeld over 3 dagen. Dit belichtingssysteem heeft een maximum capaciteit van $210 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, zodat er meer mogelijkheden zijn voor lichtsturing dan met een beperktere capaciteit. Wanneer de hoeveelheid zonlicht in het voorjaar toeneemt, wordt de LED en/of SON-T belichting steeds minder gebruikt, met handhaving van de lichtsom. De benodigde lichtsom wordt berekend met behulp van een gewasmodel.

In de praktijk wordt veel CO_2 gedoseerd vanwege de mogelijkheid van extra productie en het feit dat het, in het geval van de aanwezigheid van een WKK, gratis beschikbaar is. In dit Proof of Principle project zal minder CO_2 gedoseerd worden om 2 redenen: een hoge CO_2 concentratie gaat gepaard met een hoge concentratie aan rookgassen in de kas, en dus een hoger risico voor rookgasschade aan het gewas; daarnaast lijkt het gewas toch goed te gedijen met minder CO_2 (De Gelder *et al.* 2012), lijkt het gewas minder gevoelig voor bladrandjes en waarschijnlijk gezonder/minder vatbaar te zijn voor Botrytis.

Er wordt getracht een gezond gewas te krijgen tot aan de kortste dag, met voldoende licht en een plantbelasting in balans met het mindere licht. Op hoofdlijnen dient vooraf een klimaatstrategie te worden opgesteld, met name voor de genoemde kritische grenzen voor het gebruik van LBK en luchtramen. Die hoofdlijnen dienen strakker gehandhaafd te worden dan het afgelopen jaar. Daarnaast is het de bedoeling om microklimaatmetingen in de kas en in het gewas veel directer te gebruiken om gerichte acties te ondernemen, al is het wenselijk om de teelt gelijkmatig en geleidelijk te sturen.

Deze proef moet resultaten opleveren die direct te vertalen zijn naar de praktijk, met voldoende draagkracht en reproduceerbaarheid. Hiermee zou er op korte termijn handvatten aangereikt kunnen worden voor toepassing van HNT bij een belichte teelt in de praktijk. Ook moet deze proef leiden tot het besef dat energiezuinig telen inderdaad mogelijk en noodzakelijk is.

1 Materialen & Methoden

1.1 Teelt & Behandelingen

1.1.1 Teeltcondities

Proefplaats:	GreenQ Improvement Centre in Bleiswijk
Kasafdelingen:	Kasnummer 5, 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 trostomaat, 1 op 1 geënt op Maxifort.
Hoogte gewasdraad:	4.60 m
Plantdatum:	14-10-2011
Stengeldichtheid:	2.5 pl/m ² , in week 51 1 op 4 naar 3.13 en in week 5 1 op 4 (hoofdstengels) naar 3.8 st/m ²
Substraatmat:	Excellent 120*20*7.5, 9 l/m ²
Schermb:	Energiescherm (LS10 ultra plus H2no) Lichthinderscherm 99%
Buitenlucht aanzuiging:	9.5 m ³ /m ²
Belichting:	110 µmol/m ² Son-T; 100 µmol/m ² LED
Verwarming:	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 25-09-2012
Toppen:	Planten zijn getopt in week 32
Trossnoei:	Trossen tot week 49 op 5 vruchten snoeien, daarna op 4 en vanaf week 6 weer op 5 vruchten.

1.1.2 Referentieteelt

De wijze van belichten in deze teelt wordt vergeleken met een model referentieteelt. Deze referentieteelt is voor het ras Komeett gedefinieerd, met een rijafstand van 160 cm. De gebruikelijke teeltmaatregelen worden toegepast. Het gewas in de referentieteelt is geplant in week 38 en de eerste tros bloeit in week 40. De plant wordt gekopt in week 28. In week 29 is de laatste bloei en de laatste oogst valt in week 37. Het gewas wordt belicht met SON-T belichting (215 µmol m⁻² s⁻¹) en een daglengte van 18 uur.

Om de mate van energiebesparing vast te stellen, wordt het energiegebruik berekend, uitgaande van 2500 uren belichten met SON-T lampen (215 µmol m⁻² s⁻¹), de aanvullende thermische energievraag zonder inzet van HNT (buitenluchtontvochtiging, tweede scherm). De benodigde energie daarvoor bedraagt 300 kWh elektrisch en 1080 MJ thermisch. Een besparing van 30% op beide betekent dat er niet meer dan 210 kWh elektrische en 760 MJ thermische energie gebruikt mag worden bij een gelijkblijvende productie.

1.1.3 Behandelingen

Er werden een aantal manieren van energiebesparing toegepast in een tomatenteelt met het ras Komeett in een kas van 1000 m². De teelt is op 14 oktober 2011 gestart en eindigde medio september (week 39) 2012. De teeltstrategie werd afgestemd op de hoeveelheid licht en warmte van de SON-T lampen boven het gewas en de LED-strengen tussen het gewas. De plantbalans werd afgestemd op het lichtaanbod d.m.v. trossnoei, stengeldichtheid en LAI (bladplukken). Sturing van de plantbalans werd bepaald door de teelttechnische begeleidingscommissie.

Om het kasklimaat te sturen werd gebruik gemaakt van ventilatie met een kleine minimumraamstand die op temperatuur eruit ging, een dubbel scherm (lichthinderdoek en energiescherm) waarin op basis van luchtvochtigheid gekierd werd. Er zijn twee typen LED's gebruikt in de kas, de zogenaamde LED productie modules met een door Philips aangegeven lichtoutput van $1.6 \mu\text{mol W}^{-1}$ en de nieuwere zogenaamde LED interlighting modules met een aangegeven lichtoutput van $1.91 \mu\text{mol W}^{-1}$. De LED-tussenbelichting werd in 2 strengen boven elkaar opgehangen, de onderste streng van $50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ kwam laag in de buik van het gewas te hangen en de tweede streng ongeveer 40 cm boven de onderste streng. Deze hoogtes zijn gekozen n.a.v. de ervaringen van de vorige teelt (Dueck *et al.* 2012), om het lichtverlies naar beneden en naar boven toe zo klein mogelijk te houden. De productie modules zijn in het midden van de kas geplaatst (gewasrijen 6 t/m 11) met links en rechts daarvan de interlighting modules. De productiemetingen en gewasregistraties zijn uitgevoerd in het midden gedeelte onder de productie modules.

Bij het begin van de teelt zijn de volgende teeltmaatregelen en sturing van het gewas afgesproken:

1. Gebruik van instrumenten van **HNT** (tweede scherm, ventilatie, kieren met het scherm en buitenluchtontvochtiging) met de kennis opgedaan in het afgelopen teelt. Basis voor de vochtbeheersing is normale ventilatie en kierregeling. Daar waar het nuttig gebruikt kan worden, wordt de ontvochtiging ingezet.

De doorslaggevende beslissingen over inzet van de verschillende maatregelen liggen bij de begeleidingscommissie.

De begeleidingscommissie heeft vooral gekozen voor gemakkelijk gebruik maken van een minimumraamstand aan wind- en luwezijde, zodat vocht en warmte van de belichting snel afgevoerd kunnen worden. Maar wel zodat bij lagere temperaturen de ramen weer snel sloten. Deze manier van luchten heeft het een vergelijkbaar effect als geforceerd ventileren, maar vraagt geen investeringen in een installatie. Als het goed wordt ingezet wordt het energieverbruik niet verhoogd door deze maatregel.

2. Belichting. Uitgangspunten hierbij zijn de benodigde lichtsom op basis van de plantgroei en -belasting berekend vanuit het gewasmodel. Hiermee wordt de benodigde hoeveelheid licht per dag gegeven op basis van de benodigde gemiddelde lichtsom voor de plantbelasting. Dat betekent dat er wordt gekeken naar de hoeveelheid licht dat het gewas heeft gekregen in de laatste 3 dagen en naar de lichtvoorspellingen voor de komende 3 dagen. Gewerkt wordt met een maximale belichtingscapaciteit van $210 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ die wordt ingezet pas als de benodigde lichtsom niet wordt gehaald. Er wordt altijd belicht tussen bepaalde niveaus van instraling: bij 150 W instraling wordt SON-T en LED gebruikt; bij 250 W instraling gaat SON-T uit; bij 400 W straling gaan ook de LED's uit.

Voor de kortste dag wordt belicht om een krachtig gewas op te bouwen, maar ook in deze fase wordt rekening gehouden met de assimilatievraag van de plant. Na de kortste dag wordt er een opwaartse lichtbehoefte berekend als leidraad voor de benodigde hoeveelheid licht. Wanneer de PAR-som wordt overschreden, worden of de SON-T lampen overdag uitgezet, of wordt de belichtingstijd ingekort. Dit wordt in een calculatieprogramma meegenomen met een lichtintegratie van 3 dagen. Indien dat onvoldoende energiebesparing tot gevolg heeft, wordt minder belicht (kortere belichtingsduur of SON-T tijdelijk uitzetten).

Bij dit alles wordt voldaan aan de geldende lichtregels en eisen voor 2017 om aan te tonen dat dit mogelijk is zonder productieverlies.

3. CO₂. Gebleken is dat de productie van tomaat onder 50% reductie van de CO₂ niet hoeft te lijden (De Gelder *et al.* 2012) en dat er aan deze planten minder bladrandjes waargenomen wordt. Dat zou kunnen betekenen dat er minder kans op Botrytisinfestatie is. Daarnaast is het zo dat doseren van CO₂ uit de WKK een verhoogd risico van rookgassen met zich meebrengt. In deze teelt wordt daarom minder CO₂ gedoseerd, richtlijn 600 ppm CO₂ tot maximaal 800 ppm CO₂, in afhankelijkheid van lichtintensiteit en mate van ventilatie.

4. Temperatuur. Indien mogelijk wordt er iets warmer geteeld (b.v. +1 °C). Een m³ lucht bevat dan meer vocht, waarmee de vochtafvoerefficiëntie verhoogd wordt. Een verhoogde afvoerefficiëntie leidt dan tot minder energieverbruik en een gelijkmatiger temperatuurverdeling (dat is dan wel een vereiste) en zou moeten voorkomen dat condensatie (vooral onderin) tot Botrytis leidt. Dit is een optie waaraan modelmatig gerekend kan worden.

Een gelijkmatige temperatuurverdeling wordt nagestreefd (minder veranderingen in setpoints), vooral in de wintermaanden.

5. Teelt. Voor de kortste dag worden geen extra stengels aangehouden. Met een rijafstand van 160 cm en het hanteren van een robuuste klimaatstrategie wordt het gewas gelijkmatiger (vlakker) geteeld. Na de kortste dag, met toenemend licht mag de sinksterkte toenemen en kunnen extra stengels worden aangehouden op basis van de PAR-som. Er kan dan gemakkelijker gestuurd worden op een verbeterde assimilatenbalans met als gevolg een hogere weerbaarheid tegen Botrytis.

1.2 Metingen

1.2.1 Kasklimaatregistratie

De setpoints en het gerealiseerde klimaat in de kassen werden elke 5 minuten geregistreerd met de Priva-klimaatcomputer. Daarbij werden de kasluchttemperatuur, relatieve luchtvochtigheid, het vochtdeficiet, de CO₂-concentratie, raamstand en globale straling buiten de kas gemeten en opgeslagen. In aanvulling op de kasklimaatgegevens van de meetbox, waren er ook 5 meetboxen die de kasluchttemperatuur, relatieve luchtvochtigheid en het vochtdeficiet registreerde op 5 hoogtes in de kas: midden in het gewas, bij de kop van het gewas, onder, boven en tussen de schermen.

1.2.2 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 uitgevoerd op 26 januari en 4 juni 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 uitgevoerd boven het gewas om de relatieve lichtintensiteit te bepalen. Deze geeft de mate van lichtonderschepping aan.

1.2.3 Waterverbruik

De watergift en drain werd gemeten om de hoeveelheid water voor de groei en verdamping in te kunnen schatten. De watergift per kas werd berekend aan de hand van de gift per minuut van de druppelaars vermenigvuldigd met de druppeltijd. De drain werd van de hele kasafdeling gemeten en geregistreerd via de klimaatcomputer.

1.2.4 Plantregistraties en destructieve oogst

1.2.4.1 Plantwaarnemingen

De gewasgroei werd wekelijks gemonitord door aan 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
- afgeronde tros
- gezette tros
- aantal gezette vruchten
- plantbelasting
- geoogste tros

1.2.4.2 Waarnemingen Botrytis aantasting

Het aantal planten aangetast met Botrytis (op stengels) en het aantal dode planten in elke rij werden geteld. Een uitgebreide registratie is uitgevoerd in januari en februari 2012.

