



Energiezuinige Belichting bij Chrysant

Esther Meinen, Frank Kempkes, Marcel Raaphorst en Tom Dueck

Rapport GTB-1341

Referaat

In een project uitgevoerd bij Wageningen UR Glastuinbouw in Bleiswijk werd het effect van 3 verschillende belichtingssystemen op chrysant onderzocht, t.w. SON-T belichting, hybride belichting (50% SON-T en 50% LED) en 100% LED-belichting. Er werd gekeken naar het effect van belichting op beworteling, op de morfologie in de lange dag periode, en gedurende een hele teelt in het voorjaar en het najaar. Vervolgens werd ook naar naooft kwaliteit en houdbaarheid gekeken. In een voorjaarsteelt bleek dat de productie het hoogst was onder hybridebelichting met verrood nabelichting. In een kortdurende proef met jonge stekken chrysant (Baltica) bleek dat nabelichten met verrood geen positieve invloed heeft op de lichtonderschepping en op het bladoppervlak. Het effect van verschillende lichtspectra op de beworteling is onderzocht en gebleken is dat de spectrale samenstelling beïnvloedt beworteling: volledig blauw of volledig rood licht leidt tot minder wortels dan spectra waar ook verrood aan toegevoegd was. In een najaar teelt zijn 14 rassen geteeld onder SON-T, hybride en LED belichting en waarin belicht werd naar behoefte. De productie, kwaliteit en lichtbenuttingsefficiëntie was het hoogst onder SON-T belichting, maar ook het energieverbruik was in deze behandeling het hoogst. Telen onder LEDs heeft 20% minder elektriciteit gekost (voor belichting), maar de productie en kwaliteit waren minder dan onder SON-T belichting.

Abstract

The effect of three different lighting systems was investigated on chrysanthemum, i.e. HPS, hybrid lighting (50% HPS and 50% LED), and LED lighting. The study looked at the effect of exposure on rooting, on the morphology in the long-day period, and for a whole crop in spring and autumn. Then also looked at post-harvest quality and shelf life. The spring crop showed that production was highest under hybrid lighting with end-of-day far red. A test with young chrysanthemum cuttings (cv. Baltica) revealed that end-of-day far red did not have a positive influence on light interception or leaf area. Spectral composition also affected rooting: only blue or red light led to fewer roots than spectra where far red was added. In an autumn crop 14 varieties were grown under HPS, hybrid and LED lighting. Production, quality and light use efficiency was highest under HPS, but the energy consumption in this treatment was the highest as well. Cultivating under LEDs cost 20% less electricity (for lighting), but the production and quality were less than under HPS lighting.

Rapportgegevens

Rapport GTB-1341
Projectnummer: 3742166400
PT nummer: 14890



Disclaimer

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

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

Adresgegevens

Wageningen UR Glastuinbouw

Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk
Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk
T +31 (0)317 48 56 06
F +31 (0)10 522 51 93

Inhoud

	Voorwoord	5
	Samenvatting	7
1	Inleiding	9
2	Belichting	13
3	Voorjaarsteelt	17
	3.1 Inleiding	17
	3.2 Materialen en methoden	17
	3.2.1 Plantmateriaal	17
	3.2.2 Belichting	17
	3.2.3 Klimaat	17
	3.2.4 Teelt	18
	3.2.5 Metingen	18
	3.2.5.1 Plantmetingen	18
	3.2.5.2 Houdbaarheid	18
	3.3 Resultaten en discussie	18
	3.3.1 Klimaat	18
	3.3.2 Gewas	19
	3.3.3 Reactietijd en kwaliteit	21
	3.3.4 Productie	22
	3.3.5 Houdbaarheid	23
	3.4 Conclusies	24
4	Verrood nabelichting in de eerste 3 weken van de teelt	25
	4.1 Inleiding	25
	4.2 Materialen en methoden	25
	4.2.1 Plantmateriaal	25
	4.2.2 Behandelingen	26
	4.2.3 Metingen	26
	4.3 Resultaten en discussie	27
	4.3.1 Waarnemingen	27
	4.3.2 Lichtonderschepping	28
	4.3.3 Morfologie en gewicht	29
	4.4 Conclusies	32

5	Najaarsteelt	33
5.1	Inleiding	33
5.2	Materialen en methoden	33
5.2.1	Plantmateriaal	33
5.2.2	Belichting	33
5.2.3	Klimaat	34
5.2.4	Teelt	34
5.2.5	Metingen	35
5.2.6	Plantmetingen	35
5.2.7	Houdbaarheid	35
5.2.8	Energie	35
5.2.9	Statistiek	36
5.3	Resultaten en discussie: LD periode	36
5.3.1	Klimaat en planttemperatuur	36
5.3.2	Gewas	37
5.4	Resultaten en discussie: KD periode	39
5.4.1	Klimaat en planttemperatuur	39
5.4.2	Gewas	40
5.4.3	Reactietijd	42
5.4.4	Eindoogst	43
	5.4.4.1 Kwaliteit	43
	5.4.4.2 Productie	43
	5.4.4.3 Houdbaarheid	45
5.4.5	Energie	45
5.5	Conclusies	47
6	Invloed spectrum op beworteling	49
6.1	Inleiding	49
6.2	Materialen en Methoden	49
6.3	Resultaten en discussie	51
6.3.1	Morfologie plant	51
6.4	Conclusies	54
7	Literatuur	55
	Bijlage I. Plantlengte bij verschillende verrood intensiteiten	57
	Bijlage II. Gewasmetingen verrood proef na 1, 2 en 3 weken	59
	Bijlage III. Productie en kwaliteit van alle rassen	63
	Bijlage IV. Energieverbruik bij gelijke reactietijd	77
	Bijlage V. Kasklimaat en energie	79

Voorwoord

Kasklimaat, belichting en teeltsystemen zijn in transitie binnen Het Nieuwe Telen. Naast de semi-gesloten kas en het gebruik van puur CO₂, is de introductie van LED-belichting, en nieuwe belichtingsconcepten (waaronder die met LEDs) belangrijke elementen hiervan. Gewasgroei en -opbrengst worden sterk bepaald door genetica en groei omstandigheden, met een sterke interactie tussen beide factoren.

Voor chrysant is deze aanpak voor het eerst beproefd in het hier beschreven project, in het kader van het innovatieprogramma Kas als Energiebron en is in opdracht van het Ministerie van EZ en het Productschap Tuinbouw uitgevoerd.

Dit project beoogde elektrische energie te besparen bij het telen van verschillende Chrysantenrassen met een betere lichtverdeling, en belichten naar plant behoefte. Doelstelling van het onderzoek was een gezond gewas te telen, met een energiebesparing van 30%. Het onderzoek werd uitgevoerd bij Wageningen UR Glastuinbouw.

Het project werd medegefinancierd en ondersteund door de Stichting Topconsortium voor Kennis en Innovatie Uitgangsmaterialen (TKI-U), en de veredelingsbedrijven Deliflor en Fides. Philips Lighting heeft het LED-belichtingssysteem geleverd.

Teeltadviseur voor het project was Paul de Veld van DLV en de teelt werd verzorgd door Fred van Leeuwen waarvoor de auteurs dank zijn verschuldigd.

De auteurs
Wageningen UR Glastuinbouw
Januari 2015

Samenvatting

Vanuit de praktijk is er duidelijk interesse om elektriciteit te besparen maar men wil niet dat dat ten koste gaat van de productie en kwaliteit. Om de mogelijkheden van energiebesparing te onderzoeken in dit project is gekozen voor chrysant als voorbeeld gewas. De doelstelling van het project was om 30% energie te besparen op elektra - gebruikt door belichting - met behoud van productie en kwaliteit van chrysant. Energiebesparing is mogelijk door lampen te gebruiken die elektriciteit efficiënter om zetten in molen licht, of door planten het licht efficiënter te laten benutten, waardoor er minder belicht hoeft te worden. LED lampen zijn energiezuiniger dan SON-T lampen: in dit project zijn chrysanten geteeld onder SON-T, hybride (combinatie van SON-T en LED) en onder LED lampen. De andere manieren om te besparen op belichting waren:

- Belichten naar behoefte: als voldaan wordt aan een lichtsom kan de belichting midden op de dag afgeschakeld worden.
- Aanschakelen van LEDs is efficiënter dan aanschakelen van SON-T, omdat ze direct op volle sterkte branden.
- Nabelichten met verrood: dit kan een positief effect hebben op de morfologie en de lichtonderschepping van het gewas, wat gunstig is voor de snelheid van de teelt.
- Rekening houden met verschillende lichtbehoeftes per gewasfase (efficiëntie van lichtbenutting is lager in de laatste fase van de teelt)

Het project werd uitgevoerd in 3 kassen van 144 m² bij Wageningen UR Glastuinbouw in Bleiswijk. Hierin werd het effect van 3 verschillende belichtingssystemen op chrysant onderzocht, t.w. SON-T belichting, hybride belichting (50% SON-T en 50% LED) en 100% LED-belichting. De lichtintensiteit werd ingesteld op gelijke hoogte, ca. 90 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ in de voorjaarsproef en ca. 115 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ in het najaar proef. Er werd gekeken naar het effect van belichting op beworteling, op de morfologie in de lange dag periode, en gedurende een hele teelt in het voorjaar en het najaar. Vervolgens werd ook naar naogst kwaliteit en houdbaarheid gekeken. In totaal zijn er 4 experimenten uitgevoerd in dit project.

In een voorjaarsteelt is onderzocht of chrysant (Baltica) geteeld kan worden onder hybridebelichting met behoud van productie en kwaliteit. Het effect van nabelichten met verrood is tevens onderzocht. Uit dit experiment bleek dat de productie het hoogst was onder hybridebelichting met verrood nabelichting. Deze takken waren echter ongewenst lang en de houdbaarheid was minder dan onder SON-T.

In een kortdurende proef met jonge stekken chrysant (Baltica) is het effect van nabelichten met verrood, vnl. in de lange dag, nader onderzocht. De hypothese is dat verrood nabelichting invloed heeft op de morfologie, waardoor meer licht onderschept kan worden door het jonge gewas en op deze manier de teelt versneld wordt. Uit het experiment bleek dat verrood nabelichten geen positieve invloed heeft op de lichtonderschepping en op het bladoppervlak. Planten strekken wel meer, wat een ongewenst effect is voor chrysant. De conclusie is dat nabelichten met verrood in de lange dag ongunstig is voor chrysant.

In een najaarsteelt zijn 14 rassen geteeld onder SON-T, hybride en LED belichting en waarin belicht werd naar behoefte. De productie, kwaliteit en lichtbenuttingsefficiëntie waren het hoogst onder SON-T belichting, maar ook het energieverbruik was in deze behandeling het hoogst. Telen onder LEDs heeft 20% minder elektriciteit gekost (voor belichting), maar de productie en kwaliteit was minder dan onder SON-T belichting. Telen onder LEDs lijkt mogelijk als de teeltcondities worden geoptimaliseerd, zodat de geconstateerde teeltvertraging en een te vegetatief gewas kan worden voorkomen.

Het effect van verschillende lichtspectra op de beworteling van 2 cultivars chrysant (Baltica en Feeling Green) is onderzocht. De spectrale samenstelling beïnvloedt beworteling: volledig blauw of volledig rood licht leidt tot minder wortels dan spectra waar ook verrood aan toegevoegd waren. Bij volledig blauw licht zijn de wortels korter. Deze resultaten bieden mogelijkheden tot verder onderzoek naar het sturen van de beworteling.