1.2.4.3 Bladmorfologie

In de winter en het voorjaar werden bladeren destructief geoogst bovenin en onderin het gewas. Bij deze bepalingen 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 [m^2]
- LAI [$\text{m}^2 \text{m}^{-2}$]
- SLA per plant (specific leaf area) [$\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$]

1.2.4.4 Productie

Per goot werden de volgende oogstwaarnemingen uitgevoerd:

- bruto gewicht geoogste trossen (klasse I)

Het gemiddeld vruchtgewicht werd bepaald door het meten van een monster van de hele kas. Het gemiddelde vruchtgewicht werd berekend op basis van het gewicht en aantal vruchten van een monster van ongeveer 30 vruchten en later van ongeveer 90 vruchten.

1.2.5 Bladrandjes

Op elke waarnemingsdag werd per plant het aantal deelblaadjes van de 10 bovenste bladeren gescoord op bladrandjes. De mate van bladrandjes per blaadje wordt dus niet gescoord. De waarnemingen zijn verricht op 3 vaste plaatsen in de kas bij 10 planten per veld. Eén blad heeft 8 à 9 kleine blaadjes.

1.2.6 PR-eiwitten (pathogen related proteins)

Het niveau van PR-eiwitten werd gemeten om na te gaan of telen onder dit belichtingssysteem in verband gebracht kon worden met systemische plantweerbaarheid. Op iedere locatie werden controleplanten bemonsterd die van tevoren waren behandeld met de chemische weerbaarheidsinducer INA (1,4-dihydroisonicotinic acid), ter bevestiging van een positieve enzymreactie. Bij selectie van de overige planten, zonder voorbehandeling met INA, werd er op gelet dat deze geen zichtbare ziektesymptomen van bijv. Botrytis vertoonden. De expressie van PR-2 (β -1,3-glucanase activiteit) en van twee andere weerbaarheidsgerelateerde enzymen (endo- en exochitinase) werden bepaald in het lab bij PRI in Wageningen.

1.2.7 Energieverbruik

De branduren van de lampen werden geregistreerd en de elektriciteit van de SON-T- en LED-belichting in de afdeling werd gemeten. Daarmee werden de energiekosten berekend met de aanname dat alle LED's uit interlighting LED's met de hoogste efficiëntie bestonden. De voor de buitenlucht aanzuiging benodigde elektrische energie werd apart gemeten. Het stroomverbruik in de kas was dus de elektriciteit die nodig was voor zowel de belichting als ontvochtiging. De thermische energie werd ook gemeten om samen met de elektrische energie tot het totale energieverbruik te komen.

2 Resultaten & Discussie

2.2.1 Verloop van de teelt

Het onderstaande overzicht is gemaakt op basis van de wekelijkse verslagen van Piet Hein van Baar.

De planten van het ras Komeett zijn op 14 oktober 2010 in de kas gekomen. Dit was iets eerder dan gepland. Omdat de eerste tros nog niet bloeide, is de plant in het begin beheerst door de plant nog naast het plantgat te zetten en beperkt water te geven, waardoor de EC tot ca. 9 mS/cm opliep. Daarnaast is er de eerste weken (tot week 45) geschermd bij een instraling boven de 350 W/m² van 11.00 à 12.00 uur tot 15.00 à 16.00 uur.

Week 44: Op 2 november zijn de planten op de mat gegaan.

Week 45: Het gewas staat iets te zwaar, terwijl de zetting op de 1^e en 2^e tros wel regelmatig was.

Week 46: De koppen zijn wat wisselend in kracht, maar in het algemeen zijn ze aan de zwakke kant. Daarom wordt de stooktemperatuur wat verlaagd.

Rond week 48 heeft het gewas het wat moeilijk, maar in week 50 laat het gewas weer herstel zien in de bovenste 30 cm. Wel blijft er een behoorlijke variatie in kracht tussen de stengels. De kracht in de kop is gemiddeld net voldoende. Vanaf week 50 wordt de groeibuis als eerste verwarmingsnet gebruikt. In tegenstelling tot vorig jaar is de plant nog vrij van bladrandjes. Bladrandjes worden begin januari wel in het gewas gezien, maar drogen dan nog goed op.

Week 2: Ter hoogte van de tweede tros worden er wat botrytisplekken gevonden. In de periode dat deze tros is gezet, is er een aanpassing in het klimaat uitgevoerd, waarbij de etmaaltemperatuur van de ene op de andere dag met een graad is verlaagd. Dit kan een oorzaak van het ontstaan van zwakte zijn geweest. De kwaliteit van de geoogste tomaten is erg goed. In de praktijk worden er in deze periode tomaten met een zwakke kwaliteit ofwel korte houdbaarheid geoogst. De stengels worden vanaf nu frequent gecontroleerd op botrytis en eventueel met een middel behandeld. In deze periode is naar voren gekomen dat het aanpassen van het aantal belichtingsuren op de verkregen en voorspelde hoeveelheid licht, geen negatieve gevolgen hoeft te hebben voor de groei van het gewas.

Week 3: De kwaliteit van de vruchten begint af te nemen. De vruchten zijn wat bont en als ze eenmaal rood zijn verliezen ze hun stevigheid te snel. Daarom wordt er tijdelijk twee maal per week geoogst. Botrytis lijkt nu goed onder controle.

Week 4: De kop is groeizaam en generatief, hoewel deze aan het eind van de week aan kracht verliest door weinig instraling. Aan de hand van de planning is wel maximaal, dat is 16 uur, belicht. In het algemeen blijft de kop echter zeer constant doorgroeien. Dit is waarschijnlijk vooral het resultaat van weinig wijzigingen in het klimaat doorvoeren. Bladpunten blijven erin komen en er zijn nu meer bladpunten die niet goed opdrogen en waar de botrytis verder groeit. De kwaliteit van de vruchten is weer goed: vruchten voelen weer stevig aan.

Week 7: De kop staat nu goed op kleur, is de afgelopen dagen wel weer wat dunner geworden maar laat nog wel voldoende kracht zien. Kwaliteit van het blad is wisselend, van virusbeeld tot weer beter aan het opvullen. Blad van ongeveer 30 cm lang laat regelmatig een bladpunt zien. De trossen zijn sterk en mooi generatief. Aanpassingen in het klimaat zijn niet nodig omdat de plant nog steeds een mooie regelmaat in opbouw laat zien.

Week 8: De kop heeft deze week behoorlijk aan kracht ingeleverd en is flink dunner geworden. Het bladoppervlak van de bladeren in de kop neemt af en het virus is ook meer zichtbaar in de kop. Ook lijkt het aantal bloemen in de bovenste tros af te nemen. Dit alles is hoogstwaarschijnlijk een gevolg van een gebrek aan licht. Daarom zal er meer worden belicht.

Week 11: De kop toont nog zwak en er zijn nog steeds bladrandjes met daarop botrytis. Deze bladpunten worden zoveel mogelijk verwijderd. De zetting verloopt goed.

Week 12: De koppen staan beduidend beter dan in voorgaande week. Indien nodig worden er bij zwakke planten één of meer trossen verwijderd. De hoeveelheid bladrandjes lijkt minder te worden. Bladbotrytis blijft de aandacht vragen. Daarnaast hebben bestaande plekken op de stam de neiging om weer door te groeien.

Week 13: Stand van het gewas is goed en de kop heeft een goede kleur. Het aantal bladrandjes neemt verder af. Botrytis blijft veel aandacht vragen. Deze week zijn de aangetaste bladpunten weer verwijderd en zijn botrytisplekken op de stam behandeld.

Week 13/14: Stand van het gewas is voldoende. Ongeveer 5% van de planten staat wat te dun en bij deze planten is een tros verwijderd. Regelmatig worden er weer wat virussyndromen zichtbaar. Ook vertonen de bladpunten weer meer bladrandjes. Wel is de tros nog steeds krachtig genoeg. Wekelijks worden aangetaste bladrandjes verwijderd.

Week 15: De stand van het gewas is meer wisselend aan het worden. Van planten die er voldoende krachtig bij staan tot planten die duidelijk laten zien dat ze het zwaar hebben. De kwaliteit van het blad is matig, regelmatig worden er bladrandjes gezien en het blad staat wat gevlekt. De botrytis is nu goed onder controle. Het gewas vraagt duidelijk om meer licht.

Week 16/17: De kwaliteit van het blad in de kop verbetert en het aantal nieuwe bladpunten neemt af. Het bladoppervlak is nog aan de magere kant, wat de kop schraal maakt. De groei van de kop zou krachtiger mogen zijn en er komen meer zwakke planten bij. Net gezette vruchten groeien wat traag uit. Er wordt twee maal per week geoogst om de plant zo veel mogelijk te ontlasten. Vanaf nu wordt er echter niet meer belicht.

Week 18: De stand van het gewas wordt met de dag zwakker als gevolg van het gebrek aan licht. Op zich valt de kleur van de kop en kwaliteit van het blad nog mee. Bladranden zijn in de bovenste 40 cm van de plant niet te zien. Daaronder zitten echter wel bladeren met 'gevaarlijke' bladranden. De tros is zwak: een fletse bloemkleur, onregelmatige bloei en zetting. Daarom wordt er de komende tijd op -3 vruchten gesnoeid. Daarnaast zullen enkele puntvruchten alsnog worden verwijderd.

Week 19: Het gewas heeft een frisse groeikleur, maar heeft nog steeds lichttekort. De kwaliteit van het blad in de kop is goed en het blad is vrij van bladranden/punten. De kop is wisselend van kracht. De nu zettende trossen zijn zwak en worden voor 80% op 4 gesnoeid bij snoeien op -3.

Week 20: Als gevolg van meer licht laat de plant in de kop een prima herstel zien. De kwaliteit van het blad is wat wisselend, vooral de zwakkere koppen zijn gevoelig voor een bladrand en bladpunt. Gemiddeld genomen staat er weer een gewas met voldoende kracht. Het aantal bloemen ligt gemiddeld op zeven per tros wat aangeeft dat de plant nog steeds herstellende is van de voorgaande donkere periode. Vooral de zwakkere planten hebben moeite met een goede zetting. De kwaliteit van de geoogste tomaten is prima.

Week 21: De planten staan wat wisselend van kracht maar over het algemeen gaat het redelijk. Er komen geen nieuwe bladranden meer bij. De koppen zijn wisselend van sterk naar dun, ongeveer 10% van de koppen staat dun en zwak. De tros heeft ruim voldoende kracht.

Week 23: Het gewas is sterk achteruit gegaan en laat duidelijk zien veel last te hebben van de warmte en de daarmee gepaard gaande veel te hoge etmaaltemperaturen. Het blad in de kop is grijs van kleur en neemt in oppervlakte sterk af. De stengels zijn donker van kleur. Bladrandjes zijn niet veel te zien. De kop is te dun, staat erg generatief en is matig van kleur. De tros ontwikkelt hoog in de kop, staat wel goed afgebogen maar is te zwak. De bloei kruipt steeds verder omhoog met een fletse bloemkleur. Botrytis is goed onder controle met nog een enkele doorschietende bladpunt.

Week 24: De planten staan behoorlijk wisselend in kracht. Vooral de zwakkere planten laten een licht virusbeeld in de kop zien en het bladoppervlak is daardoor ook aan de krappe kant. Het blad is wel gezond en laat geen bladpunten zien. De koppen staan redelijk op kleur maar met ongeveer 20% staan er te veel zwakke koppen tussen. Door het geringe bladoppervlak geeft het gewas bovenin een behoorlijk open indruk. Van zwakke planten wordt een tros verwijderd.

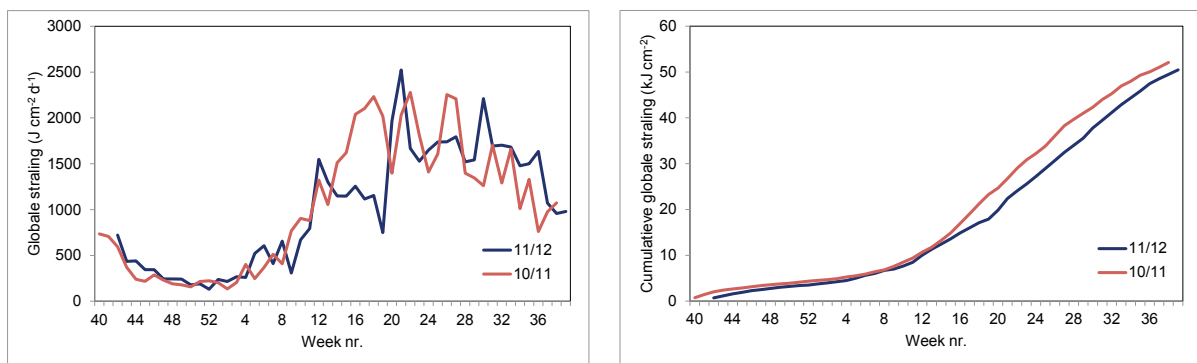
Week 25: De stand van het gewas blijft sterk wisselend. Het virusbeeld is nu grotendeels weer verdwenen. De koppen zijn over het algemeen nog aan de dunne kant maar de kracht neemt deze week toe.

De kleur van de kop is goed met een frisse groeikleur. De kwaliteit van het blad is wisselend, het oppervlak in de kop is nog krap en enkele bladrandjes zijn aanwezig. Door te snoeien op -3 staan de meeste trossen op 4 vruchten.

Week 29: Het gewas vraagt om meer licht: koppen hebben net voldoende kracht, gewas is vrij open, tros ontwikkelt hoog in de kop, zetting gaat redelijk. Botrytis blijft op de stengels sluimerend aanwezig, op de bladeren zijn er weinig nieuwe plekken en de paar bladranden drogen goed in.

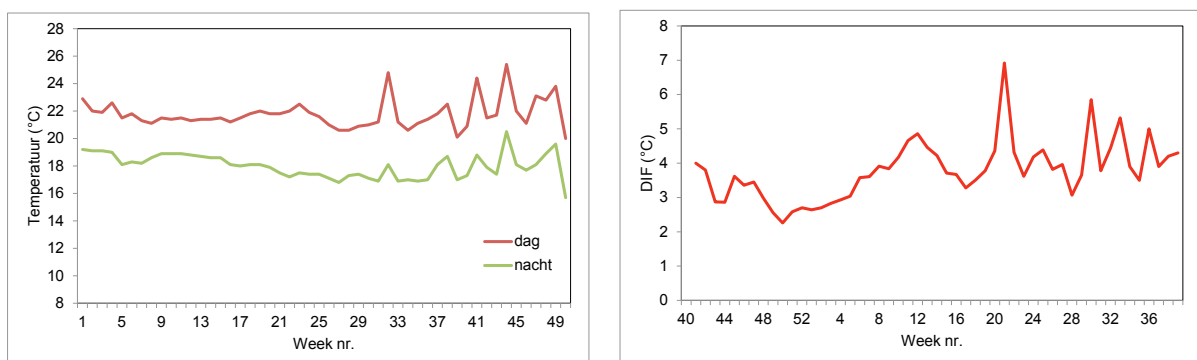
Week 27: Aan het gewas is goed te zien dat het al aardig op leeftijd is; er is weinig herstel door het mooie weer. Het kan de hitte wel goed verdragen, slappe blaadjes worden niet gezien, maar de koppen worden niet veel zwaarder. Het gewas blijft wat schraal in de kop. De tros ziet er goed uit gezien de stand en het aantal bloemen. Wel is er wat minder regelmaat in de bloei te zien. Vanaf deze week wordt er op 5 gesnoeid omdat het einde van de teelt in zicht is.

2.2.2 Klimaatregistratie



Figuur 1. Gemiddelde en cumulatieve globale straling ($\text{J cm}^2 \text{dag}^{-1}$) buiten de kas.

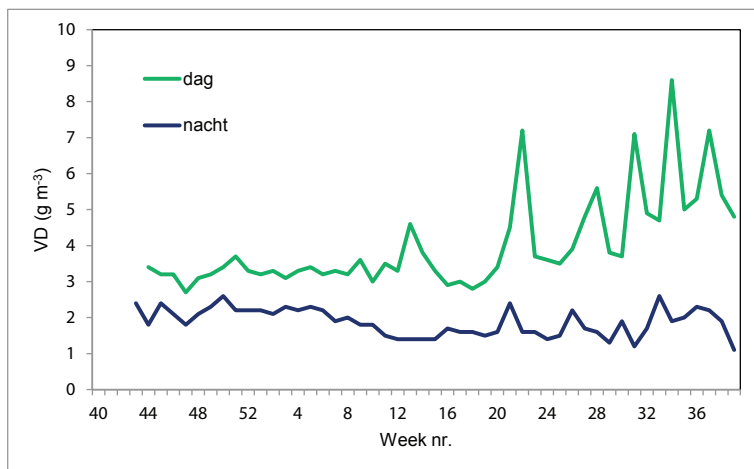
Over de gehele teelt gezien was er minder zonlicht beschikbaar voor deze teelt in vergelijking met die van 2010/2011 (Figuur 1.). Vanaf het begin van de teelt tot en met week 14 was de globale straling nagenoeg gelijk aan die van de vorige teelt, met 13.3 kJ in 2011 en 12.5 kJ in 2012. Daarna nam de hoeveelheid zonlicht af t.o.v. 2011 en vooral in mei werd het verschil groot. Uiteindelijk heeft deze teelt 49.5 kJ cm^{-2} globale straling gekregen in vergelijking met de 52.9 kJ cm^{-2} in de teelt van 10/11. Dit had gevolgen voor de hoeveelheid beschikbaar licht vooral na medio april toen gestopt is met belichting. In totaal was er een verschil van 3500 J cm^{-2} globale straling tijdens de gehele teelt.



Figuur 2. Gemiddelde dag- en nachttemperatuur ($^{\circ}\text{C}$) met de bijbehorende DIF in de kas.

De etmaaltemperatuur (Figuur 2.) was vrij gelijkmatig t/m week 20 waarna er enkele pieken voorkwamen, met enkele warme zomerse dagen als oorzaak.

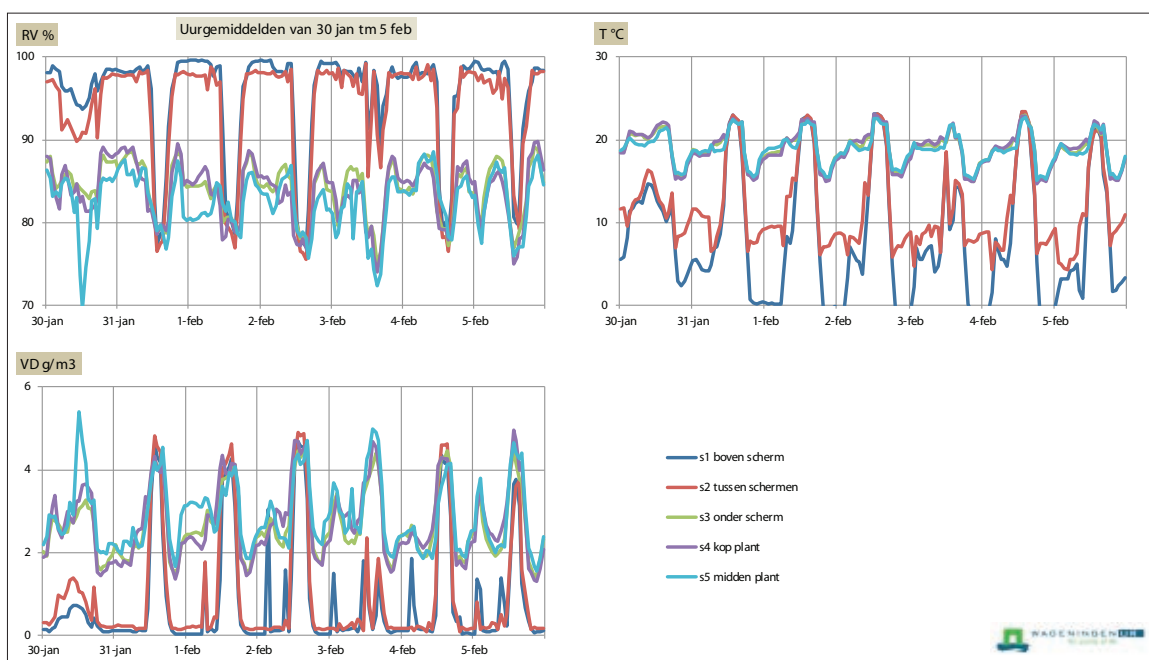
De DIF in de teelt was iets lager (DIF 3-4) tijdens het belichtingsseizoen in vergelijking met de teelt van 2010/2011, waar de DIF schommelde rond de 5 °C.



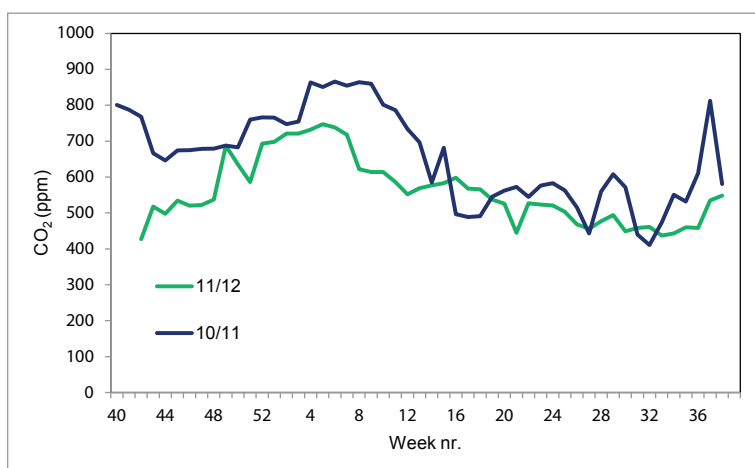
Figuur 3. Gemiddeld vochtdeficiet (g m^{-3}) overdag en 's nachts.

Het gemiddeld vochtdeficiet is zowel overdag als 's nachts tot ca. week 12 vrij constant en schommelt respectievelijk rond de 3 en 2 g m^{-3} . Daarna varieert deze meer als gevolg van de weersomstandigheden en de mate van ventilatie (Figuur 3.).

In Figuur 4. zijn de kasluchttemperatuur, RV en VD weergegeven in een verticaal traject in de kas voor één van de winterweken tijdens het belichtingsseizoen. De kasluchttemperatuur in het gewas schommelde rond de 20 °C, bijna 10 °C hoger dan de temperatuur boven de schermen. De temperatuur tussen de schermen geeft goed aan of de schermen open, dan wel dicht waren. De RV en VD laten een vergelijkbaar beeld zien, met de luchtvochtigheid onder de scherm op een zeer vergelijkbaar niveau als in het gewas. Hoger in de kas was de luchtvochtigheid zeer hoog, vaak boven de 90%, en zakte naar het niveau in het gewas, ca. 80% overdag wanneer de schermen vaker open waren.



Figuur 4. Uurgemiddelde van de kasluchttemperatuur (°C), de relatieve luchtvochtigheid (%) en het vochtdeficiet (g m^{-3}) op 5 hoogtes in de kas in de week van 30 januari - 5 februari.



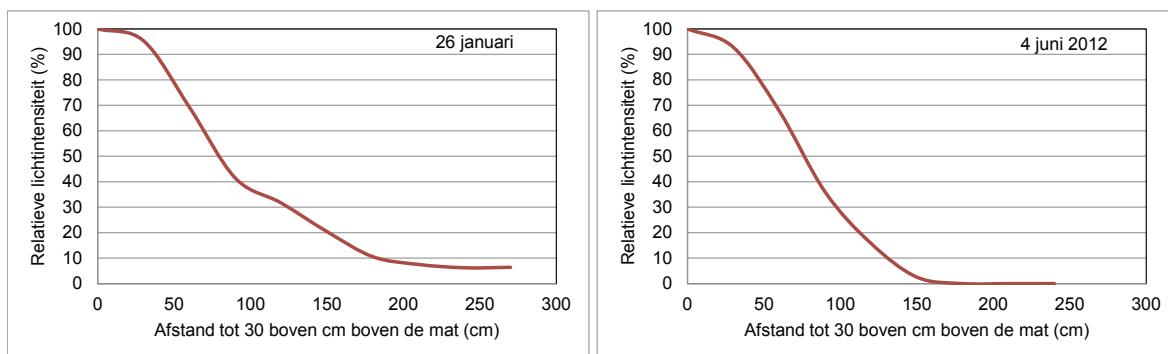
Figuur 5. Gemiddelde dag CO₂-concentratie (ppm) in de kaslucht in de huidige teelt (11/12) en in de vorige teelt (10/11).

Eén van de doelstellingen in deze teelt was te telen met minder CO₂. De gehanteerde richtlijn voor de CO₂ concentratie in de kas was 600 ppm, met een maximum van 800 ppm, afhankelijk van de mate van belichting. De gerealiseerde CO₂-concentratie in de kas overdag was gemiddeld 560 ppm (Figuur 5.), wat overeenkomt met de doelstelling en was ca. 100 ppm lager dan in de teelt van 10/11.

Het was de bedoeling om daarbij de CO₂-dosering te meten om de hoeveelheid gebruikte CO₂ per m² in kaart te brengen. De faciliteit daarvoor was in april gereed, maar omdat het na het belichtingsseizoen was, is het verder niet benut. Echter, uit de realiseerde CO₂-concentratie in de kas is het duidelijk dat er relatief weinig CO₂ werd gedoseerd en desondanks werd er een goed producerend gewas geteeld.

2.2.3 Lichtonderschepping

De lichtonderschepping werd gemeten in de winter toen er werd belicht en later een keer in de zomer. De lichtonderschepping gemeten in januari en in juni vertoonde in de eerste meter van het gewas een vergelijkbaar beeld. Maar doordat er in januari meer licht werd gemeten in het gewas van 1 tot 2 meter vanaf de kop van het gewas, was er in januari lager in het gewas relatief meer licht beschikbaar (Figuur 6.). Anders gezegd, het gewas was in juni voller met een hogere LAI en had ook meer lichtonderschepping. Dit is het gevolg van een hogere stengeldichtheid en waarschijnlijk grotere (bredere) bladeren.