1 Inleiding

Projecten met Het Nieuwe Telen (HNT) hebben laten zien dat er behoorlijk energie bespaard kan worden door gebruik van buitenluchtaanzuiging en aangepaste scherm- en klimaatregeling. Echter het elektriciteitsverbruik blijft het meest hardnekkige probleem in de verduurzaming van de sector. Economische berekeningen (Raaphorst *et al.* 2010) gaven bovendien aan dat afhankelijk van energieprijzen en productprijzen belichting niet altijd economisch rendabel hoeft te zijn. Vanuit de praktijk is er duidelijk interesse om elektriciteit te besparen maar men wil niet dat dat ten koste gaat van de productie en kwaliteit. Energiebesparing zou mogelijk zijn door gebruik van lampen die elektriciteit efficiënter in molen licht omzetten, of door licht efficiënter door de plant te laten benutten waardoor minder belicht kan worden. Om de mogelijkheden van energiebesparing te onderzoeken in dit project is gekozen voor chrysant als voorbeeld gewas omdat dit samen met roos het grootste snijbloem-areaal vertegenwoordigt (circa 500 ha).

Momenteel zijn kasklimaat en teeltsystemen in transitie. Belangrijke ontwikkelingen naast HNT zijn bijvoorbeeld de semi-gesloten kas, de introductie van LED-belichting, geothermisch warmte, gebruik van puur CO₂ en nieuwe belichtingsconcepten (waaronder die met LEDs). Gewasgroei en -opbrengst worden sterk bepaald door genetica en groei omstandigheden, met een sterke interactie tussen beide factoren.

LEDs lijken elk jaar zuiniger te worden. Momenteel is de efficiëntie waarmee de meest gebruikte LED-belichtingssystemen elektriciteit in micromolen licht omzetten 10-25% beter dan die van SON-T en de verwachting van bedrijven als Philips is dat dit de komende jaren sterk verbeterd wordt. Vervolgens gaat het er om hoe efficiënt de plant de micromolen licht kan benutten. Volgens onderzoek van Botany/DLV zou de groei van chrysant onder LEDs (rood of wit met 10-15% blauw licht) tot 20% efficiënter zijn dan onder SON-T licht, hoewel deze groeiverbetering niet is gevonden in eerder onderzoek van Wageningen UR Glastuinbouw in klimaatkamers waar maar 4% blauw licht was (Meinen *et al.* 2009). Ook zijn er zowel door Botany/DLV als WUR Glastuinbouw positieve effecten van verrood licht gevonden op productie en kwaliteit. Aandachtspunt bij LEDs is de mindere warmtestraling waardoor de top van het gewas koeler is. Soms is dit voordelig (bij warmteoverschot), soms is dit nadelig, omdat een lage temperatuur in de kop de ontwikkelingssnelheid vertraagt. Ook met de opkomst van de LED-technologie wordt het steeds beter mogelijk om licht in de juiste golflengten en op de juiste plaats in het gewas aan te bieden. Voor de chrysantenteelt, waar de assimilatiebelichting ook een duidelijke stuurlicht-rol speelt, geeft dit de mogelijkheid om fors minder stroom te gebruiken met nagenoeg dezelfde productie.

Bij een teelt zoals chrysant is de benuttingsefficiëntie van licht niet constant gedurende de teelt. De eerste weken en de laatste weken voor de oogst is de efficiëntie waarmee het licht in drogestof wordt omgezet minder dan in het midden van de teelt. Dit werd in eerder onderzoek van Wageningen UR al gevonden (Snel *et al.* 2011) en de afnemende fotosynthese-efficiëntie is recent bevestigd bij de fotosynthesemetingen van Plant Lighting en Plant Dynamics (Trouwborst *et al.* 2013). Deze verschillende onderzoeken geven aan dat er volop kansen zijn om door op juiste manier gebruik te maken van LED belichting er energie te besparen is en het gewas goed te sturen is. Voor chrysant is het bekend dat het niet alleen gevoelig is voor daglengte, maar ook voor het licht spectrum, en in het bijzonder voor rood, blauw en verrood licht. In recent onderzoek aan het effect van LED-belichting en chrysant is aangetoond dat de morfologie van chrysant reageert sterk op het licht spectrum (Van Ieperen en Heuvelink 2012). In sommige experimenten heeft LED-belichting een positief resultaat opgeleverd in vergelijking met SON-T, maar dit werd niet bevestigd in andere experimenten. Dit suggereert interacties tussen belichting en genotype of groei omstandigheden zoals verhoogde CO₂ (Maaswinkel *et al.* 2012). Naast de invloed van licht spectrum tijdens de teelt, is het ook waarschijnlijk dat het spectrum de beworteling van chrysant zal beïnvloeden. Om de respons van chrysant onder LED-belichting te onderzoeken is het nodig om verschillende cultivars te telen onder verschillende belichtingssystemen en -strategieën.

Uiteindelijk moet dit leiden tot een teeltstrategie waarbij de teler ook weet energie te besparen. Om echt stappen te kunnen maken met chrysant is er in dit project een energiedoelstelling van 30% op elektra (door belichting) vastgesteld met handhaving van nagenoeg dezelfde productie en kwaliteit. Daarbij is het de bedoeling om het maximaal rendement uit LED belichting te halen, en de stuurmogelijkheden van het gewas door LED-belichting te verbeteren, bijvoorbeeld door te belichten naar behoefte van het gewas. Tevens worden er meerdere rassen onderzocht om de stuurmogelijkheden van verschillende genotypen te onderzoeken. Naast verschillende belichtingsstrategieën wordt de invloed van LED-belichting op de fysiologie en op beworteling onderzocht.

De 30% besparing op elektra wordt als volgt bereikt:

- De conversie van elektra naar licht is bij huidige LEDs circa 20% efficiënter dan bij SON-T lampen. Als we de helft van de belichting vervangen door LEDs, bespaart dit circa 10% (naar de toekomst toe zal dit verschil wel groter worden, maar berekening baseren we op basis van wat nu te koop is).
- Een belangrijk uitgangspunt voor energie besparing op elektra is de referentie waarmee wordt vergeleken, want verhoging of verlaging van de intensiteit is de belangrijkste factor voor meer of minder energie gebruik. Een factor die daaraan kan bijdrage is het gebruik van verrood licht. Door gebruik te maken van lage intensiteiten verrood licht aan het begin van de nacht wordt een positief effect op het gewas verwacht, waardoor er minder belicht hoeft te worden, geschat op circa 3%.
- Door net zoals bij gerbera en tomaat uit te gaan van een lichtplan gebaseerd op een gewenste lichtsom per dag, wordt een besparing van 10% geschat. Dit percentage is gebaseerd op basis van wat tot nu toe is bereikt bij die gewassen (bij gerbera werd 15% besparing gerealiseerd). Dit wordt vooral bereikt in het najaar en voorjaar als de omstandigheden in licht buiten sterk kunnen variëren. Afschakelen alleen op intensiteit is dan minder efficiënt dan sturing op lichtsom per dag in combinatie met een afschakelen van de SON-T op basis van lichtintensiteit. In de periode met de laagste lichtintensiteit buiten (december/januari) wordt geen energiebesparing op belichting gerealiseerd.
- Door in het lichtplan tevens rekening te houden met verschillende lichtbehoeftes per gewasfase (efficiëntie van lichtbenutting door gewas is lager in de laatste fase), wordt circa 3% elektra bespaard.
- LEDs kunnen snel uit en weer aangeschakeld worden. Hiermee kan snel gereageerd worden op wisselende intensiteiten van het zonlicht. Dus uitschakelen zodra er piek in intensiteit is en weer aanschakelen als er minder licht is. Hiermee wordt niet alleen lamplicht maar ook zonlicht beter benut, waardoor een besparing van circa 4% wordt ingecalculleerd. Dit is een verdere verfijning van het lichtplan omdat een lichtsom wordt nagestreefd op die momenten dat het voor de plant het meest effectief is.

Het project is uitgevoerd in kassen van 144 m² bij Wageningen UR Glastuinbouw in Bleiswijk. Hierin wordt het effect van 3 verschillende belichtingssystemen op chrysant onderzocht, t.w. SON-T belichting, hybride belichting (50% SON-T en 50% LED) en 100% LED-belichting. De lichtintensiteit wordt ingesteld op gelijke hoogte. Er is gekeken naar het effect van belichting op beworteling, op de morfologie in de lange dag periode, en gedurende een hele teelt in het voorjaar en het najaar. Vervolgens wordt ook naar naogst kwaliteit en houdbaarheid gekeken.

Hieronder volgt een korte beschrijving van de experimenten. In de volgende hoofdstukken worden de experimenten afzonderlijk en in chronologische volgorde van uitvoering beschreven. De volgorde is chronologisch omdat vragen/waarnemingen in het eerste experiment(en) nader uitgezocht werden of zelfs aan het project zijn toegevoegd.

Voorjaarsteelt (hoofdstuk 3)

In de voorjaarsteelt werd het ras Baltica geteeld in 2 kassen van 144 m². In de referentiekas werd belicht met SON-T belichting en in de 2^e kas werd belicht met hybride (SON-T/LED) belichting. De helft van de planten in elke kas werd nabelicht met verrood belichting, waardoor er in totaal 4 behandelingen waren. Het concept 'belichten naar behoefte' is in dit experiment niet toegepast, omdat de teelt bijna volledig buiten het belichtingsseizoen plaats vond. In dit experiment werden effecten van de beide belichtingssystemen op de groei en ontwikkeling gemeten.

Verrood nabelichten (hoofdstuk 4)

De resultaten van de voorjaarsteelt riepen vragen op over het effect van verrood nabelichting. De hypothese was dat verrood nabelichting mogelijk in het begin van de teelt voordelen biedt. Dit is getoetst in een kortdurend experiment. Chrysanten stekken (Baltica) werden 3 weken geteeld in kassen van 144 m² onder SON-T en hybride belichting, al dan niet nabelicht met verrood belichting. Wekelijks werd de groei en morfologie gemeten.

Najaarsteelt (hoofdstuk 5)

In de najaarsteelt werden 14 rassen chrysant geteeld in 3 kassen van 144 m². In de referentie kas werd belicht zoals dat in de praktijk gebeurt met SON-T lampen. In de andere 2 kassen werd belicht met hybride lampen (SON-T/LED) en met LED lampen. In deze 2 kassen werd belicht naar behoefte: als voldaan kan worden aan de stralingssom werden de lampen overdag uitgeschakeld.

Invloed spectrum op beworteling (hoofdstuk 6)

Net gestoken stekken van de rassen Baltica en Feeling Green werden onder 4 verschillende spectra geplaatst in lichtdichte tunnels met verschillende verhoudingen rood, blauw en verrood. Na 10 dagen werd de beworteling gescoord.

2 Belichting

In alle kasexperimenten zijn verschillende belichtingssystemen gebruikt: SON-T belichting, hybride belichting (combinatie van SON-T en LED), LED belichting en al dan niet nabelichten met verrood licht. Lichtplannen zijn gemaakt door Philips. In Tabel 1 zijn de specificaties aangegeven van de gebruikte lampen en de gemeten lichtintensiteit voor de voorjaarsteelt, de verrood proef en de najaarsteelt.