Figuur 6. Lichtintensiteit op verschillende hoogtes in het gewas in de winter en zomer van 2012.

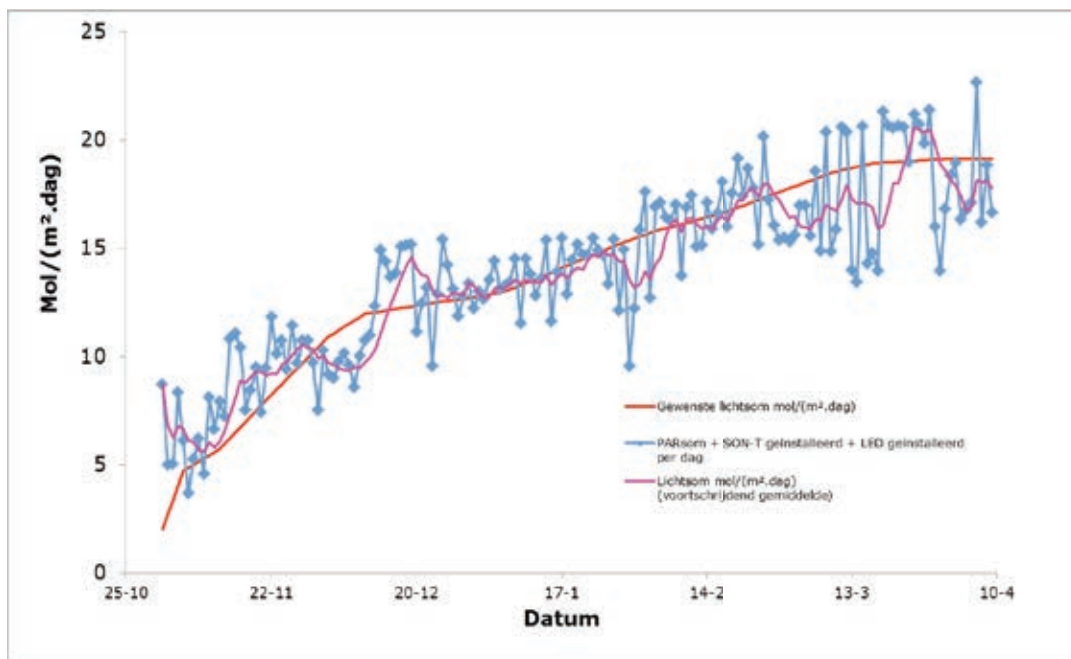
2.2.4 Belichting

2.2.4.1 Planning en uitvoering belichting

In het projectplan voor de teelt 2011-2012 was voorzien in een strategie om te belichten op basis van de benodigde lichtsom en de geïnstalleerde lichtintensiteit op dezelfde wijze als bij het project HNT en Gerbera. Hierbij werd lichtintegratie toegepast, d.w.z. er werd belicht op basis van de benodigde gemiddelde lichtsom voor plantbelasting over een tijd van 3 dagen. Gewerkt werd met een maximale belichtingscapaciteit van $210 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ die alleen werd ingezet als de benodigde lichtsom niet werd gehaald. Wanneer de PAR-som werd overschreden, werd de belichtingstijd voor SON-T of LED lampen ingekort. De maximale belichtingsduur per dag was 16 uur. Bij dit alles en het gebruik van een 99% lichthinderscherm werd voldaan aan de geldende lichtregels en eisen voor 2017 om aan te tonen dat dit mogelijk is zonder productieverlies.

Om de berekening voor de gewenste belichting te maken is eerst een inschatting gemaakt van de assimilatenvraag gegeven de plantdatum, het aantal stengels per m^2 en het snoeibeleid. Als basisinformatie hiervoor zijn berekeningen gebruikt die door Plant Dynamics gemaakt zijn op grond van de teelt 2010-2011. Omdat deze gegevens slechts beschikbaar waren tot week 1 zijn de gegevens op basis van deskundig inzicht uitgebreid voor het gehele belichtingsseizoen. De gewenste lichtsommen waren beschikbaar per week. De berekende assimilatenvraag van het gewas is omgerekend naar een gevraagde lichtsom per dag voor PAR licht uitgedrukt in $\text{Mol}/(\text{m}^2.\text{dag})$. Omdat een plant niet in sprongen per week verandert in assimilatenvraag, is de gewenste lichtsom per dag berekend als een voortschrijdend gemiddelde over 7 dagen.

Om te berekenen wat de gewenste belichting per dag is, wordt verder gebruik gemaakt van de gemeten PAR-som van 2 LICOR 190 quantum sensoren die hoog in de kas waren gemonteerd. Omdat ze nog wel enige straling van de SON-T en LED lampen opvingen, is voor de nachturen berekend wat het effect van de SON-T en LED op de meting van de PAR sensoren was. Voor deze waarde zijn de metingen van de PAR sensoren gedurende alle belichtingsuren gecorrigeerd zodat een goede meting van de hoeveelheid PAR op basis van natuurlijk licht in de kas overbleef. De r^2 van de regressielijn tussen globale straling en berekende PAR in de kas per dag was 0.88. Bij de op deze wijze gecorrigeerde gemeten PAR van natuurlijk licht wordt de PAR som van de lampen gegeven het geïnstalleerde vermogen $110 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ SON-T en $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ LED en de belichtingsduur per dag opgeteld. Hiermee is bekend wat de plant per dag aan licht heeft gehad. Vervolgens wordt op basis van de weersverwachting gekeken wat de verwachte PARsom in de kas voor die dag zal zijn. Het ontbrekende deel wordt zonodig aangevuld met uren assimilatie belichting. Als er echter in de dagen ervoor te veel natuurlijk licht is geweest ten opzichte van de vraag of juist te weinig licht is gegeven, wordt dit in de te geven belichtingsuren meegenomen. Bij een overschot van assimilaten uit de dagen daarvoor wordt er minder uren belicht. Bij een tekort aan assimilaten wordt er extra uren belicht.



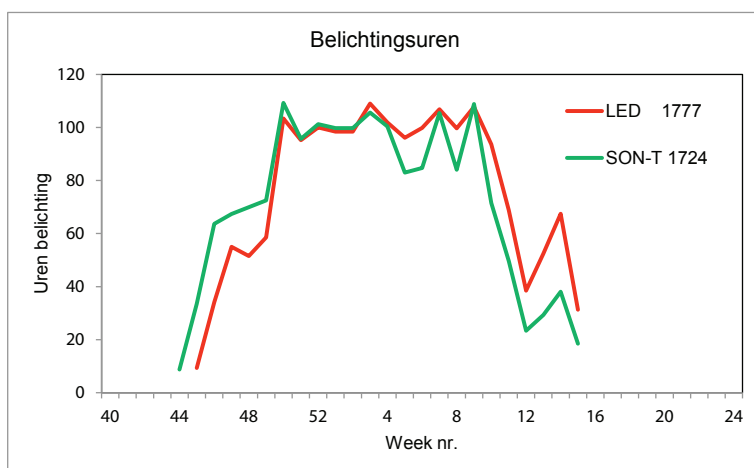
Figuur 7. Belichtingsstrategie met daarin de gewenste lichtsom ($\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$) en de gerealiseerde lichtsom per dag (zonlicht PARsom + SON-T geïnstalleerd + LED geïnstalleerd) en als voortschrijdende gemiddelde over 7 dagen.

Het resultaat van de belichtingsstrategie voor gewenste en gegeven lichtsom is te zien in Figuur 7. Bij de start van het belichtingsseizoen heeft het correct berekenen voor een aantal onregelmatigheden gezorgd. In maart werd de belichting wel berekend, maar op basis van lichtintensiteit overdag uitgeschakeld waarna in de nacht onvoldoende het gebrek aan licht dat toch ontstond, werd gecorrigeerd.

Over het belichtingsseizoen gezien is de belichting goed verlopen en zo ook op energie bespaard, omdat gericht belicht werd op basis van de plantbehoefte. Bij de uitvoering is deze benadering van de belichting een hulpmiddel geweest. De stand van het gewas, zoals kopdikte en zetting, waren belangrijke indicatoren voor de beoordeling of de belichtingsstrategie juist werd uitgevoerd.

Deze wijze van berekenen van het gewenste aantal uren belichting is vooral belangrijk voor het begin en einde van het belichtingsseizoen. Rond de kortste dag is 16 uur belichting standaard nodig. Verder kan deze berekeningswijze aangeven of de geplande teeltstrategie mogelijk wegens lichttekort tot problemen zal leiden. Bijvoorbeeld als rond 1 januari te veel of te snel extra stengels worden bijgemaakt.

2.2.4.2 Realisatie belichting

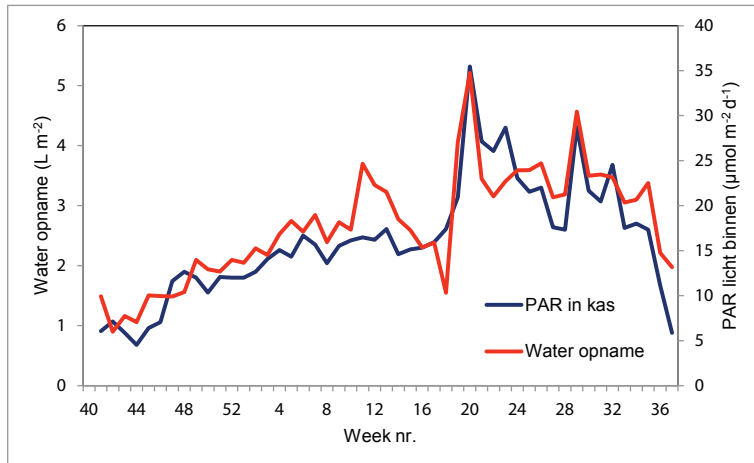


Figuur 8. Het aantal belichtingsuren per week van de SON-T en LED belichtingsystemen tijdens de teelt. Het totaal aantal uren per systeem is in de legenda weergegeven.

In tegenstelling tot de teelt van 2010/2011 (Dueck *et al.* 2012) is er na week 16 niet meer belicht, ook niet met alleen de LED's (Figuur 8.). In de praktijk is dit wel gebeurd vanwege het relatief donkere voorjaar. Tijdens de teelt is er meer gebruik gemaakt van de SON-T belichting omdat de LED's in het begin van de teelt te hoog hingen, waardoor het gewas te weinig licht op kon vangen en ook omdat het gewas meer warmtebehoefte had.

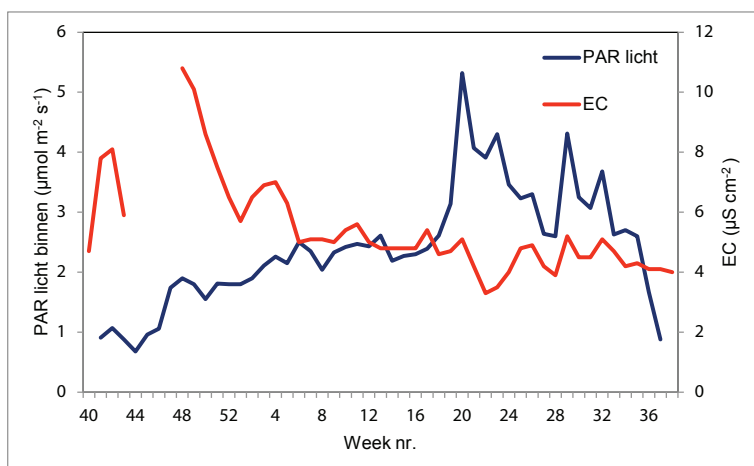
In het voorjaar werd er meer belicht met de tussenLED's om het gewas meer licht te geven zonder te veel extra warmte toevoeging.

2.2.5 Waterverbruik



Figuur 9. Wateropname (L m⁻²) en hoeveelheid PAR licht (μmol m⁻² d⁻¹) in de kas gedurende de teelt.

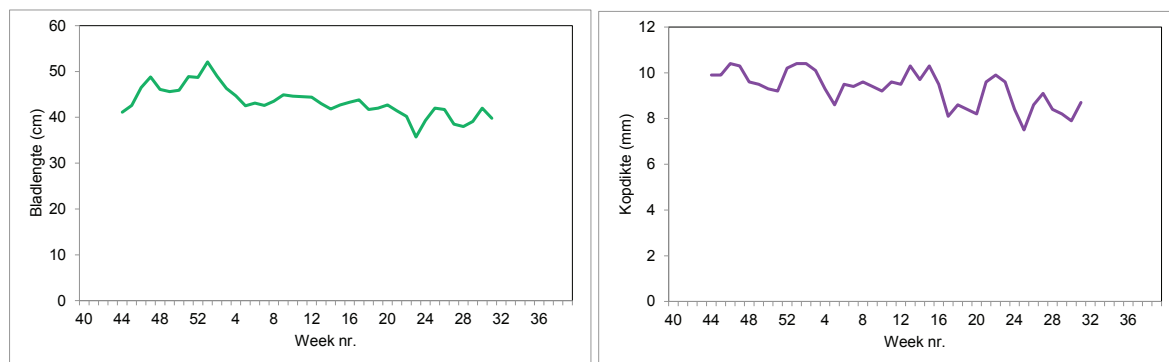
De hoeveelheid water dat door het gewas is opgenomen, volgde de hoeveelheid PAR licht in de kas heel erg goed (Figuur 9.). Dit impliceert dat het opgenomen water grotendeels wordt verdampt via het gewas, en dat de mate van verdamping direct gerelateerd kan worden aan de hoeveelheid beschikbaar licht. In de winter draagt de belichting bij aan de verdamping. Omdat vrijwel altijd LED en SON-T is gebruikt kan geen informatie worden afgeleid over de bijdrage van LED of SON-T aan de verdamping.