Tabel 1

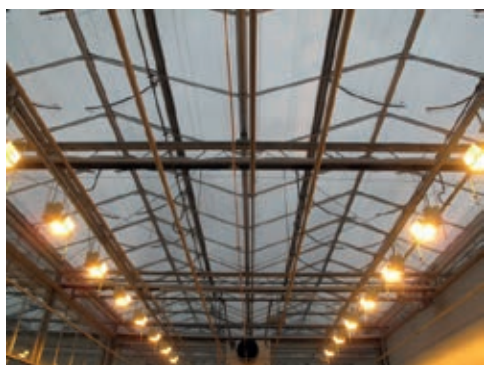
Specificaties van de gebruikte lampen en de gemeten lichtintensiteit op 50 cm hoogte voor de voorjaarsteelt, najaar teelt en de verrood proef. De efficiënties van de lampen zijn door Philips opgegeven.

Kas	Lamp	Type	Efficiëntie ($\mu\text{mol W}_{\text{el}}^{-1}$)	Aantal	Lichtintensiteit ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	
					Voorjaar en verrood *	Najaar
SON-T	SON-T	1000 W (Papillon 270, 400V)	1.85	2 lijnen van 9	91	115
Hybride**	SON-T	1000 W (Papillon 270, 400V)	1.85	2 lijnen van 4	92	111
	LED	Philips GP LED Toplighting RBw 6% PHIL	2.0	4 lijnen van 9		
LED	LED	Philips GP-TOPlight DRB-LB2013 Philips	2.3	4 lijnen van 11	nvt	116
	verrood	Philips Flowering FR 220V-2012		lijn van 8	1-4	nvt

* Lagere lichtintensiteiten vergeleken met de najaar proef omdat de kas was gesplitst met wit plastic; dit leidt tot lichtverlies

** Hybride belichting bestaat voor 48% uit SON-T en 52% uit LED (meting).

Op onderstaande foto is de belichting in de verschillende kassen te zien.



SON-T



LED



Hybride



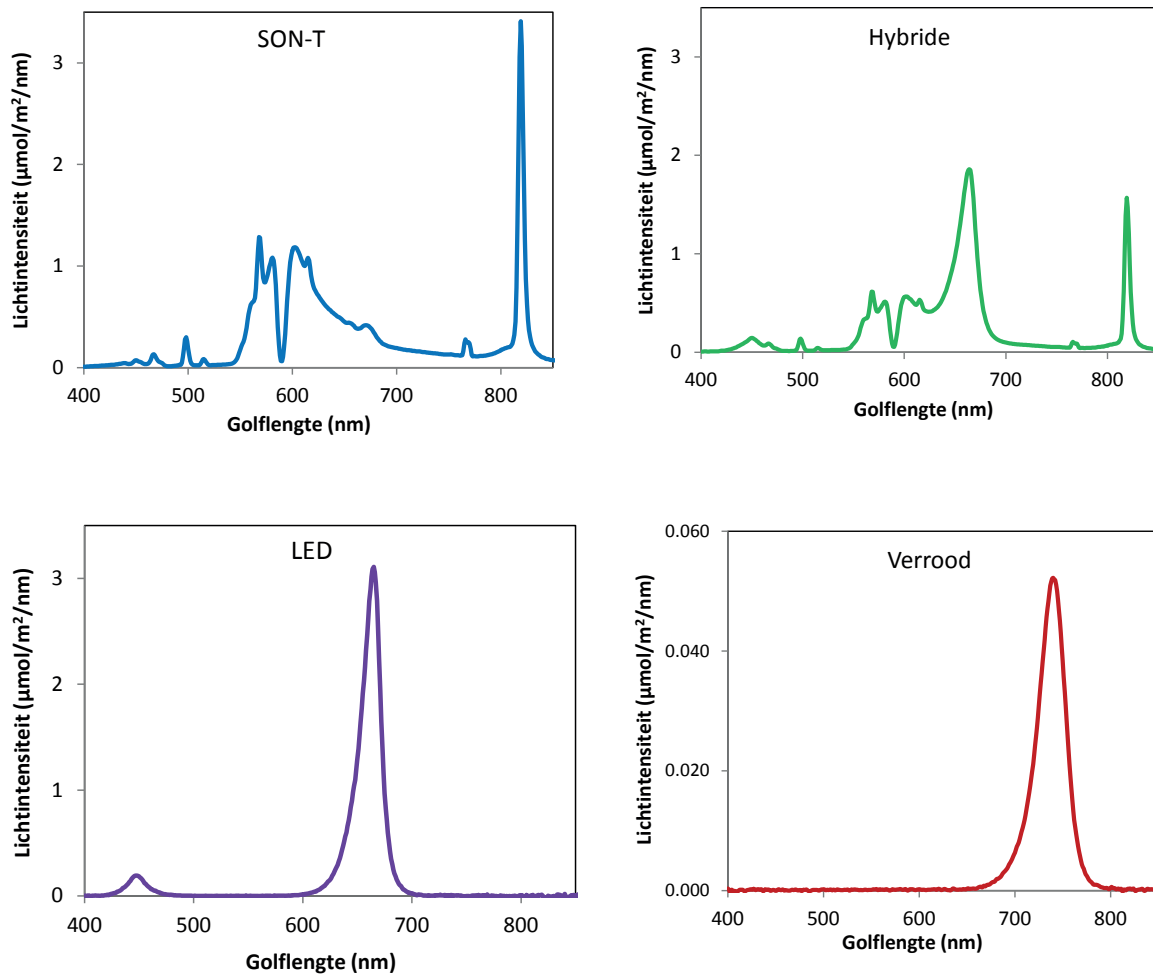
Hybride en verrood

Foto *Belichting in de kassen.*

Door de helft van de benodigde lichtbehoefte te geven middels LEDs wordt energiebesparing gerealiseerd. Aanvankelijk is er uitgegaan van LEDs met een efficiëntie van $1.91 \mu\text{mol W}^{-1}$, die een efficiëntieverbetering t.o.v. SON-T zou betekenen van 4-9%. Uiteindelijk is er met een nieuwe generatie LEDs gewerkt met een efficiëntie van $2-2.3 \mu\text{mol W}^{-1}$, 8-24% efficiënter dan SON-T.

Wanneer aan de lichtbehoefte voor chrysant kon worden voldaan met zonlicht en een deel assimilatiebelichting, werd midden op de dag de assimilatiebelichting uitgeschakeld. Er werd ook gebruik gemaakt van stuurlicht effecten van verrood (lage intensiteit aan eind van dag).

De spectrale samenstelling van de lampen is gemeten met een spectroradiometer (Jaz van Ocean Optics), net boven het gewas in de kas (Figuur 1).



Figuur 1 Spectrale samenstelling van de belichting in de kas met SON-T lampen, hybride lampen en LED lampen. In 2 experimenten is nabelicht met verrood.

Licht in het PAR gebied (Photosynthetic Active Radiation; 400 – 700 nm) wordt door de plant gebruikt voor fotosynthese. In SON-T lampen zijn alle lichtkleuren aanwezig, in tegenstelling tot de LED belichting. De LED belichting heeft 2 duidelijke pieken bij 450 nm (blauw) en 665 nm (rood). In de hybride kas is een ander type LED lamp gebruikt dan in de LED kas; deze LED lamp bevatte ook nog 2% groen. Het spectrum van deze LED lamp is niet apart vermeld in onderstaande tabel, maar is onderdeel van de hybride belichting. De verhouding van de verschillende lichtkleuren is in Tabel 2 aangegeven.

Tabel 2

Samenstelling (%) van de lichtkleuren in het PAR gebied (400-700 nm) en het energetische aandeel ervan in het gebied 400-900 nm in W/m² en in % van W/m².

Gebied	Lichtkleur	Golflengte (nm)	SON-T	Hybride	LED
PAR	Blauw (%)	400-500	4.5	5.1	5.3
	Groen (%)	500-600	37.2	19.2	0.2
	Rood (%)	600-700	58.3	75.7	94.6
400-900 nm	Blauw (W/m ²)	400-500	1.3	1.5	1.6
	Groen (W/m ²)	500-600	8.9	4.5	0
	Rood (W/m ²)	600-700	12.7	15.5	19.9
	Verrood (W/m ²)	700-800	2.7	1.4	0.1
	Warmte (W/m ²)	800-900	5.6	2.7	0
400-900 nm	Blauw (%)	400-500	4.3	5.8	7.6
	Groen (%)	500-600	28.7	17.6	0.2
	Rood (%)	600-700	40.9	60.9	92.3
	Verrood (%)	700-800	8.6	5.3	0.2
	Warmte (%)	800-900	17.8	10.6	0

Ook buiten het PAR gebied is er verschil tussen de lichtbronnen. SON-T heeft een lage intensiteit aan verrood licht dat door fytochrom gesignaleerd wordt en een 'stuurlichteffect' kan hebben. Verrood licht ontbreekt in de LED lampen. SON-T lampen laten een piek zien in het gebied tussen 800 en 900 nm: dit is een deel van de warmtestraling, welke eveneens ontbreekt in de LED belichting. Door deze verschillende lamptypen te gebruiken is het niet alleen een 'lichtexperiment', want naast spectrale verschillen in het PAR gebied, zijn er ook spectrale verschillen buiten het PAR gebied die invloed (kunnen) hebben op plantreactie (stuurlicht) en klimaat (warmtestraling).

3 Voorjaarsteelt

3.1 Inleiding

In deze teelt is getoetst of energiebesparing op belichting mogelijk is door chrysanten te telen onder hybride belichting met behoud van productie en kwaliteit. Gedacht wordt dat er met hybride belichting het maximaal rendement en stuurmogelijkheden uit LED-belichting gehaald kan worden waarmee een energiebesparing van 30% gerealiseerd kan worden. Daarbij is onderzocht of nabelichting met verrood tijdens de teelt voordelen kan bieden voor de snelheid van de teelt. Belichting met verrood kan de morfologie beïnvloeden waardoor mogelijk het licht beter wordt onderschept (Hogewoning *et al.* 2012; 2013). Door een betere lichtonderschepping van het gewas, met name in de periode van onvolledige bodembedekking, zou de teelt versneld kunnen worden. In dit experiment is 'belichting naar behoefte' niet toegepast omdat het experiment startte aan het einde van het belichtingsseizoen, waardoor de belichting veel uitgezet zou worden. Er is voor gekozen om de belichting de eerste weken volop te gebruiken en 'belichten naar behoefte' te testen in de najaarsteelt (hoofdstuk 5).

De volgende 4 behandelingen zijn uitgevoerd:

- SON-T belichting.
- SON-T belichting; nabelichten met verrood (30 min aan begin van de nacht).
- Hybride belichting.
- Hybride belichting; nabelichten met verrood (30 min aan begin van de nacht).

3.2 Materialen en methoden

3.2.1 Plantmateriaal

Het experiment werd uitgevoerd met Baltica (Deliflor). Een kwart van de plantbedden werd ingeplant met Anastasia (Deliflor) en werd alleen visueel beoordeeld.

De stekken werden geplant op 15 maart 2013 in 2 kassen van 144 m² in een plantdichtheid van 64 planten/m². Beide kassen waren gesplitst met wit plastic, waardoor er in totaal 4 afdelingen (kashelften) waren. Aan het einde van het belichtingsseizoen (26 april) is het witte plastic verwijderd. Alle behandelingen hadden 3 plantbedden.

3.2.2 Belichting

De kassen in Bleiswijk zijn kleiner met relatief meer kasconstructieonderdelen, en zijn meer behangen met meetinstrumenten. Het gevolg ervan is dat de lichttransmissie lager is dan bij een kas in de praktijk, De lichttransmissie van deze kassen is ca. 60%. Eén kas werd belicht met SON-T; de andere kas met hybride belichting (combinatie van SON-T en LED belichting, zie hoofdstuk 2). In beide kassen werd in 1 afdeling aan het begin van de nacht 30 minuten belicht met verrood (nabelichting).

Alle typen lampen onderscheppen zonlicht. De huidige SON-T armaturen onderscheppen ca. 3% zonlicht, terwijl de LED armaturen ca. 7%, de laatste cijfer is gebaseerd op simulaties van Gert-Jan Swinkels. Tijdens de lange dag periode werd in beide kassen 20 uur belicht zoals in de praktijk. Er is belicht tot 26 april. Ook de verrood nabelichting stopte op 26 april. Lampen schakelden af bij een hogere instraling dan 500 W/m².

3.2.3 Klimaat

Er is gestreefd naar een gelijk klimaat in beide kassen. Door de warmtestraling van de SON-T werd in de SON-T kas meer gelucht dan in de hybridekas. Dat kan invloed hebben op de CO₂ concentratie en de relatieve luchtvochtigheid in de kas. Dat betekent dat het niet alleen een belichtingsexperiment is geweest, maar dat ook klimaat een rol speelt door de verschillende spectra van de lampen.

3.2.4 Teelt

De teelt werd begeleid door Paul de Veld (DLV). Tijdens de teelt werd direct na planten biologische bestrijding toegepast (Cucumeris). Er is een keer Plenum gespoten tegen luis. Takken werden in lengtegroei geremd door bespuiting met Alar.

3.2.5 Metingen

3.2.5.1 Plantmetingen

Plantmetingen zijn alleen uitgevoerd in proefvelden in het middelste plantbed (3 proefveldjes Baltica en 1 proefveldje Anastasia voor elke behandeling).

Na de overgang van lange dag naar korte dag werden lengte en aantal bladeren geteld van alle behandelingen. Voor Baltica zijn 3 proefveldjes van 16 planten gemeten en voor Anastasia 1 proefveldje van 16 planten. Deze metingen zijn herhaald 13 dagen na de start van de korte dag, net voordat groeiremming werd toegepast. De lichtintensiteit van de verrood lampen varieerde tussen 4.3 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ direct onder de lamp, tot 1.3 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ tussen 2 lampen. Om het effect van de lichtintensiteit van verrood belichting op de strekking te bepalen is de taklengte gemeten van de takken tussen 2 lampen (26 takken tussen 2 lampen in duplo gemeten), 4 weken na starten van de korte dag.

Voor elke behandeling werd de reactietijd bepaald door de teeltbegeleider. Op deze dag werden per behandeling 16 takken uit de 3 proefvelden Baltica geoogst. De volgende metingen werden gedaan aan de 48 takken per veldje:

- Versgewicht van de hele tak
- Drooggewicht van de hele tak
- Aantal rijpe bloemen
- Aantal bloemen en knoppen
- Classificatie kwaliteit 1 of 2 of nietje (kwaliteit 1 is zwaarder dan 60 gram; kwaliteit 2 weegt tussen de 45 en 60 gram. Een nietje weegt minder dan 45 gram).

Het gemiddelde gewicht per tak per proefveld werd gecorrigeerd voor het percentage 'nietjes' in het betreffende proefveld. Deze 'nietjes' werden beschouwd als 'verloren'.

3.2.5.2 Houdbaarheid

Op het moment van de eind oogst werd aan 15 takken per ras per kas de houdbaarheid bepaald door het transport van de bloemen te simuleren. Vijf takken werden als bos in plastic gehoesd en vervolgens in een chrysantendoos 5 dagen bij 7°C bewaard (RV 80%). Daarna werden de bossen in de uitbloeiruimte in een emmer gezet met schoon water gedurende 2 dagen (2 cm van de stelen gesneden). In de uitbloeiruimte was de temperatuur 20°C, 50% RV, 12 uur licht (TL lampen Osram L58W/840, 17 $\mu\text{mol PAR}/\text{m}^2/\text{s}$ op de bloem). Daarna werden de hoezen verwijderd, de onderkant van de tak werd schuin afgesneden en werd de uitbloei van elke tak op de vaas gevolgd. Takken werden visueel beoordeeld op slap worden blad, stengel en of bloem en bloemverkleuring (bruine hartjes). Na 3 weken werd het percentage afgeschreven takken bepaald.

3.3 Resultaten en discussie

3.3.1 Klimaat

Het klimaat in de kas met SON-T belichting en in de kas met hybride belichting is redelijk vergelijkbaar geweest (Tabel 3). Tijdens de lange dag periode was de kasluchttemperatuur in de kas met hybride belichting een halve graad lager tijdens de lichtperiode, ondanks gelijke sturing van de kasluchttemperatuur.

Tabel 3

Gemiddeld klimaat in beide kassen tijdens de lange dag (15 maart – 28 maart) en de korte dag (28 maart – eind mei).

		SON-T	Hybride
Lange dag	Kasluchttemperatuur (°C)	21.1	20.7
	Kasluchttemperatuur (°C) licht	21.3	20.8
	Kasluchttemperatuur (°C) donker	20.2	20.1
	CO ₂ licht (ppm)	746	786
	RV (%)	71	72
Korte dag	Kasluchttemperatuur (°C)	21.2	21.3
	Kasluchttemperatuur (°C) licht	22.5	22.6
	Kasluchttemperatuur (°C) donker	20.0	20.2
	CO ₂ licht (ppm)	694	788
	RV (%)	71	72

3.3.2 Gewas

In beide kassen was er een goede start van de gewasgroei in de LD, zodat er na 13 dagen gestart werd met de korte dag periode.

Op onderstaande foto's start de korte dag periode. De kasinrichting is te zien, met de 3 plantbedden per behandeling afgescheiden van elkaar met wit plastic.



SON-T

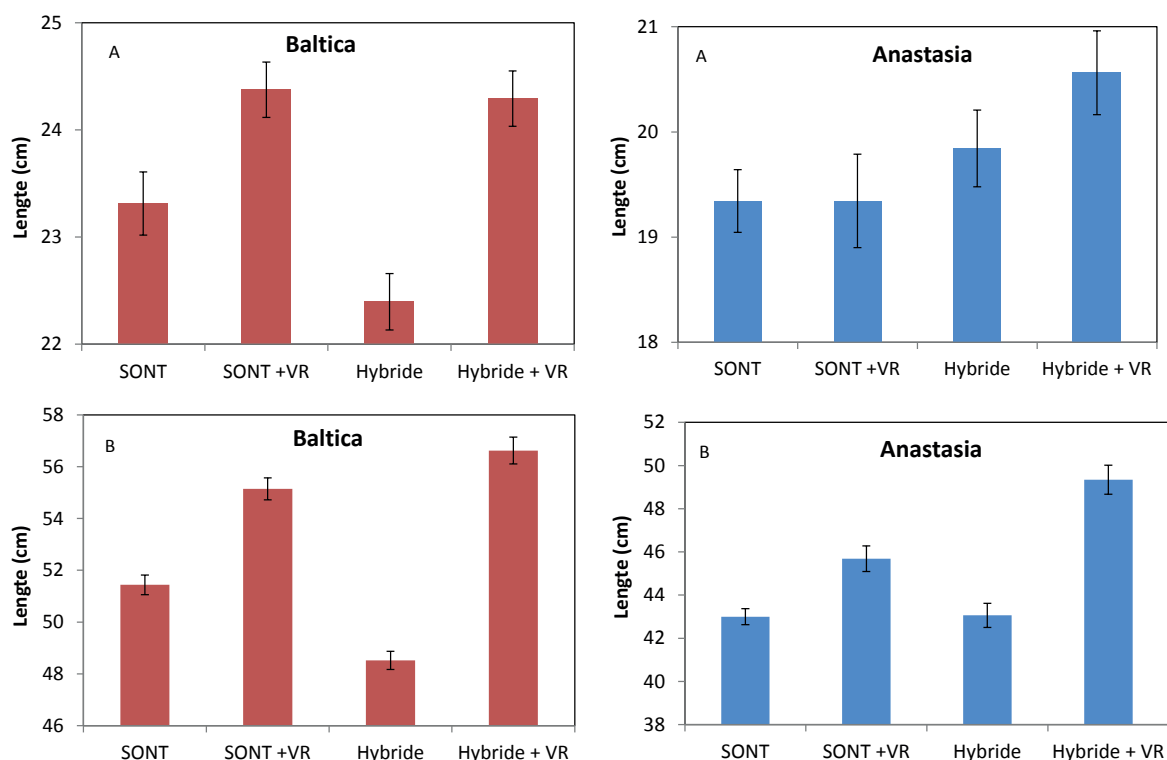


Hybride

Foto start van de korte dag: 2 van de 4 behandelingen (SON-T en hybride belichting) met 3 plantbedden per behandeling

Bij de start van de KD periode werd de lengte en het aantal bladeren gemeten in de 4 behandelingen. Zowel Baltica en Anastasia hadden gemiddeld 14 bladeren, met uitzondering van de SON-T kas met verrood nabelichting, waar Baltica 15 bladeren had gemaakt. Nabelichten met verrood leidt bij Baltica tot langere takken: 1.1 cm en 1.9 cm langere takken in resp. de kas met SON-T en hybride belichting. Nabelichten met verrood heeft bij Anastasia onder SON-T geen effect op lengte en leidt bij hybridebelichting tot 0.8 cm langere takken (Figuur 2).

Dertien dagen later, net voor de eerste groeiremmering werd toegepast, is de lengte opnieuw gemeten. Takken nabelicht met verrood waren langer dan niet-nabelichte takken. Baltica takken nabelicht met verrood waren 3.7 en 8.1 cm langer in de kassen met resp. SON-T en hybride belichting. Anastasia takken nabelicht met verrood waren 2.7 en 6.3 cm langer in de kassen met SON-T en hybride belichting (Figuur 2). Baltica had op dit moment 23 tot 24 bladeren.



Figuur 2 Gemiddelde taklengte (cm) van Baltica en Anastasia bij de overgang naar korte dag (A) en 13 dagen later (B)

Tabel 4

Gemiddelde taklengte en aantal bladeren bij start van de korte dag en 13 dagen later bij Baltica (n=48) en Anastasia (n=16)

Ras		SON-T	SON-T+VR	Hybride	Hybride+VR	
Start KD	Lengte (cm)	Baltica	23.3	24.4	22.4	24.3
		Anastasia	19.3	19.3	19.8	20.6
	Aantal bladeren	Baltica	14.4	15.2	14.3	14.3
		Anastasia	14.3	13.9	13.8	14.3
13 dagen KD	Lengte (cm)	Baltica	51.4	55.1	48.5	56.6
		Anastasia	43	45.7	43.1	49.3
	Aantal bladeren	Baltica	23.7	24.1	23.1	23.4

Bij Baltica zijn de takken geteeld onder SON-T langer dan geteeld onder hybride belichting (Tabel 4). Dit is te verwachten op basis van spectrale samenstelling: SON-T heeft ook verrood licht en hybride belichting heeft relatief meer rood licht wat compactheid stimuleert. Bij Anastasia zijn takken geteeld onder SON-T even lang als onder hybride. Blijkbaar zijn er cultivarverschillen in gevoeligheid van spectrum met betrekking tot strekking. Nabelichten met verrood heeft een veel grotere invloed op taklengte dan de spectrale samenstelling van de assimilatiebelichting, want de takken die nabelicht zijn waren aanzienlijk langer (Figuur 2).