Figuur 10. EC van het drainwater (mS cm⁻¹) en hoeveelheid PAR licht (μmol m⁻² d⁻¹) in de kas gedurende de teelt.

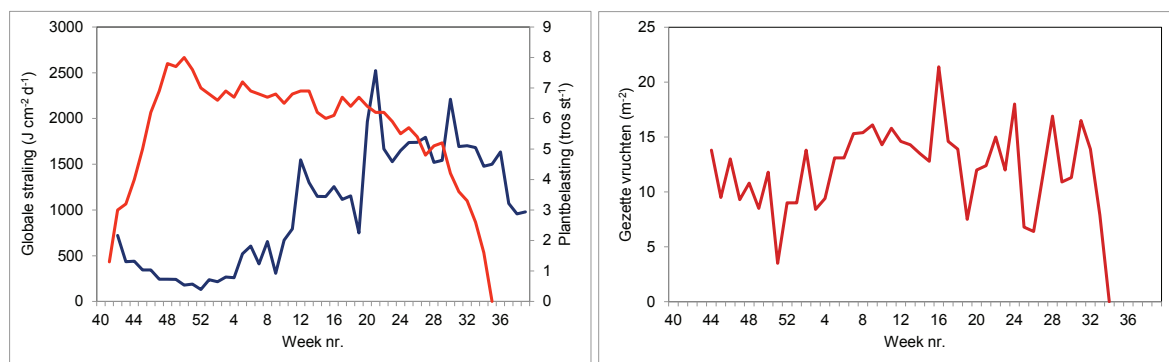
In het begin is de EC van het drainwater hoog omdat de vegetatieve groei van de plant sterk geremd moet worden via een beperkte watergift en hoge EC van het druppelwater. Vanaf week 10 is de drain-EC aan de lage kant en schommelt deze rond de 4 mS cm⁻¹ (Figuur 10.). Dit is het gevolg van een relatief lage druppel-EC van 3.0 mS cm⁻¹ of lager en een sterke opname van voedingsstoffen door de plant.

2.2.6 Plantregistraties en destructieve oogst



Figuur 11. Bladlengte (cm) en kopdikte (mm) wekelijks gemeten tijdens de teelt.

De bladlengte schommelt globaal tussen de 50 en 40 cm en lijkt in de tijd iets af te nemen (Figuur 11.). De kopdikte was met een waarde van net onder de 10 mm acceptabel. Beide parameters suggereren een regelmatige groei en plantbelasting gedurende de teelt.



Figuur 12. Plantbelasting in rood (aantal gezette trossen stengel⁻¹) met de globale straling in blauw ($J\ cm^{-2}\ d^{-1}$) en gezette vruchten (aantal m^2) wekelijks gemeten in de teelt.

De plantbelasting (uitgedrukt in aantal trossen stengel⁻¹) bereikte het hoogste niveau van 8 trossen per stengel in week 48 en nam daarna geleidelijk af naar 6 in week 24 (Figuur 12.). Na eind juni nam het aantal trossen per stengel sneller af dan in de vorige teelt (2010/2011).

Net als in de teelt van 2010/2011 werd een sterke dip in het aantal gezette vruchten geconstateerd in weken 50 tot 3. Daarna volgde een stabiele periode. In de zomermaanden vertoonde het aantal gezette vruchten een aantal sterke schommelingen, hoogstwaarschijnlijk als gevolg van de weersomstandigheden.

Tabel 1. Percentage drogestof (%) en specifiek bladoppervlak (SLA, $cm^2\ g^{-1}$) van volgroeide bladeren bovenin (vanaf 6^e blad van boven) en onderin het gewas, en de LAI ($m^2\ m^{-2}$) in de winter en het voorjaar van 2012.

Datum	Blad bovenin		Blad onderin		Blad totaal
	%DS	SLA	%DS	SLA	LAI
4 januari	8.8	232	9.1	247	2.94
7 februari	10.5	195	9.6	172	3.11
12 maart	8.3	245	9.3	174	3.21
18 april	11.3	188	9.2	195	3.39

Het drogestof percentage, specifiek bladoppervlak en de LAI werd op 4 momenten bepaald. Zoals te verwachten valt, neemt de LAI in de tijd toe, al zijn de verschillen niet groot. Bij de bladeren bovenin het gewas, daar waar licht het meest directe effect heeft op het drogestof gehalte, is het enigszins verrassend dat er een hoger %ds en lager SLA bij het blad gemeten werd in februari en april. Hier is geen duidelijke verklaring voor. In het project gelimiteerd CO₂ en het nieuwe telen tomaat was de SLA in het begin van de teelt in februari 300 cm²g⁻¹ en in de maanden mei, september en november varieerde het tussen 120 en 180 cm²g⁻¹. Dus ook daar kwam variatie in de SLA voor.

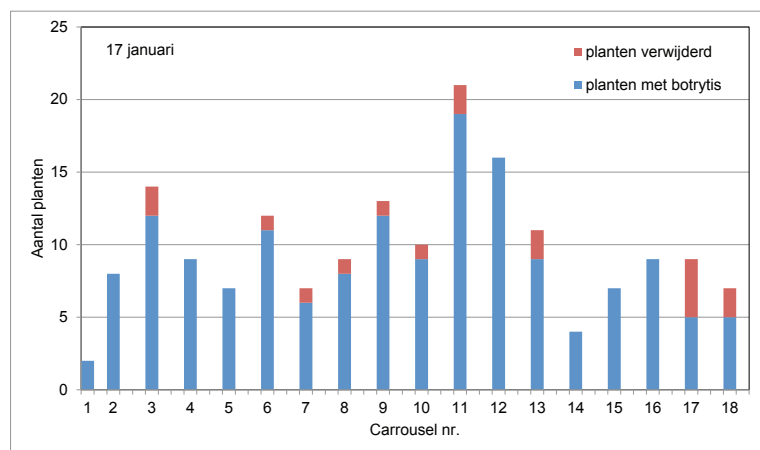
Op 22 februari is het drogestofpercentage van de vruchten gemeten en deze was 4.2%.

2.2.7 Bladrandjes

Nadat er eind december Botrytis werd geconstateerd op de bladrandjes, werd in januari de hoeveelheid bladrandjes op de bladeren gekwantificeerd (Tabel 2.). Op de drie data is er gemiddeld niet zoveel verschil in aantal blaadjes met bladrandjes. Wel zijn er verschillen tussen de drie plaatsen in de kas waar is waargenomen; in rij 4 zijn er steeds minder blaadjes met bladrandjes dan in de andere twee rijen.

Tabel 2. Percentage blaadjes per samengesteld blad met bladrandjes op 3 plaatsen in de kas.

Veld	Datum		
	17 jan	31 jan	22 febr
Rij 4 vanaf poot 3	15.5	15.7	19.1
Rij 10 vanaf poot 1	23.2	24.8	19.4
Rij 12 vanaf poot 5	21.5	26.7	25.9
Gemiddeld	20.1	22.4	21.5



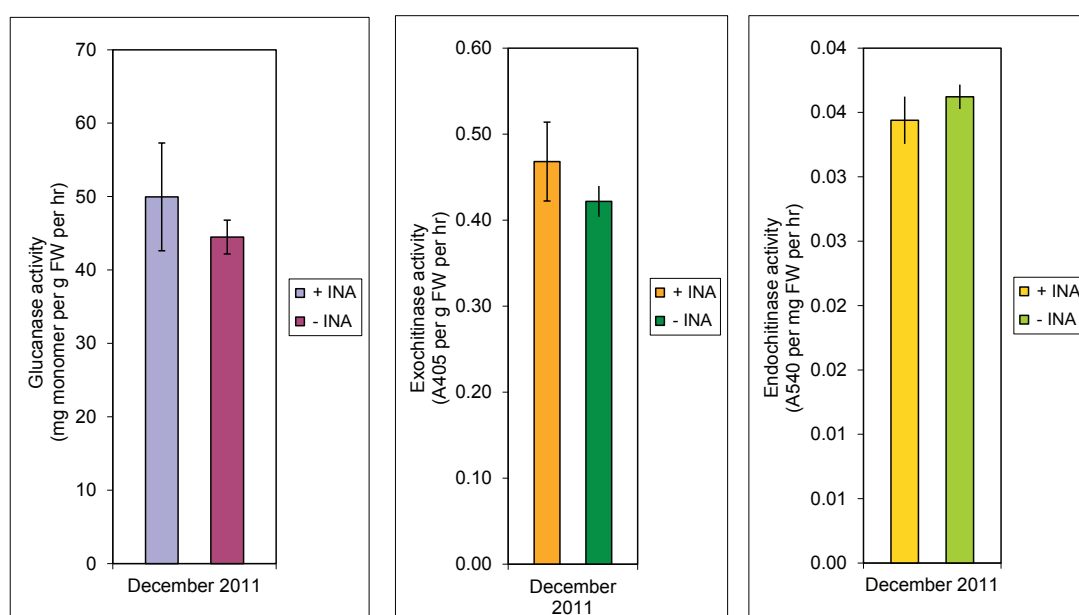
Figuur 13. Het aantal voor Botrytis behandelde en dode stengels op 17 januari.

Er is ook Botrytis geconstateerd op een aantal stengels, die vervolgens zijn behandeld met Scomrid. In sommige gevallen heeft de behandeling niet het gewenste effect gehad en zijn die stengels verwijderd. In Figuur 13. is het aantal planten weergegeven met aangetaste stengels en het aantal planten die verwijderd moesten worden vanwege die aantasting. Op 17 januari was de mate van aantasting het grootst, waar in vele paden enkele planten zijn verwijderd. Later in februari was de stengelaantasting sterk gereduceerd, al bleef het percentage planten met bladrandjes hoog.

2.2.8 PR Eiwit expressie

De PR eiwit expressie, ofwel de glucanase activiteit, wordt geassocieerd met de weerbaarheid van een plant tegen o.a. *Botrytis*. Een verhoging van de glucanase activiteit suggereert dat de plant geïnfecteerd is (geweest) met *Botrytis*, en dat de concentratie van dit eiwit is verhoogd om *Botrytis* tegen te gaan. De glucanase activiteit kan ook op chemische wijze geïnduceerd worden door INA (1,4-dihydroisonicotinic acid) en dat wordt gezien als het maximale activiteit dat bereikt kan worden, een soort potentieel maximum waartegen de metingen in de kas vergeleken kunnen worden.

In de teelt van 2010/2011 was het zo dat PR-2 expressie (β -1,3-glucanase activiteit) onder rode en blauwe LED-bijbelichting in de INA-behandelde en onbehandelde planten veel hoger was dan in de planten die onder andere condities waren geteeld (Dueck *et al.* 2012). Er waren toen ook meer bladrandjes en er was meer *Botrytis* op de stengel. Een ander opvallend verschil was dat de glucanase-activiteit onder deze LED-bijbelichting in de behandelde en onbehandelde planten min of meer gelijk waren. Additionele bepalingen aan twee andere weerbaarheidsgerelateerde enzymen (endo- en exochitinase) lieten hetzelfde beeld zien.



Figuur 14. Glucanase, exo- en endochitinase activiteit gemeten in december 2011 in tomaat onder bijbelichting met rode en blauwe LED's. De planten waren drie dagen tevoren behandeld met INA (+INA) of onbehandeld (-INA).