De lichtintensiteit van de verrood lampen varieerde tussen 4.3 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ direct onder de lamp, tot 1.3 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ tussen 2 lampen. Om het effect van de lichtintensiteit van verrood belichting op de strekking te bepalen is de taklengte van de takken gemeten op verschillende afstanden tussen 2 lampen. Er was geen effect meetbaar van verschillende lichtintensiteiten op de taklengte (bijlage I). Blijkbaar was 1.3 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ verrood nabelichting voldoende om morfologie te beïnvloeden. Het effect van kas oriëntatie (oost-west) speelde een veel grotere rol in taklengte dan lichtintensiteit van de lampen. Het effect van kas oriëntatie op taklengte kan veroorzaakt zijn door een gradiënt in de kas van oost naar west in klimaatcondities of zonlicht. De oorzaak is niet onderzocht.

De takken in de behandeling met verrood nabelichting zijn sterker geremd met Alar dan de takken zonder nabelichting. Er is één keer extra groeiremming in deze behandelingen toegepast en soms met een iets hogere dosering.

3.3.3 Reactietijd en kwaliteit

De reactietijd werd beoordeeld door de teeltbegeleider waarna de takken van Baltica destructief geogst werden. Bij Baltica geteeld onder hybride belichting en nabelicht met verrood waren de takken het snelst oogstrijp met een reactietijd van 60 dagen. In de andere 3 behandelingen was de reactietijd 1 tot 2 dagen langer (Tabel 5). Nabelichten met verrood verkortte de reactietijd bij Baltica met 1 dag bij zowel SON-T als bij hybride belichting. Nabelichten met verrood had geen invloed op de reactietijd bij Anastasia. De reactietijd van Anastasia was met 62 dagen korter onder SON-T belichting dan onder hybride belichting (66 dagen). In dit experiment is er dus nauwelijks tot geen invloed geweest van verrood nabelichten op de reactietijd op Baltica en Anastasia.

Tabel 5

Gemiddelde reactietijd van Baltica en Anastasia en kwaliteit van geogste Baltica takken.

	SON-T	SON-T+VR	Hybride	Hybride+VR
Reactietijd Anastasia (dagen)	66	66	62	62
Reactietijd Baltica (dagen)	62	61	61	60
Kwaliteit Baltica				
Kwaliteit 1 (%)	96	92	90	96
Kwaliteit 2 (%)	4	4	4	2
Nietjes (%)	0	4	6	2
Groene takken (%)*	23	17	18	17

* minder dan 3 rijpe bloemen

In de kas met SON-T belichting waren geen takken in de proefveldjes lichter dan 45 gram (nietjes); in de andere behandelingen was dat wel het geval (2 tot 6% nietjes). De takken in de kas met SON-T waren iets groener dan in de andere behandelingen.

3.3.4 Productie

Nabelichten met verrood resulteerde in de langste takken, ondanks het toepassen van groeiremmers (Tabel 6). Van nabelichten met verrood is bekend dat dit de strekking stimuleert. In chrysanth is dit echter ongewenst. Maar er is nabelicht met verrood om de hypothese te toetsen of dit de teelt versnelt door een effect op de morfologie van de plant: door een andere morfologie zou de lichtonderschepping verhoogd kunnen worden, waardoor het gewas sneller gesloten is. In dit experiment is nabelicht met verrood gedurende 5 weken, dus ook nog in de periode nadat het gewas gesloten is. Wellicht zou de strekking minder zijn geweest als de nabelichting alleen in de periode was uitgevoerd tot volledige lichtonderschepping. Tijdens een BCO overleg is besloten dit in een kortdurende aparte proef te toetsen (hoofdstuk 4).

De zwaarste takken werden geproduceerd in de hybride afdeling met verrood nabelichting: gemiddeld 93 gram versgewicht per tak (Tabel 6). De takken in de andere 3 behandelingen waren 86 tot 88 gram en daarmee 5 tot 7 gram lichter. Ook op basis van het drooggewicht per cm taklengte zijn de takken in de hybride belichting met nabelichting zwaarder dan in de overige behandelingen. Bij SON-T belichting zijn de takken nabelicht met verrood zwaarder per cm tak dan de niet nabelichte takken. Voor de veiling worden de takken afgesneden op 72 cm. Het is de vraag of de takken in de hybride met nabelichting dan nog steeds het zwaarst zijn, of dat er relatief meer gewicht in het onderste deel van de tak zat. Dat is in dit experiment niet gemeten. Tijdens een BCO overleg waar deze resultaten werden gepresenteerd, is besloten in het volgende experiment (najaarsteelt) ook de gewichten te meten van de verkoopbare tak: de tak wordt afgeknipt op 72 cm lengte en de onderste 15 cm wordt ontbladerd.

De productie per m² versgewicht gecorrigeerd voor uitval is het hoogst in de hybride behandeling met nabelichting met verrood, gevolgd door SON-T, SON-T met nabelichting en de laagste productie was in de hybride belichting (Tabel 6). De definitie van de lichtbenuttingsefficiëntie (LBE) is de hoeveelheid geproduceerd versgewicht per mol PAR (van zon en lamplicht samen). De LBE is het hoogst in de hybride belichting met nabelichting met verrood, enerzijds door de hoogste productie, en anderzijds door de laagste lichtsom gedurende de teelt. Deze behandeling heeft minder licht gehad door de kortste teeltduur. Ook als de lichtbenuttingsefficiëntie wordt uitgedrukt in drooggewicht per mol PAR, is deze het hoogst in de behandeling met hybride belichting en nabelichting, en het laagst in de hybride belichting. Deze lage LBE in de hybride belichting wordt niet zo zeer veroorzaakt door een hoge lichtsom, maar vooral door de lage drogestofproductie (laag drogestof percentage van de tak vergeleken met de andere behandeling) en door de hoogste uitval door nietjes (6%).

Tabel 6

Gemiddelde morfologie en productie van Baltica.

	SON-T	SON-T+VR	Hybride	Hybride+VR
Morfologie				
Lengte (cm)	89.3	91.0	84.1	92.5
Aantal rijpe bloemen	2.9	3.3	3.3	3.3
Aantal bloemen + knoppen	10.9	11.4	10.3	10.8
Productie				
Versgewicht tak (g)	86.6	87.5	85.9	92.5
Drooggewicht tak (g)	9.5	10.2	8.7	10.6
Drogestof % tak	11.0	11.6	10.1	11.2
Drooggewicht/cm tak (g/cm)	0.107	0.112	0.103	0.115
Productie (versgewicht (g/m ²))*	5542	5370	5166	5947
Productie (drooggewicht (g/m ²))*	611	624	522	668
Lichtsom (mol PAR/m ²)	1101	1076	1074	1048
Lichtbenuttingsefficiëntie				
LBE (g vers/mol)	5.0	5.0	4.8	5.7
LBE (g droog/mol)	0.55	0.58	0.49	0.64

*De productie per m² is gecorrigeerd voor uitval door het vóórkomen van 'nietjes'.

3.3.5 Houdbaarheid

De houdbaarheid is gedurende 3 weken na de oogst beoordeeld. Na 3 weken waren alle takken afgeschreven in de hybride belichting; gemiddeld waren ze na 19 dagen afgeschreven zowel met als zonder verrood nabelichting. Reden voor afschrijving was slap blad en bruine hartjes (foto).



Foto Overzicht van Baltica in de uitbloeiruimte (links) en 'bruine hartjes' (rechts).

Na 3 weken waren alle takken in de behandeling SON-T met verrood nabelichting nog goed, hoewel 27% van de bloemen een bruin hartje had (afschrijven als > 50% van de bloemen een bruin hartje heeft, VBN 2001). In de kas met SON-T belichting waren 60% van de takken afgeschreven na 3 weken.

Tabel 7

Het percentage afgeschreven takken na 3 weken en het % takken met bruine hartjes in de 4 behandelingen.

	SON-T	SON-T+VR	Hybride	Hybride+VR
% afgeschreven na 21 dagen	60	0	100	100
% bruine hartjes na 14 dagen	1	3	15	32
% bruine hartjes na 21 dagen	35	27	64	59

3.4 Conclusies

Chrysanten telen onder hybride belichting is mogelijk met behoud van productie. De productie was het hoogst onder hybride belichting met verrood nabelichting. Echter, de kwaliteit van de takken geteeld onder hybride belichting was minder vergeleken met SON-T belichting. Door het ontstaan van bruine hartjes waren na 3 weken alle takken afgeschreven, terwijl takken geteeld onder SON-T nog niet (0 of 60%) waren afgeschreven.

- Hybride belichting met verrood nabelichting gaf de hoogste productie en de hoogste lichtbenuttingsefficiëntie. Chrysanten kunnen dus geteeld worden onder hybride belichting (met verrood nabelichting) met behoud van productie.
- Nabelichten met verrood geeft langere en zwaardere takken (Baltica).
- Nabelichten met verrood heeft nauwelijks (1 dag) tot geen invloed op de reactietijd (resp. Baltica en Anastasia).
- Lamp type heeft effect op reactietijd, kwaliteit, lengte, houdbaarheid en gewicht.
- Houdbaarheid is korter in kas met hybride belichting.

4 Verrood nabelichting in de eerste 3 weken van de teelt

4.1 Inleiding

In verschillende experimenten is er een effect gemeten van toevoeging van verrood belichting op de ontwikkeling van verschillende gewassen (Neeffjes, 2012, Maaswinkel *et al.* 2012, Hogewoning en Trouwborst 2013). Bij komkommer werd de lichtonderschepping door individuele bladeren hoger door langere bladstelen en langere internodiën (Hogewoning *et al.* 2010).

In de voorjaarsproef (hoofdstuk 3) waren takken langer die geteeld waren onder hybride belichting en met verrood licht waren nabelicht en het drooggewicht per eenheid tak was het hoogst. Strecking is echter ongewenst in chrysant. In de voorjaarsproef was 5 weken nabelicht met verrood. Mogelijk biedt het voordelen alleen met verrood na te belichting in de periode van onvolledige bodembedekking. De hypothese is dat verrood nabelichting invloed heeft op de morfologie: meer Strecking en groter blad. Hierdoor kan meer licht onderschept worden, er is een sneller volledige lichtonderschepping bereikt, en het gewas heeft een snellere start. Om deze hypothese te toetsen is een kortdurend experiment van 3 weken uitgevoerd met chrysantenstekken. Deze stekken zijn in de LD opgekweekt onder SON-T of onder hybride belichting. Een deel van beide groepen werd nabelicht met verrood gedurende 10 minuten of 30 minuten. Wekelijks werd lichtonderschepping gemeten en werd destructief geoogst.