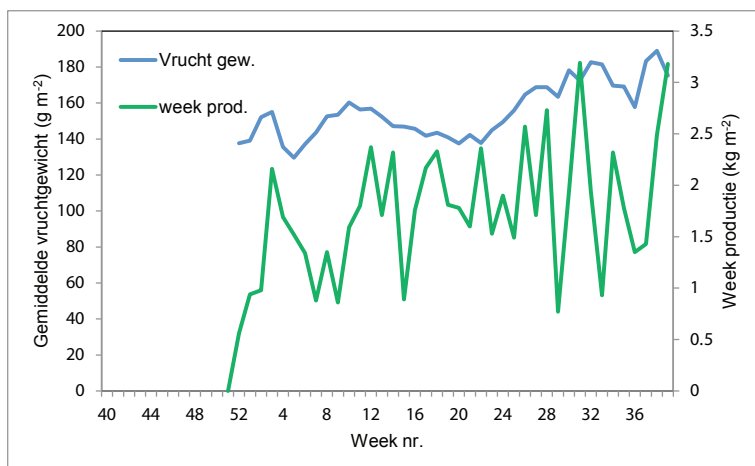
Deze metingen zijn daarom herhaald in de huidige teelt, in december 2011 voordat *Botrytis* problematisch ging worden. De glucanase-activiteit van de onbehandelde planten was ongeveer 45 mg vrijgemaakte suikermomoneren per gram versgewicht per uur, terwijl de glucanase-activiteit van de met INA behandelde planten in dezelfde orde van grootte lag, namelijk 50 mg per g versgewicht per uur (Figuur 14.). Hoewel deze waarden ongeveer 30% lager liggen dan de waarden uit de vorige teelt, zijn ze toch hoog te noemen, omdat ze beiden overeen komen met de maximale waarden die eerder gemeten werden in INA-behandelde planten onder diffuus licht en verhoogde CO₂.

Wanneer we het niveau van glucanase-expressie na INA-behandeling beschouwen als een soort van potentieel maximum, dan lijkt het wederom erop dat planten in de LED-belichtingsproef dit maximale potentieel permanent aanspreken. Additionele bepalingen aan de twee andere weerbaarheidsgerelateerde enzymen (endo- en exochitinase) lieten hetzelfde beeld zien (Figuur 14.).

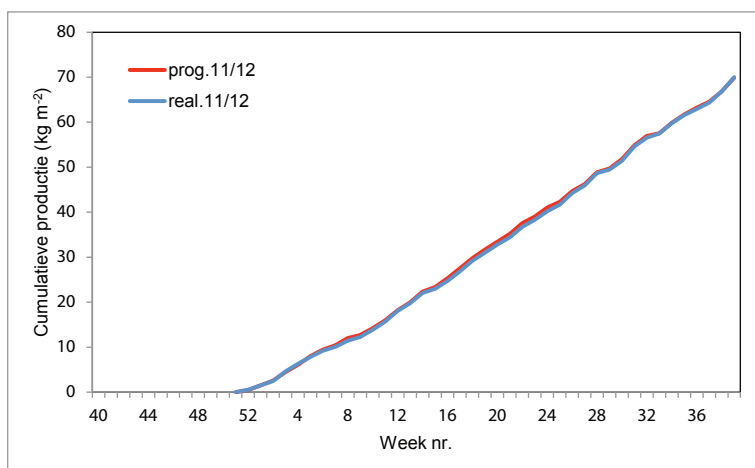
Ondanks de lagere waarden van de PR-eiwitten, waren er problemen met *Botrytis* in de teelt, al waren die ook minder dan in de vorige teelt. Kennelijk werd *Botrytis* onvoldoende tegengewerkt door een verhoogde weerbaarheid, dat gesuggereerd werd door niveau's van glucanase-expressie, endo- en exochitinase activiteit. De vraag is of de gemeten activiteit van PR-eiwitten een goede maat is voor systemische weerbaarheid of dat de gemeten verhoging van de activiteit van PR-eiwitten onvoldoende weerbaarheid biedt voor deze mate van *Botrytis* aantasting.

2.2.9 Productie

Tot aan het einde van het belichtingsseizoen was het gemiddelde vruchtgewicht ca. 150 g waarna deze in de zomer steeg tot ongeveer 170-180 g. De grovere vruchten in de zomer zijn waarschijnlijk een gevolg van de toename in zonlicht in de tweede helft van de zomer. Tijdens de teelt van 2010/2011 was het gemiddelde vruchtgewicht ca. 170 g (Dueck *et al.* 2012), iets hoger dan het gemiddelde vruchtgewicht in de huidige teelt.



Figuur 15. Wekelijkse productie (kg m⁻²) en het gemiddelde vruchtgewicht (g) bij de teelt 2011-2012.



Figuur 16. De cumulatieve productie (prognose en realisatie)(kg m⁻²) bij de teelt in 2011-2012.

De productie in deze teelt vertoonde dezelfde tendens als in de teelt van 2010/2011 (Figuur 16.), met dien verstande dat de teelt nu eerder werd beëindigd, met een totaalproductie van 70 kg m⁻² zoals weergegeven in Tabel 3. De grootste verschillen in productie lagen in de eerste (december) en de laatste maand van de productie, met een verschil van 3.5 kg in december en 2.7 kg in september. Het verschil in september komt deels door het eerder beëindigen van de teelt, maar het verschil in december zal, samen met het verschil in licht in het voorjaar verantwoordelijk zijn voor het verschil in totaal productie.

Tabel 3. Gemiddelde maandelijkse productie (kg m⁻²) in de teelten van 2010-2011 en 2011-2012.

	Teelt 2010-2011	Teelt 2011-2012
Dec	4.03	0.56
Jan	6.50	5.77
Febr	3.90	5.09
Mrt	8.58	8.33
April	8.95	7.14
Mei	7.95	9.88
Juni	9.28	7.49
Juli	7.78	7.15
Aug	8.40	10.16
Sept	11.13	8.45
Totaal	76.48	70.02

Er is beduidend minder geproduceerd dan in de teelt van 2010/2011, namelijk ongeveer 6 kg m⁻². Dit is deels te wijten aan minder licht in het voorjaar van 2012 dan in 2011 (zie Figuur 1.). Daarin is te zien dat er veel minder globale straling was, vooral in april en mei (wk 14 t/m 19); 4950 J cm⁻² s⁻¹, ofwel 57% minder globale straling gedurende die 6 weken, en berekend over de hele teelt 6% minder globale straling. Met 6% minder globale straling zou ook ongeveer 6% minder productie verwacht mogen worden. Het verschil was echter 9% wat betekent dat de lagere hoeveelheid licht in deze teelt het verschil in productie niet helemaal kan verklaren.

2.2.10 Energieverbruik

In Tabel 4. wordt een overzicht gegeven van de productie en het energieverbruik in deze teelt (2011/2012) in vergelijking met de vorige teelt (2010/2011). In deze vergelijking valt het verschil in productie op, 6 kg m⁻² minder tomaten geoogst in vergelijking met de vorige teelt. Dat is eerder besproken en is grotendeels te wijten aan het verschil in licht: minder zonlicht in het voorjaar gekoppeld aan het volledig stoppen met de belichting. In 2010/2011 is er met de LED-belichting veel langer doorgegaan.

Nu is er met een referentieteelt gerekend met lampen die gedurende 2500 uur branden met een intensiteit van 215 μmol m⁻² s⁻¹. Om een besparing van 30% te realiseren zou er maar 760 MJ m⁻² aan warmte en 210 kWh m⁻² aan elektriciteit gebruikt mogen worden. In het overzicht in Tabel 4. is te zien dat dat wel voor wat betreft de warmte, maar net niet voor wat betreft de elektriciteit is gerealiseerd.

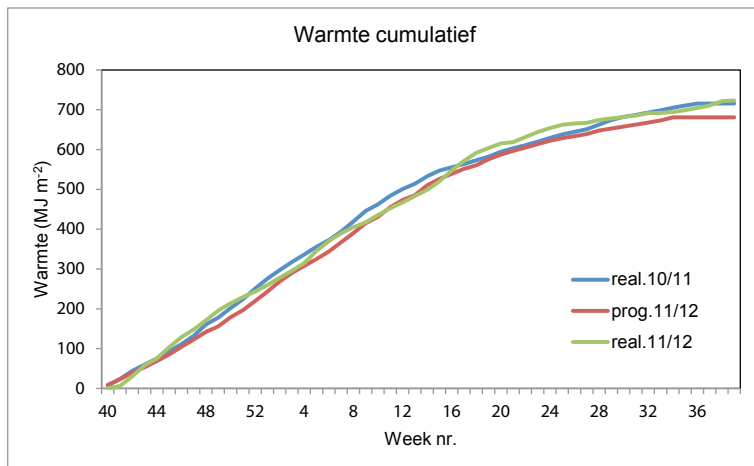
Tabel 4. Samenvatting van de productie en het gerealiseerde energieverbruik in de teelt van 2010-2011 en voor 2011/2012 de referentieteelt, betekenis voor besparing, prognose en gerealiseerde productie en energieverbruik.

	Realisatie 10/11	Referentie 11/12	30% Besparing	Prognose 11/12	Realisatie 11/12
Productie	75 kg m ⁻²	75 kg m ⁻²	-	70 kg m ⁻²	70 kg m ⁻²
Warmte	715 MJ m ⁻²	1080 MJ m ⁻²	760 MJ m ⁻²	680 MJ m ⁻²	723 MJ m ⁻²
Belichting	253 kWh m ⁻²	300 kWh m ⁻²	210 kWh m ⁻²	197 kWh m ⁻²	212 kWh m ⁻²

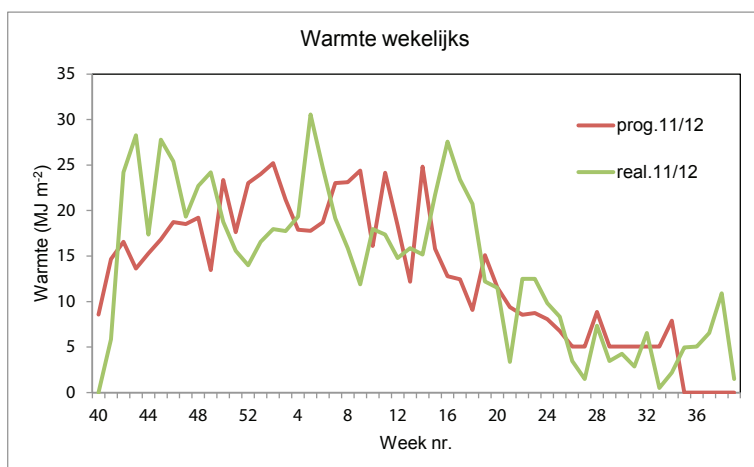
*30% is een gemiddelde van het totaal aan energiebesparing voor warmte en belichting

In Figuren 17. en 18. is het cumulatieve en wekelijkse warmtegebruik weergegeven. Uiteindelijk is er marginaal meer energie voor de warmte gebruikt in deze teelt t.o.v. de vorige teelt in 2010-2011. In het begin van de teelt is er meer warmte gebruikt dan voorspeld. Door regelmatig te telen en een kleine kier te handhaven tijdens de teelt, is er tot ca. week 16 minder gas gebruikt voor de warmte. Daarna is dat omhoog gegaan, waarschijnlijk als gevolg van het minder goede voorjaar qua instraling en het stoppen met belichting met SON-T, waardoor er minder stralingswarmte in het gewas terecht kwam.

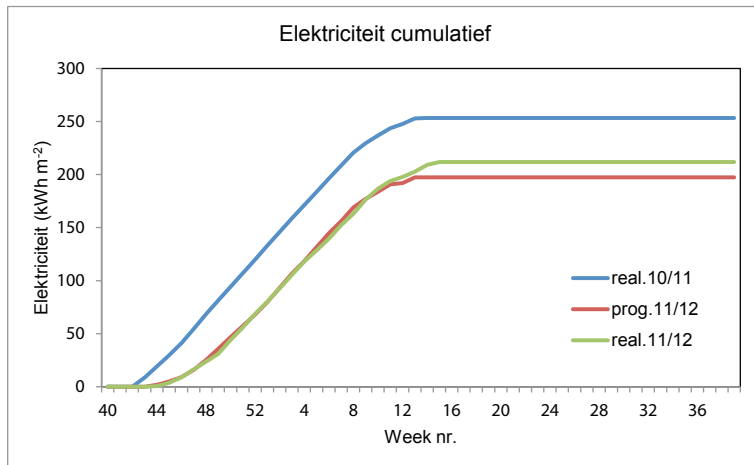
In Figuur 18. is duidelijk zichtbaar hoeveel meer warmtevraag er was rond week 16. Hoewel de warmtevraag daarna min of meer gelijk was aan de prognose, is er eind april meer warmte gebruikt dan voorspeld.



Figuur 17. Het cumulatieve geschatte en gerealiseerde thermisch energieverbruik ($m^3 m^{-2}$) per week tijdens de teelt (okt 2011 - sept 2012) en het gerealiseerde thermisch energieverbruik tijdens de teelt van 2010-2011.



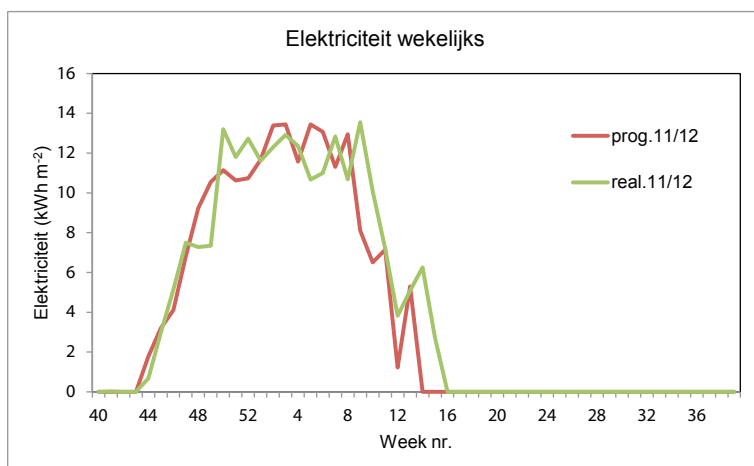
Figuur 18. Het geschatte en gerealiseerde thermisch energieverbruik ($m^3 m^{-2}$) per week tijdens de teelt (okt 2011 - sept 2012).



Figuur 19. Het geschatte en gerealiseerde elektrisch energieverbruik (kWh) per week voor de LED en SON-T belichting tijdens de teelt (okt 2010 - sept 2011) en het gerealiseerde elektrisch energieverbruik tijdens de teelt van 2010-2011.

In Figuur 19. is het cumulatieve verbruik van elektra weergegeven, zowel voor deze als voor de vorige teelt in 2010/2011. Ten opzichte van de teelt in 2010/2011 is er ruim 40 kWh m^{-2} minder elektriciteit verbruikt, voor een deel omdat er later is begonnen met belichting bij een 1 week latere planting.

Waar komt de energiebesparing v.w.b. elektriciteit vandaan? Ondanks een iets lagere lichtintensiteit (1%) bij de hybride belichting t.o.v. SON-T, zijn interlighting LED's 10% efficiënter dan SON-T ($1.75 \mu\text{mol W}^{-1}$ bij SON-T en $1.93 \mu\text{mol W}^{-1}$ bij de LED's). Dat had het belichtingssysteem 5% efficiënter gemaakt, omdat het systeem voor de helft uit LED's bestaat. Echter, de productiecijfers zijn verzameld in het midden van de kas, waar productie LEDs hingen, en die zijn meer vergelijkbaar met SON-T belichting, kwa efficiëntie. Daar moet de besparing niet gezocht worden. Maar een uitgangspunt van de belichtingsstrategie was het belichten gedurende 16 i.p.v. 18 uur per dag. Dit gegeven plus het inzetten van belichten naar plantbehoefte (lichtintegratie) heeft er toe geleid dat er in vergelijking met de referentieteelt 40% minder branduren zijn geweest (1780 uur t.o. 2500 uur in de referentie).



Figuur 20. Het geschatte en gerealiseerde elektrisch energieverbruik ($\text{m}^3 \text{ m}^{-2}$) per week tijdens de teelt (okt 2011 - sept 2012).

Er is iets meer elektrische energie gebruikt tijdens de teelt dan vooraf werd gedacht (prognose). Figuur 20. laat zien dat er vooral vanaf week 9 meer elektrische energie is verbruikt dan vooraf was geprognostiseerd, maar dat het werkelijke verbruik de prognose redelijk goed volgt.

3 Conclusies en Leerpunten

3.1 Teelt & Klimaat

In eerdere proeven is de teelt soms té snel gegaan met veel licht, waardoor er in de wintermaanden problemen met het gewas ontstonden. Het gewas gedijt het beste bij gelijkmatigheid, met weinig veranderingen in klimaatinstellingen. In deze proef is er gestreefd naar gelijkmatigheid en dat heeft een stabiele uitwerking gehad op de teelt.

Mede door een veelvuldig gebruik van minimum ventilatie aan de windzijde waren er weinig veranderingen in het klimaat. Dit heeft zijn invloed op het gewas gehad met een constante groei tijdens de teelt.

Er moet een keuze gemaakt worden om te sturen op drie belangrijke zaken: licht, temperatuur, vrucht(snoei). Soms kan er niet meer gestuurd worden op dezelfde factor en moet overgeschakeld worden op een andere factor. In deze proef is er gekozen voor licht om mee te sturen en vervolgens vrucht(snoei). In de praktijk ligt dat minder voor de hand en grijpt men vaker naar temperatuur als stuurmiddel.

3.2 Gelimiteerde CO₂

De doelstelling was een duidelijke besparing op CO₂ te realiseren ten opzichte van de referentieteelt. In principe zou er worden gestuurd op kilogrammen CO₂ maar met het hanteren van een minimum CO₂ in de kas van 450 ppm, een maximum van 800 ppm en een gemiddeld concentratie van 600 ppm. De doelstelling is inderdaad bereikt met een gemiddelde concentratie in de kas van 560 ppm CO₂. Dit heeft niet geleid tot een lagere opbrengst dan in de jaar hiervoor, wat betekent dat er met minder CO₂ een goede productie gerealiseerd kan worden.

3.3 Belichting

Belichting werd ingezet door integratie van de lichtsom van de drie dagen achterliggende dagen en de voorspelling. Het hiervoor gebruikte lichtmodel heeft hiervoor zeer goed gewerkt, doordat het minder belichten dan wat het praktijk gewoon is geen negatieve consequenties had voor het gewas, het gewas beter de donkere wintermaanden doorkwam en in de praktijk gemakkelijk toe te passen is.

Na het belichtingsseizoen (tot ca. 1 april) is besloten om niet meer te belichten. Juist in deze tijd was er aanzienlijk minder zonlicht. Telers zijn in de praktijk wel doorgegaan met belichten, in tegenstelling tot in deze proef. Het gemis aan licht van dit jaar t.o.v. afgelopen jaar zou gelijk staan aan ongeveer 550 uur belichten. Door het gemis aan buitenlicht werd er ongeveer 5 kg minder tomaten van week 7 t/m week 24 geoogst. Dat betekent dat het t.o.v. afgelopen jaar niet slecht is gegaan en omgerekend naar het gemis aan buitenlicht zowel op energiegebied als op productiegebied het juist veel beter is gegaan. Het betekent ook dat de belichtingsstrategie consequent volgehouden had moeten worden voor een optimaal resultaat (productie), al had dat meer energie gekost.

3.4 Energie

De energiedoelstelling is gerealiseerd met 33% besparing op warmte-energie en 30% op elektrische energie. Dat is positief voor de doelstellingen, maar het loslaten van het belichtingsstrategie begin april heeft productie gekost. Voor het gewas was meer belichten, dus meer energieverbruik, beter geweest. Hier moet enige flexibiliteit in zijn bij extreme (buiten)omstandigheden.

In een vervolg zou energiebesparing scherper kunnen, bijvoorbeeld door geen gebruik te maken van LBK's. De huidige geïnstalleerde LBK's voldoen niet aan de eisen en verbruiken te veel stroom, deze moeten in ieder geval worden aangepast.

3.5 Reactie van de praktijk

De tuinders die het meest intensief bij de teelt waren betrokken, zaten in de BCO. Zij waren over het algemeen erg positief over de teelt en de inzet van energiebesparende maatregelen. Zij hebben zelf het gebruik van een continue kleine kier ingebracht, wat gunstig was voor de regelmaat in kasklimaat. Zij vonden dat er meer (productie) uit de teelt gehaald had kunnen worden en dat er vooral beter op het voorkomen en de bestrijding van Botrytis gelet had moeten worden. Het onderin het gewas brengen van licht heeft geleid tot een gezondere planten, waarbij het bladpakket onderin langer groen en nuttig voor de productie is gebleven.

Het commentaar en aanbevelingen van de telers voor vervolgonderzoek wordt in de volgende alinea weergegeven.

3.6 Aanbevelingen voor een vervolg

De CO₂ doelstelling is wel meegenomen, maar pas in een later stadium van de teelt. Dit zou al vanaf het begin meegenomen moeten worden.

Het lichtmodel moet zeker ingezet worden en verder geperfectioneerd. Een deel van de BCO zou graag minder SON-T boven zien (bv. 50 μmol) en meer tussenlicht met LED's (bv. 150 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

Bij een vroege planting kan je ervoor zorgen dat de piek in de plantbelasting vervroegd wordt en niet in de donkerste maand (december) valt,. Er moet nog beter gekeken worden naar de 'source-sink-verhouding' in de tijd en deze op elkaar aanpassen. Dit levert ook een meer rendement op, met meer kilo's in de dure tijd rond Kerst.

Een combinatie van hybride-belichting met diffuus licht behoort tot de mogelijkheden. Hiermee komt het licht dieper in het gewas en kan dan benut worden door een groter bladoppervlak, door tussenlicht in de winter en diffuus licht in de zomer. Deze combinatie wordt door de praktijk nog niet als een optie gezien, vermoedelijk vanwege de aanschafkosten van LED belichting.

De voorkeur gaat uit naar het doen van een experiment in plaats van het volgen van een teelt. Wanneer er verschillende behandelingen worden toegepast met ook een referentiebehandeling, is het mogelijk om geconstateerde verschillen in gewasrespons terug te vinden in verschillen in de behandeling of teeltmaatregelen die zeer goed van elkaar kunnen verschillen. Het is erg belangrijk dat sommige zaken (vergelijkingen van gevolgen van belichtingssystemen, verschillen in setpoints en gevolgen daarvan voor de kaslucht- en gewastemperatuur) goed worden uitgevoerd, anders worden er te snel conclusies getrokken en dan een eigen leven gaan leiden. Dit kan een totaal verkeerd beeld geven naar de praktijk toe.

4 Referenties

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.

De Gelder A, Warmenhoven M, Van der Mei M, de Groot M & Grootcholten M. 2011.
Het Nieuwe Telen: Gerbera. Teeltseizoen: 2010 - 2011. Rapport Wageningen UR Glastuinbouw

Dueck TA, Janse J, Schapendonk AHCM, Kempkes FLK, Eveleens-Clark BA, Scheffers CP, Pot S, Trouwborst G,
Nederhoff EM & Marcelis LFM. 2010.
Lichtbenutting van tomaat onder LED en SON-T belichting. Rapport GTB-1040,
Wageningen UR Glastuinbouw/Plant Dynamics BV. 92p.

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.

Bijlage I Stuurgroep/maandelijkse BCO

In deze Bijlage worden de leden genoemd die deelnamen aan de bijeenkomsten. Daarna volgt een korte weergave van de discussie van elke vergadering zoals door LTO Groeiservice werd gemaakt.

Leden

GreenQ/Improvement Centre: Marc Grootcholten, Hanjo Lekkerkerk, Piet Hein Baar, Willem Valstar

Wageningen UR: Tom Dueck, Jan Janse, Arie de Gelder

Plant Dynamics: Ad Schapendonk (tot 31 december 2011)

LTO Groeiservice: Jan Varekamp

EL&I: Leo Oprel

PT: Dennis Medema

Philips: Esther van Echtelt, Daniëlle van Tuijl, Koos de Wit, Frank Holsteijn

BCO Tomaat: Jan Mulder

Agro Care: Nic van Roosmalen

Van Marrewijk: Pieter van Staalduinen

Monsanto: Arjan Bimmel

Saint Gobain Cultilène: Remi Maat

Doel en frequentie van de bijeenkomsten

Het was de bedoeling om regelmatig met de BCO bij elkaar te komen na bezoek aan de proef waarin de stand van zaken en vervolgstategie wordt vastgesteld.

Onderwerp/presentatie/discussie van de bijeenkomsten

29 september

Algemeen

- Vooraf aan de teelt moet er een duidelijke strategie worden bepaald. Deze strategie vormt de rode draad en er wordt alleen van afgeweken als hiervoor duidelijke redenen zijn. Ook moet er doorgerekend worden of de doelen worden bereikt aan de hand van de strategie.
- Tot aan de kortste dag een sterk gewas houden.
- LEDs worden gehangen op de uiteindelijke hoogte van vorig jaar, met ongeveer 40 centimeter tussen de balken. Positie is vast en wordt niet meer verhangen tijdens de proef.
- Starten met 2,5 stengels/m²
- Positie groeibuis 10 centimeter boven de mat, bij de vruchten.
- Jan Mulder wordt ook betrokken bij het onderzoek van TTO bij de Demokwekerij om voor een goede kruisbestuiving te zorgen.

Belichting

- Belichting inzetten via integratie principe aanvullend op buitenlicht. Een aandachtspunt hierbij is dat het tussenlicht niet gemeten wordt met het gebruik van de PAR sensoren. Bij integratie wordt er drie dagen achteruit en drie dagen vooruit gekeken (totaal dus 7 dagen).
- LED belichting neemt toe, doordat de rijen teruggaan van 190 naar 160. Meer rijen geeft meer tussenlicht. (De extra LED's zijn al binnen).
- Tussenlicht als laatste uitschakelen bij het maken van een keuze tussen SON-T en LED.
- Planten staat nu gepland op 17-18 oktober.
- Ad gaat berekeningen uitvoeren met twee scenario's: een licht en een donker scenario.
- Tot de 3^e-4^e tros, zit je in een tijd dat het hard gaat. Dan is het belangrijk om te werken aan een plant die in balans komt. Een model is dan een leidraad, maar niet leidend. Wel kijken naar het model en duidelijk aangeven waarom het model niet gevolgd wordt, als dat gebeurt.
- Het model heeft input nodig, dus hiervoor moeten een aantal doelen ook duidelijk worden en hoe die bereikt gaan worden, bijvoorbeeld de inzet van een dubbel scherm.
- Hoofddoelstellingen zijn 30% energiebesparing met een productie van 70 kilogram tomaten.
- Kunst is om de 1^e-3^e tros zo rustig mogelijk uit te laten groeien. Daar heb je later profijt van.
- Het is mogelijk om temperatuursommen uit het model te halen.