Daarnaast is getest hoe lang het effect van verrood nabelichting nog doorwerkt op de groei en ontwikkeling door wekelijks planten over te zetten naar behandelingen zonder verrood nabelichting. Hiermee zou het effect van verrood nabelichting vastgesteld kunnen worden op de lichtonderschepping en morfologie van een jong chrysantengewas.

De volgende belichtingsstrategieën zijn getoetst:

1. SON-T
2. SON-T, 10 min nabelichten met verrood
 - a. SON-T, 30 min nabelichten met verrood (3 weken)
 - b. SON-T, 30 min nabelichten met verrood gedurende 1 week, daarna terug naar behandeling 1
3. SON-T, 30 min nabelichten met verrood gedurende 2 weken, daarna terug naar behandeling 1
4. hybride
5. hybride, 10 min nabelichten met verrood
6. hybride, 30 min nabelichten met verrood
 - a. hybride, 30 min nabelichten met verrood gedurende 1 week, daarna terug naar behandeling 4
 - b. hybride, 30 min nabelichten met verrood gedurende 2 weken, daarna terug naar behandeling 4

4.2 Materialen en methoden

4.2.1 Plantmateriaal

Het experiment werd uitgevoerd met het ras 'Baltica' van Deliflor. De stekken werden op 21 oktober geleverd en in potten met een diameter van 14 cm geplant in een mengsel van potgrond en 15% perliet (Fluch fijn van Jiffy Products). De planten waren 11 cm lang en hadden gemiddeld 8 bladeren. De planten werden in 2 kassen geteeld met een dichtheid van 50 planten/m². Tijdens de teelt van 3 weken is geen groeiremming toegepast.

4.2.2 Behandelingen

In 1 kas werden de planten belicht met 90 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ SON-T lampen en in 1 kas werden planten belicht met hybride belichting (SON-T en LED). Elke kas was in 3 compartimenten verdeeld met wit plastic, waardoor er nabelicht kon worden met verrood lampen zonder de andere behandelingen te beïnvloeden. In elk compartiment van de kas was 1 plantbed tussen de verwarmingsbuizen met daaromheen 2 rijen randplanten (foto).



Foto Overzicht van de potten in een plantbed.



Foto Plantbed in een compartiment: hybride met verrood nabelichting.

Tijdens de lange dag periode van 11 dagen werd er 20 uren belicht. In de korte dag periode werd er 11 uren belicht met assimilatielicht. De setpoints voor kasluchttemperatuur, CO_2 en relatieve luchtvochtigheid waren gelijk. Uiteindelijk is de gemiddelde etmaaltemperatuur in de SON-T kas 0.2 $^{\circ}\text{C}$ hoger geweest dan in de hybride kas; respectievelijk 21.1 en 20.9 $^{\circ}\text{C}$. De relatieve luchtvochtigheid in de kassen was 72% in beide kassen. De CO_2 concentratie tijdens de lichtperiode was in beide kassen boven de 900 ppm (936 en 975 ppm in respectievelijk de SON-T kas en de hybride kas).

Eén dag na planten startten de behandelingen. De helft van de planten werd geteeld in de kas onder SON-T belichting en de helft van de planten onder hybride belichting. Bij beide belichtingssystemen werd een deel van de planten aan het einde van de dag belicht met verrood (VR) gedurende 10 of 30 minuten. Door een storing is er tijdens de proef van 21 dagen, 4 dagen niet nabelicht met verrood (eerste 4 dagen bij starten korte dag). Planten die 30 minuten nabelicht werden, zijn na 1 of 2 weken teruggeplaatst in het compartiment van de kas zonder nabelichting.

4.2.3 Metingen

Wekelijks werd de lichtonderschepping door het gewas gemeten met een SunScan (Delta-T) op 4 plaatsen in het plantbed. Van 24 planten per behandeling werden de volgende parameters gemeten: lengte, aantal bladeren, bladoppervlakte, drooggewicht blad en drooggewicht bovengrondse delen. Aan de planten die maar kortdurend werden nabelicht (behandelingen 3a,3b,6a,6b) werd alleen de lengte gemeten.

4.3 Resultaten en discussie

4.3.1 Waarnemingen

Na 1 week was al zichtbaar dat nabelichting met verrood tot meer strekking leidt. Na 3 weken was dit effect nog duidelijker (foto's).



Foto SON-T, 10 en 30 min nabelicht met verrood.



Foto Hybride, 10 en 30 min nabelicht met verrood.

Nabelichte planten waren langer, ieler en lichter groen van kleur. Er was geen verschil te zien in bladvorm en ontwikkeling van zijscheuten.

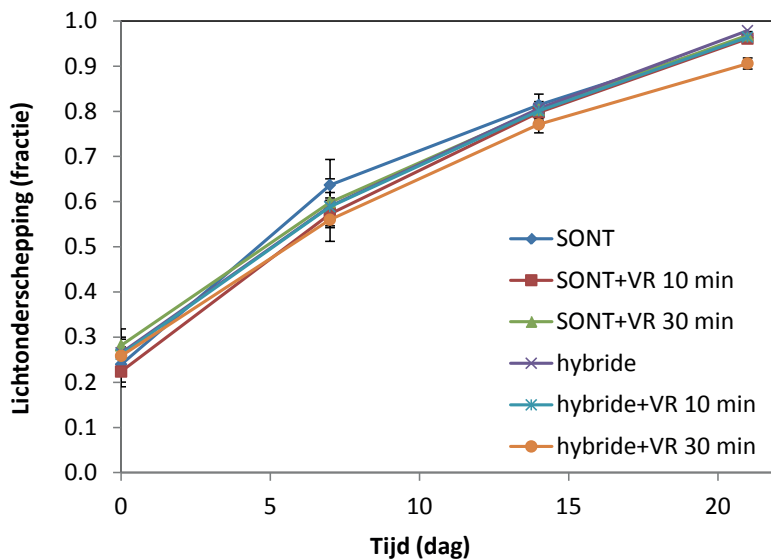
Planten belicht met SON-T belichting waren iets langer dan planten belicht met hybride belichting, maar verder visueel gelijk.



Foto Chrysant 3 weken geteeld onder SON-T (links) en onder hybride belichting (rechts).

4.3.2 Lichtonderschepping

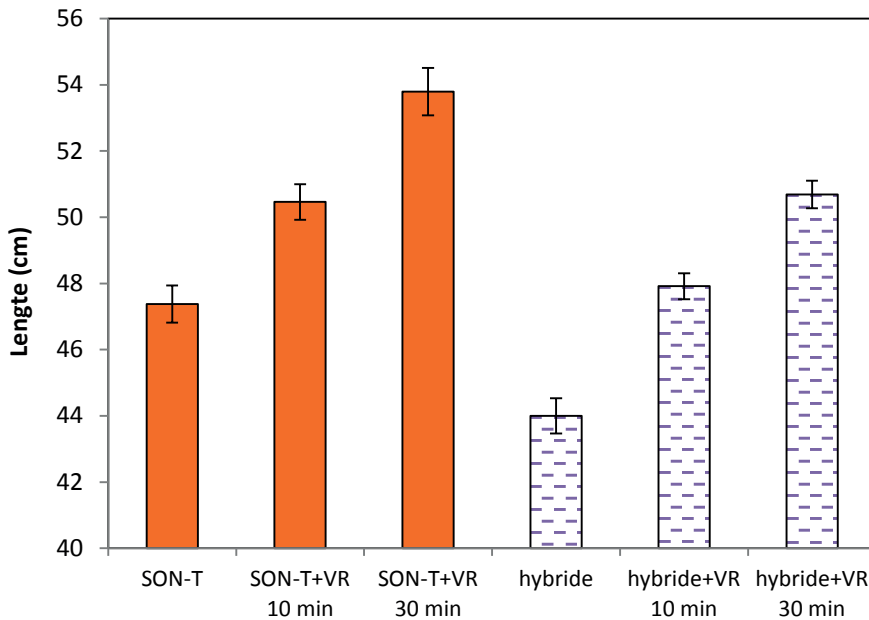
De lichtonderschepping door chrysant is direct na het planten gemiddeld 25% (Figuur 3). De 2 weken daarna nam de lichtonderschepping toe tot 80% en was gelijk voor de 6 belichtingsstrategieën. Na 3 weken was de lichtonderschepping iets lager bij de hybride belichting nabelicht 30 minuten met verrood dan bij de andere vijf behandelingen. Dat betekent dat nabelichten met verrood de lichtonderschepping van Baltica niet verhoogt gedurende 3 weken na planten.



Figuur 3 Lichtonderschepping (fractie) door chrysant direct na planten tot 3 weken na planten (gemiddelde van 4 meetplaatsen met standaardfout).

4.3.3 Morfologie en gewicht

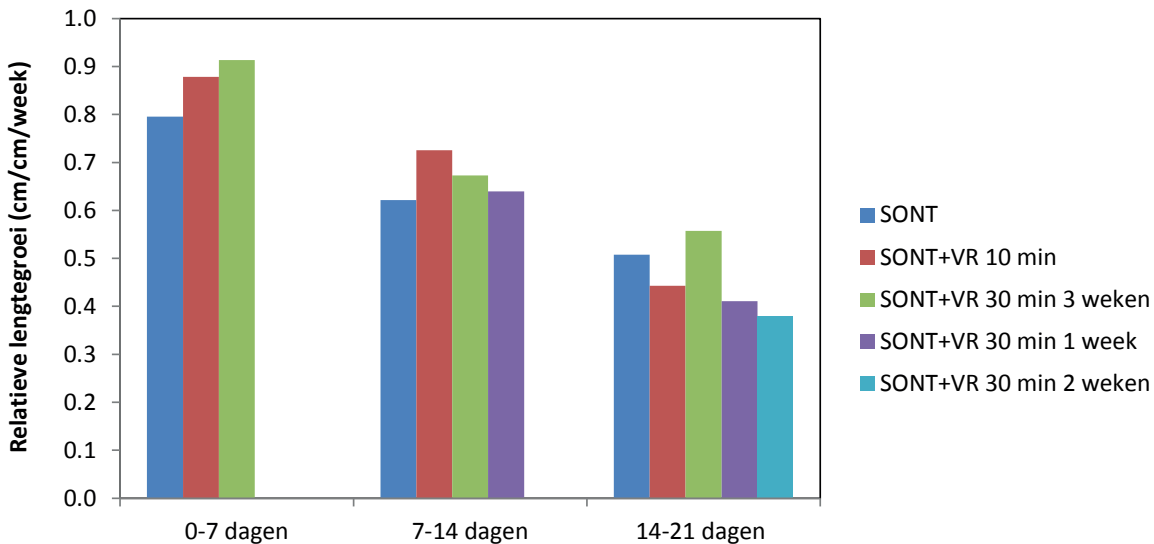
Planten die nabelicht zijn met verrood zijn na 3 weken langer dan niet nabelichte planten. Nabelichten gedurende 30 minuten resulteert in 7 cm lengtetoeename en 10 minuten nabelichten resulteert in 3 tot 4 cm lengtetoeename bij zowel de SON-T als de hybride belichting (Figuur 4; bijlage II). Belichtingsduur is dus van invloed op de strekking. Al na 1 week belichten was een lengteverschil van 1 tot 2 cm meetbaar (bijlage II). Planten geteeld onder hybride belichting zijn 3 cm korter na 3 weken dan planten geteeld onder SON-T; na 1 week belichten was dit verschil 1 cm.