CO₂-dosering

- Er moet een duidelijke besparing op CO₂ worden bereikt ten opzichte van de referentieteeelt. Een belangrijke vraag daarbij is of er gestuurd gaat worden op basis van kilogrammen of ppm's? Duidelijk is wel dat regelingen beter kunnen worden ingezet en dat je met minder CO₂ geen grote productiedalingen krijgt (CO₂ proef IC). Belangrijk is wel om een bepaald minimum (ppm) te hanteren, dit is belangrijker dan het maximum.

2 april 2012

Tom en Arie geven een presentatie over de proef.

Opmerkingen/discussie

- De twee termen Joule en PAR worden beide gebruikt, tuinders werken nog graag met Joule. Het blijft moeilijk om de totale lichtsom te berekenen. De som kan niet worden gemeten, er is wel een PAR meter aanwezig, maar deze neemt niet de LED's mee, wel de SON-T.
- Er wordt een constant verband gevonden tussen de trosafsplitsing en de geoogste tros.
- Grootste verschil tot nu toe tussen 2011 en 2012 zit in de ontvochtiging. 2011 werd dit vooral met de installatie gedaan. 2012 wordt dit in eerste instantie met de luchting gedaan, hierdoor maakt de installatie veel minder draaiuren. De geleidelijke ontvochtiging is een groot winstpunt. De insteek hierachter is dat je een installatie niet hoeft te gebruiken omdat het aanwezig is.
- Van te voren is er een duidelijke teeltstrategie gekozen en deze wordt ook volgens plan uitgevoerd. Piet Hein geeft aan dat de teelt 'saai' is, er worden weinig wijzigingen aangebracht in de instellingen. Op de vraag of deze strategie vorig jaar ook toepasbaar was geweest wordt positief gereageerd (ja dus).
- Wat had deze lijn (strategie) kunnen doorbreken, wanneer had deze losgelaten moeten worden? De temperatuur is niet gebruikt en deze was altijd achter de hand om mee in te grijpen als het nodig was. Met enkele tiende graad verschil had je hier al een verschil kunnen maken. Dit heeft echter dan ook gelijk gevolgen voor het gewas.
- Hoogte van de LED's? Het gewas moet maximaal gebruik maken van het licht. Hier moet worden opgelet met zakken en blad snijden.
- De kwaliteit van de tomaten is goed en deels beter dan in de praktijk. Doel is 100% exportwaardig product te produceren, dit lukt op een paar gescheurde tomaten na.

Leerpunten en vervolg

- De keuze om een vervolg op te pakken was een goede er er wordt veel geleerd dit jaar. Telers geven echter aan nog steeds verbeteringen te zien. Zij pleiten voor een goed vervolg waarbij alles vanaf het begin goed wordt georganiseerd en de puntjes op de i worden gezet.
- Als er kritisch wordt gekeken naar de gang van zaken in de afgelopen periode zijn er een aantal punten ter verbetering:
 - o Substraat, er is een te groot volume substraat neergelegd.
 - o Plant, een goede plant is erg belangrijk. Dit jaar veel problemen om de eerste tros in bloei te krijgen, hierdoor is *et al.* een achterstand opgelopen. Bij andere proeven zijn er goede ervaringen om planten mee te bestellen bij een levering voor een tuinder. Hierdoor is er ook gelijk een praktijkreferentie met dezelfde zaaidatum.
 - o Arbeid, dit jaar laat soms ook de kwaliteit van de arbeid te wensen over. Ook hier moet voldoende aandacht voor zijn.
 - o Doelstelling, dit jaar was er duidelijk een periode waarbij de energiedoelstelling los gelaten had moeten worden, dit had beter geweest voor de proef en het resultaat (mede door de ziektegevoeligheid). Hier moet enige flexibiliteit in zijn bij extreme omstandigheden.
 - o Andere zaken die meegenomen kunnen worden bij een nieuwe opzet, om de lat hoger te leggen, zijn:
 - o CO₂ doelstelling wordt nu wel meegenomen, maar pas in een later stadium, dit zou al vanaf het begin meegenomen moeten worden. Dit jaar is daarin een leerjaar.
 - o Verdeling LED en SON-T, Nic zou graag minder SON-T boven zien (50 μ mol) en meer tussenlicht met LED (150 μ mol).
 - o Plantbelasting, bij een vroege planting kan je werken aan een piek in de plantbelasting in december om deze weer terug te brengen in de winter. Goed kijken naar de 'source-sink-verhouding' en deze op elkaar aanpassen.
 - o Diffuus licht, een combinatie met diffuus licht behoort ook nog tot de mogelijkheden, proeven laten zien dat er naast de zomerwinst ook mogelijkheden zijn in de rest van het jaar. Deze winst kan mogelijk verklaard worden doordat er minder lichtverlies is bij diffuus glas door minder lichtverlies als gevolg van condensatie. Deze combinatie wordt door de praktijk nog niet gezien als een optie.

Opmerkingen/discussie

- Er wordt op min drie gesnoeid, in ergste geval gaat er een tros uit. Gewas is sterk achteruit gegaan onder invloed van de plantbelasting en te weinig licht (oorzaak: weer). Verder gaat het wel zoals afgesproken. Lijn van weghalen van vruchten is wel te laat besloten door de BCO, te veel uitgesteld. Vruchten hangen wel langer aan de plant dan in de praktijk. Gekozen voor snoei en niet voor ingrijpen via de temperatuur.
- Wil je niet als teler een buis erbij en LED's aan om tomaten er sneller af te krijgen? Gebeurt in de praktijk ook niet, daar wordt gekozen om in temperatuur terug te gaan. Discussie over aanpak vergelijking met praktijk, in een proef heb je juist de instrumenten om een andere aanpak uit te testen. Deze keer gekozen om toch vergelijkbaar met de praktijk te belichten.
- Je kan met behulp van het lichtintegratiemodel sturen via snoeien en lichtgemiddelde, dit wordt alleen niet door de praktijk opgepakt met name vanwege emotie. Komeett is een 'eenvoudig' te telen soort waarbij je met temperatuur wat kan doen (in de praktijk). Dit is bij andere rassen een probleem in verband met de kwaliteit, want de tomaten worden dan te oud (bijvoorbeeld: scheuren en gele kronen).
- Recept (snoeien op licht) kan dienen als een manier van denken en is/kan niet rasspecifiek. Voor elk ras moet een eigen manier van snoeien worden gebruikt.
- Gewas heeft meer herstelcapaciteit dan vorig jaar. Dat moet ook, er was vorig jaar 5 kilo meer productie weg, dus mag je een beter herstel verwachten. Vorig jaar ook 2,5 week langer in productie, dus verschil in productie is in verhouding kleiner. Ten opzichte van de praktijk ligt de productie goed op schema. In vergelijking met vorig jaar ook extreem veel minder licht.
- Nagekomen opmerkingen t.a.v. minder productie dit jaar: In het verslag wordt een opmerking gemaakt over een productieverschil met vorig jaar van 5 kilo. Deze discussie is niet goed weergegeven. Het vergelijk was niet op een goede basis gemaakt, de vergelijking met vorig jaar ging mank. Via de mail is er een goede vergelijking gemaakt.

Productie:

	t/m wk 52	Wk 1-18		
Productie 2011	4,08	29,47		
Productie 2012	0,53	28,54	-0,97	=-3,1%
Licht 2011		118405		
Licht 2012		89985	-28400 Joule	= -24%

Het is erg belangrijk dat dit soort zaken (vergelijkingen) goed worden uitgevoerd voordat deze een eigen leven gaan leiden. Dit geeft een totaal verkeerd beeld naar de praktijk en ook over het verloop van de proef.

Het gemis aan licht van dit jaar t.o.v. afgelopen jaar zou gelijk staan aan ongeveer 550 uur belichten. Door het gemis aan buitenlicht dat we tot nu hebben opgelopen, lopen we ongeveer 5 kg tomaten mis van week 7 t/m week 24. Het bovenstaande is niet om de proef goed te praten maar wel om duidelijk aan te geven dat we het t.o.v. afgelopen jaar niet slecht doen en omgerekend van het gemis aan buitenlicht veel beter doen zowel op energiegebied als op productiegebied.

- Er wordt verder gediscussieerd over het eventueel doorbelichten gedurende donkere periodes. Met voldoende buisvraag is het zeker een optie om toch te belichten en bij minder buisvraag alleen LED's te gebruiken. Dit is dus afhankelijk van de buitenomstandigheden.
- Je moet als teler een keuze maken om te sturen op drie belangrijke zaken: licht, temperatuur en/of vrucht(snoei). Soms kan je niet meer sturen op een factor en moet je overschakelen op een andere factor. In de proef is er gekozen voor licht en vervolgens vrucht(snoei). In de praktijk grijpt men vaak naar temperatuur.

Tussenevaluatie

- De leden van de BCO willen graag weten hoe het staat met het project. BCO voelt zich betrokken en verantwoordelijk. Ook voor een eventuele nieuwe opzet is belangrijk te weten hoe het werkt.
- Financiële stand van zaken (welke ruimte is er nog?). Zijn de zaken volgens plan uitgevoerd? Alles wordt uitgevoerd zoals gepland en financiën volgen die op de voet. Grootste wijziging in de opzet is het wegvallen van de inbreng van Plant Dynamics. Deze inbreng wordt ingevuld door Arie de Gelder en is verder vergelijkbaar wat betreft de inbreng.
- Om specifieke vragen duidelijk te beantwoorden moet je vaak een goed vergelijk (referentie) hebben. Er moet vaak een keuze gemaakt worden tussen goed fundamenteel onderzoek of praktisch onderzoek welke door de praktijk ook werkelijk wordt opgepakt en makkelijk vertaalbaar en vergelijkbaar is.
- Punten die een onderdeel moeten vormen in een nieuw te vormen onderzoeksvoorstel zijn:
 - o CO₂ in de huidige uitvoering is nog niet voldoende meegenomen.
 - o Energiebesparing kan scherper, bijvoorbeeld geen LBK's. Huidige geïnstalleerde LBK's voldoen niet aan de eisen en verbruiken te veel stroom, deze moeten sowieso worden aangepast. Dus elektriciteitsverbruik van vorig jaar is niet reëel.
 - o Botrytis is een storende factor (moet beter worden aangepakt).
 - o Planten begin september om piek in plantbelasting naar voren te halen. Levert ook nog een stuk rendement. Met licht schermen en vruchtsnoei sturen.
 - o Teelt volgen of proef doen? Dit blijft een belangrijke vraag voor de manier van uitvoeren.
 - o De belichtingsproef is al een paar jaar in ontwikkeling. Er is steeds meer acceptatie door de praktijk, energie wordt steeds goedkoper (ook om kas te verwarmen). Dus er liggen mogelijkheden voor toepassingen in de praktijk.
 - o Bij begeleiding goed kijken naar aansturing, liefst vergelijkbaar met dit jaar, centrale aansturing (een persoon die de teelt stuurt). Van te voren ook goede lijn en afspraken maken en deze vast houden.
 - o Discussie over oorzaak en voorkomen van Botrytis door bladranden, blad onder de goot, ontstaan van bladranden door Ca gebrek of door verkeerd luchten.
 - o Proef of praktijk acceptatie? EL&I en PT willen kijken naar de mogelijkheden van financiering, dit is nog geen gelopen zaak. Bij belichting zijn nog de minste resultaten bereikt voor de praktijk ten aanzien van besparingen. Wel bewezen is dat er energiebesparing mogelijk is. Situatie verandert wel in de tijd met bijvoorbeeld WKK. Diffuus licht kan ook nog een toevoeging zijn (is ook interessant met vroeger planten, meer licht toelaten).
 - o Welke vragen staan nog open, naast financierbaarheid, voor een toepassing in de praktijk? Hogere temperatuur toelaten en op een hoger niveau te gaan telen, verlengen van teeltseizoen. Diffuus licht kan daarb een verdere bijdrage bij leveren.
 - o Bij een vroegere plantdatum goed sturen op kwaliteit.
 - o Startafstand (2,5 stengel/vierkante meter) ook winterafstand, kopafstand moet gevarieerd worden door de tijd heen.
 - o Tom maakt op een A4 een voorstel voor discussie te bespreken over 2 weken. Doel moet zijn om de praktijk om te krijgen. Onbekende factor is de relatie tussen (kunstmatige) belichting en AR-coating. Als reflectie van de plant terug wordt gekaatst tegen het dek, kan dat het rendement van de belichting verhogen? Zie ervaringen met schermen (4% lichtwinst).



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