Figuur 4 Lengte chrysant na 3 weken ($n=24$ met standaardfout).

Planten onder SON-T belichting, die maar 1 of 2 weken zijn nabelicht met verrood, zijn respectievelijk 1 en 3 cm langer dan niet nabelichte takken. Ze houden dit lengteverschil niet vast: na 3 weken zijn de planten onder SON-T 48 cm lang en daarmee even lang als planten die helemaal niet nabelicht zijn (bijlage II). Dat betekent dat er geen "na-ijl effect" is van het effect van verrood nabelichting. Strecking gaat niet langer door als de nabelichting is gestopt. De strekking wordt juist minder nadat de verrood nabelichting is gestopt.

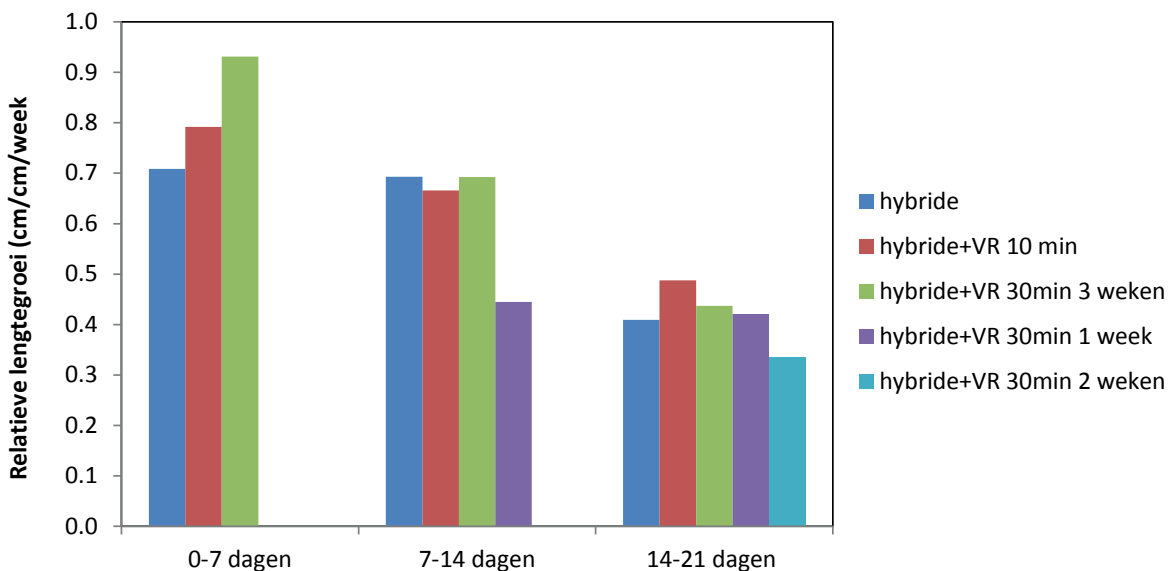
Een relatieve lengtegroei wordt berekend als lengtegroei per cm tak. De relatieve lengtegroei is ná het terugplaatsen onder SON-T belichting lager dan van planten die continu onder SON-T staan. In Figuur 5 is de relatieve groei onder SON-T weergegeven per week. In de eerste week (0-7 dagen) is duidelijk te zien dat de lengtegroei het sterkst is bij 30 minuten nabelichten, duidelijk hoger dan bij 10 minuten nabelichten. In de 2^e week (7-14 dagen) is de relatieve lengtegroei nog steeds hoger als er nabelicht wordt met verrood. De paarse kolom laat zien dat planten die na 1 week nabelichten weer teruggezet zijn bij SON-T zonder nabelichting, weer een vergelijkbare toename in lengtegroei hebben als de planten onder SON-T. Er is dus geen 'na-ijl effect' van verrode nabelichting op lengtegroei. In de 3^e week (14-21 dagen) is zelfs te zien dat de relatieve lengtegroei toename juist kleiner is bij planten die eerder zijn nabelicht met verrood, maar teruggeplaatst zijn onder SON-T belichting zonder nabelichting (paarse en lichtblauwe kolom).



Figuur 5 Relatieve lengtegroei (cm/cm tak/week) van chrysant onder SON-T belichting al dan niet 1,2 of 3 weken nabelicht per verrood.

Bij de hybride belichting zijn takken die 1 of 2 weken nabelicht zijn met verrood respectievelijk 2 en 4 cm langer dan niet nabelichte takken (Figuur 6, bijlage II). Als takken na 1 week nabelichten worden teruggeplaatst is de relatieve lengtegroei lager dan van niet nabelichte takken (parse kolom Figuur 6). Na 3 weken is er geen verschil meer in lengte waarneembaar.

Twee weken nabelichten leidt ook tot een lagere relatieve lengtegroei, maar uiteindelijk zijn de takken na 3 weken nog wel 3 cm langer dan niet nabelichte takken. Ook hier is er geen sprake van een "na-ijl effect" van verrood belichting, waarbij de lengtegroei nog doorgaat nadat de verrood nabelichting is gestopt.



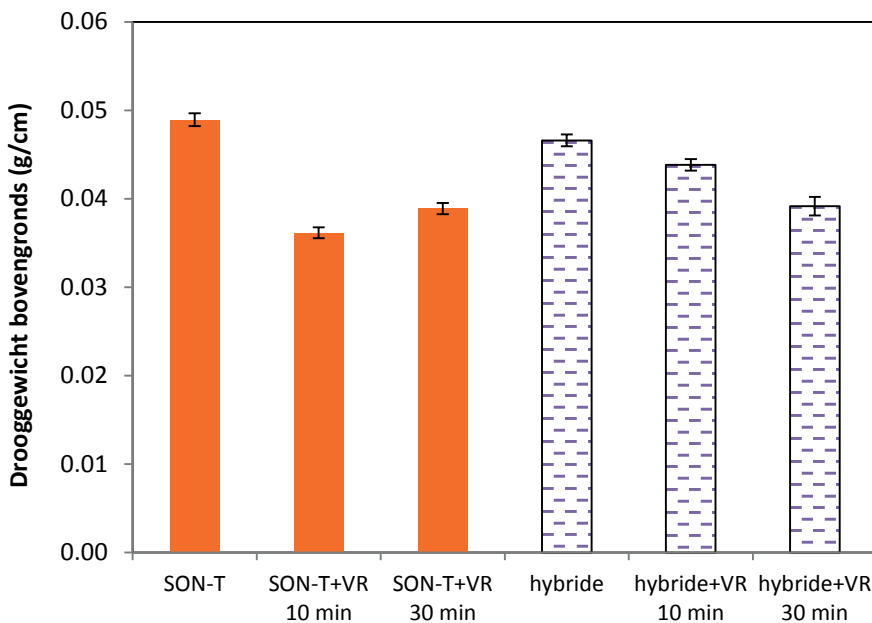
Figuur 6 Relatieve lengtegroei (cm/cm tak/week) van chrysant onder hybride belichting al dan niet 1,2 of 3 weken nabelicht per verrood.

Onder SON-T belichting hadden planten 1 blad meer na 2 weken dan planten onder hybride belichting. Omdat bladafplitsing vooral temperatuur gestuurd is, werden metingen uitgevoerd aan de lucht- en planttemperatuur. De kasluchttemperatuur was gelijk in beide kassen. Handmatige puntmetingen van de bladtemperatuur lieten echter zien dat de bladtemperatuur in de SON-T kas 1°C hoger was dan in de hybride kas (data niet gepresenteerd). Dit was gemeten op een donkere dag met relatieve hoge bijdrage van de lampen aan de totale straling op plantniveau. Bij LED lampen ontbreekt de NIR straling (nabij infrarood); in de SON-T kas werd het blad dus meer opgewarmd door de NIR straling van de SON-T lampen dan in de hybride kas waar maar 8 SON-T

lampen hingen i.p.v. 18 lampen. Vooral in donkere perioden zal de planttemperatuur iets hoger geweest zijn in de SON-T kas vergeleken met de hybride kas. Dit heeft tot meer bladafplitsing geleid.

De totale bladoppervlakte is iets groter bij SON-T dan bij hybride belichting, vooral door het extra blad (bijlage II). Nabelichting met verrood heeft niet resulteert in een vergroting van het totale bladoppervlak; ook niet als het berekend wordt als bladoppervlakte per blad. Lund *et al.* (2007) vonden ook geen effect van nabelichting met verrood op het bladoppervlak van blad aan de hoofdstengel.

Planten die nabelicht waren met verrood waren visueel langer, ieler en lichter van kleur. Dat is in overeenstemming met Figuur 7, waarin het bovengrondse drooggewicht is weergegeven per cm taklengte. Hier is te zien na nabelichte takken minder gram drogestof per cm tak hebben en dus ieler lijken. Dit is niet in overeenstemming met de voorjaarsteelt, waarin de met verrood nabelichte takken juist meer drooggewicht per cm tak hadden bij de eind oogst.



Figuur 7 Gemiddeld drooggewicht per tak uitgedrukt per cm lengte ($n=24$, met standaardfout).

Samengevat:

- Nabelichten met verrood leidt niet tot een hogere lichtonderschepping door het gewas.
- Chrysanten nabelichten met verrood resulteerde in langere takken. Na 3 weken waren de takken 7 cm langer bij 30 minuten nabelichten met verrood, zowel bij SON-T belichting als bij hybride belichting. De strekking is al na 1 week meetbaar: takken zijn dan 1 tot 2 cm langer.
- 30 minuten nabelichten leidt tot meer strekking dan 10 minuten nabelichten.
- Chrysanten geteeld onder SON-T zijn langer dan onder hybride belichting: na 3 weken scheelt dit 3 cm.
- Een korte periode nabelichten met verrood heeft geen 'na-ijl effect' op de lengtegroei.
- Chrysanten geteeld onder SON-T hadden een iets hogere planttemperatuur dan planten onder hybride belichting en heeft geleid tot 1 extra blad. Dit resulteerde echter niet in meer lichtonderschepping.
- Nabelichten met verrood resulteerde in ielere takken: minder drooggewicht per cm tak. Dit is nadelig voor de kwaliteit.

Dit experiment is uitgevoerd met 1 cultivar: Baltica. Het is de vraag of dit resultaat ook bij andere cultivars gemeten zou zijn. Baltica is een cultivar die flink strekt en in het begin van de teelt vrij iel blad heeft vergeleken met andere cultivars. Verhoging van de lichtonderschepping in het begin van de teelt zou juist bij deze cultivar wenselijk zijn.

4.4 Conclusies

Nabelichten van Baltica met verrood resulteert in langere takken bij SON-T belichting en bij hybride belichting. Het bladoppervlak neemt niet toe door nabelichten en ook de lichtonderschepping door het gewas neemt niet toe door nabelichten met verrood. Er is geen 'na-ijl effect' van verrode nabelichting op lengtegroei. Voor Baltica is het nadelig om na te belichten met verrood, omdat strekking van het gewas onwenselijk is en er meer groeiremming toegepast zal moeten worden.

5 Najaarsteelt

5.1 Inleiding

In een experiment in het najaar werden, net als in het voorjaar (hoofdstuk 3), verschillende belichtingssystemen vergeleken op het telen van chrysaant. Het onderzoek was gericht op 30% energiebesparing op elektriciteit door belichting met behoud van productie en kwaliteit. Energie werd bespaard door gebruik van energiezuinige lampen (LEDs). Daarnaast werd belicht naar behoefte. In de voorjaarsteelt (hoofdstuk 2) kon dit niet getest worden, omdat deze teelt gedeeltelijk buiten het belichtingsseizoen plaatsvond. Maar juist in het najaar zijn er lichte dagen, waarop de zon mogelijk al voldoende licht geeft en de belichting gedeeltelijk uitgeschakeld kan worden. In dit experiment werden 14 rassen gebruikt om de interactie tussen belichting en klimaat met deze rassen te onderzoeken. Hiertoe zijn drie kassen van 144 m² gebruikt, met SON-T belichting, hybride belichting (SON-T en LED) en alleen LED-belichting, allen bij dezelfde lichtintensiteit. In elke belichtingsbehandeling werd een aantal plots van elke ras uitgezet en gedurende de teelt werd zowel de elektrische als warmte energie gemonitord. De invloed van de belichting op de groei en morfologie werd gemeten en geanalyseerd, en na het oogsten werd ook de houdbaarheid gemeten.

De volgende 3 belichtingsstrategieën zijn toegepast:

- SON-T belichting: referentieteelt
- Hybride belichting (SON-T en LED): belichten naar behoefte
- LED belichting: belichten naar behoefte

In de kas met SON-T belichting werd geteeld zoals in de praktijk (referentieteelt). In de andere 2 kassen werd 'belichten naar behoefte' toegepast, waarbij de belichting uitgeschakeld werd als er voldoende zonlicht was.

5.2 Materialen en methoden

5.2.1 Plantmateriaal

Het experiment werd uitgevoerd met 14 rassen: 7 afkomstig van Deliflor en 7 van Fides. Deliflor leverde de volgende rassen: Anastasia, Baltica, Dante, Delianne, Fortune, Radost, Zembla. Fides leverde Arctic Queen, Bacardi, Feeling Green, Grand Pink, Ibis, Prada en Rihanna. Alle gestoken stekken waren beworteld bij Fides. De stekken werden geplant op 26 november 2013 in 3 kassen van 144 m² in een plantdichtheid van 45.4 planten/m² (zie foto's hieronder). In alle 6 plantbedden in elke kas werden alle rassen geplant in veldjes van 1.2 m² per ras, waarvan de 2 buitenste bedden waren bestemd als randbedden. De buitenste meter in de lengte van de 4 proefbedden waren eveneens randveldjes. In elk proefbed werd de volgorde van de 14 rassen geloot. Op deze manier waren er van elk ras 4 proefveldjes met in totaal 54 planten per proefveldje. De volgorde van de rassen in de bedden was voor elke kas gelijk. Plantmetingen werden niet aan de buitenste 2 planten van de proefveldjes uitgevoerd.

5.2.2 Belichting

In elke kas hing een ander type belichting: SON-T, hybride en LED (hoofdstuk 2).



SON-T



Hybride



LED

Foto Inrichting van de 3 kassen met verschillende belichting, 2 dagen na planten.

Tijdens de lange dag periode werd er in de kas met SON-T lampen 20 uur belicht zoals in de praktijk. In de hybride en de LED kas werd belicht naar behoefte. Als werd voldaan aan de benodigde hoeveelheid licht, dan schakelden de lampen midden op de dag uit voor een periode variërend van 1 uur tot 6 uur. De benodigde hoeveelheid licht werd als volgt berekend:

Een rekenmodel berekent de minimale dagelijkse lichtbehoefte door het benodigde versgewicht per m² te delen door de teeltduur en de lichtefficiëntie. Voor een winterteelt is op deze manier een lichtbehoefte berekend van 8.6 mol/m²/dag. Als de som van het daglicht en het assimilatielicht hoger is dan deze 8.6 mol/m²/dag dan werden de lampen midden op de dag uitgeschakeld. Aangezien een dergelijk regeling lastig is in te stellen op de klimaatcomputer, is deze vereenvoudigd door te stellen dat het aantal belichtingsuren per dag wordt afgebouwd van 20 naar 0 (tijdens de lange dag periode) of van 11 naar 0 (tijdens de korte dag periode) als de hoeveelheid globale straling oploopt van 300 naar 700 J/cm²/dag. Hierbij is gerekend met een kastransmissie van 50%. (Transmissie van de kassen in Bleiswijk is ca. 60%, maar gevelschermen worden gesloten aan de zuidzijde van de kas).

5.2.3 Klimaat

Er is gestreefd naar gelijke kasluchttemperaturen in de 3 kassen. De setpoint van de verwarming in de LED kas was 1°C hoger dan in de andere kassen. Door de warmtestraling van de SON-T werd in de SON-T kas meer gelucht. Dat betekent dat het niet alleen een belichtingsexperiment is geweest, maar dat ook klimaat een rol speelt door de verschillende spectra van de lampen.

5.2.4 Teelt

De teelt werd begeleid door Paul de Veld van DLV, maar ook Fides en Deliflor gaven regelmatig adviezen voor de verschillende rassen. Voor elke kas werd bepaald wanneer het juiste moment was om de korte dag te starten. Dit werd beoordeeld op basis van het 'gemiddelde' ras. Alle rassen werden geremd met Alar op advies van de teeltbegeleiders (per ras op het juiste moment).

Tijdens de teelt werd direct na planten biologische bestrijding toegepast (Cucumeris).

Bij elke watergift werd "Motto" (uitvloeier) toegevoegd. De waterbehoefte was niet in alle kassen gelijk. De momenten van watergift waren wel gelijk, maar de hoeveelheid was vooral aan het einde van de teelt soms verschillend (SON-T, hybride, LED, resp. 8 liter, 6 liter, 4 liter).

5.2.5 Metingen

De planttemperatuur werd continu gemeten met een Brinkman infrarood meter. Deze meter hing 10 tot maximaal 15 cm boven het gewas en werd wekelijks op de juiste hoogte gebracht; de planttemperatuur van Bacardi en Arctic Queen werd gemeten. De verwarmingsbuizen waren niet in het gebied van de meetspot. Op 9 en 28 januari werd de planttemperatuur van jonge volgroeide bladeren gemeten met een infrarood handmeter (Humiport IR05) van alle rassen in alle veldjes (8 planten per veldje).

5.2.6 Plantmetingen

Na de overgang van lange dag naar korte dag werden lengte en aantal bladeren geteld van alle rassen (12 planten per ras) in de 3 kassen.

Voor elk ras in elke kas werd de reactietijd bepaald door de teeltbegeleider. Op deze dag werden 8 takken uit het midden – uit een van te voren gemarkeerd veldje - van een proefveldje geoogst. Niet oogstbare takken ('nietjes') werden niet geoogst, maar deze werd vervangen door een andere plant aangrenzend aan het gemarkeerde veldje. De reden hiervoor is dat het gemiddelde gewicht per tak van een proefveld van 8 planten erg bepaald wordt door het aantal nietjes in dit veldje van 8 planten. Het aantal nietjes in dit kleine veldje hoeft niet representatief te zijn voor het hele proefveld, maar de productie wordt wel sterk beïnvloed door het aantal nietjes. De volgende metingen werden gedaan aan de 8 takken per veldje:

- Versgewicht van de hele tak
- Aantal rijpe bloemen
- Versgewicht van een 72 cm lange tak waarbij de onderste 15 cm ontbladerd is (verkoopbare tak)
- Drooggewicht van de hele tak en van de verkoopbare tak
- Classificatie kwaliteit 1 of 2 (kwaliteit 1 is zwaarder dan 60 gram; kwaliteit 2 weegt tussen de 45 en 60 gram)

Nietjes werden geteld in elk proefveldje van 20 planten (proefveld zonder de buitenste rijen takken). Deze takken waren lichter dan 45 gram, of de knoppen waren nog volledig gesloten.

Het gemiddelde gewicht per tak per proefveld werd gecorrigeerd voor het percentage 'nietjes' in het betreffende proefveld. Deze 'nietjes' werden beschouwd als 'verloren'.

5.2.7 Houdbaarheid

Op het moment van de eind oogst werd aan 10 takken per ras per kas de houdbaarheid bepaald met transportsimulatie. Het aantal bloemen en knoppen werd geteld aan deze takken. Vijf takken werden als bos in plastic gehoesd en vervolgens in een chrysantendoos 5 dagen bij 7°C bewaard (RV 80%). Daarna werden de bossen in de uitbloeiruimte in een emmer gezet met schoon water gedurende 2 dagen (2 cm van de stelen gesneden). In de uitbloeiruimte was de temperatuur 20°C, 50% RV, 12 uur licht (TL lampen Osram L58W/840, 17 $\mu\text{mol PAR}/\text{m}^2/\text{s}$ op de bloem). Daarna werden de hoezen verwijderd, de onderkant van de tak werd schuin afgesneden en werd de uitbloei van elke tak op de vaas gevolgd. Takken werden visueel beoordeeld op slap worden blad, stengel en of bloem en bloemverkleuring (bruine hartjes); dit resulteerde in de datum van afschrijving van elke tak (VBN, 2001). De gemiddelde houdbaarheid van 10 takken werd berekend: moment van op de vaas zetten tot moment van afschrijven.

5.2.8 Energie

Van elke kas is de hoeveelheid benodigde energie berekend voor belichting en warmte voor de lange dag periode en voor de korte dag periode.

5.2.9 Statistiek

Dit experiment is uitgevoerd in 3 kassen met verschillende belichting in elke kas (behandeling). Om uitspraken te kunnen doen over statistisch significante verschillen tussen de 3 behandelingen moeten de behandelingen in meerdere herhalingen uitgevoerd worden. Dat betekent concreet dat er meerdere kassen per type belichting gebruikt hadden moeten worden, maar dat is hier niet gebeurd. Om toch een indicatie te hebben van eventuele verschillen tussen behandelingen is er een variantie analyse uitgevoerd met Genstat (versie 16.2), waarin 'kas' de behandeling was en de 4 plantbedden als 4 'blokken' (herhalingen) aangegeven werden. Eventueel gevonden verschillen tussen de kassen kunnen echter veroorzaakt zijn door een ander factor dan de behandeling ('kaseffect'). Dat betekent dat de op deze wijze gevonden verschillen met Genstat alleen als indicatie gezien mogen worden en niet als statistisch significante verschillen.

5.3 Resultaten en discussie: LD periode

5.3.1 Klimaat en planttemperatuur

Ondanks het streven naar een gelijke kasluchttemperatuur zijn er verschillen tussen de 3 kassen. De gemiddelde kasluchttemperatuur was in de kas met hybride belichting 0.5 tot 0.7°C lager dan in de andere 2 kassen (Tabel 8). In de LED kas was het setpoint 1°C hoger dan in de andere 2 kassen, waardoor de gerealiseerde kaslucht nagenoeg gelijk was aan de kasluchttemperatuur in de SON-T kas. De CO₂ concentratie tijdens de lichtperiode was in alle kassen hoger dan 1000 PPM. De planttemperatuur was in de kas met SON-T hoger (21.4°C) dan in de kas met LED belichting (20.9°C) en het laagst in de kas met hybride belichting (20.1°C, Tabel 9).

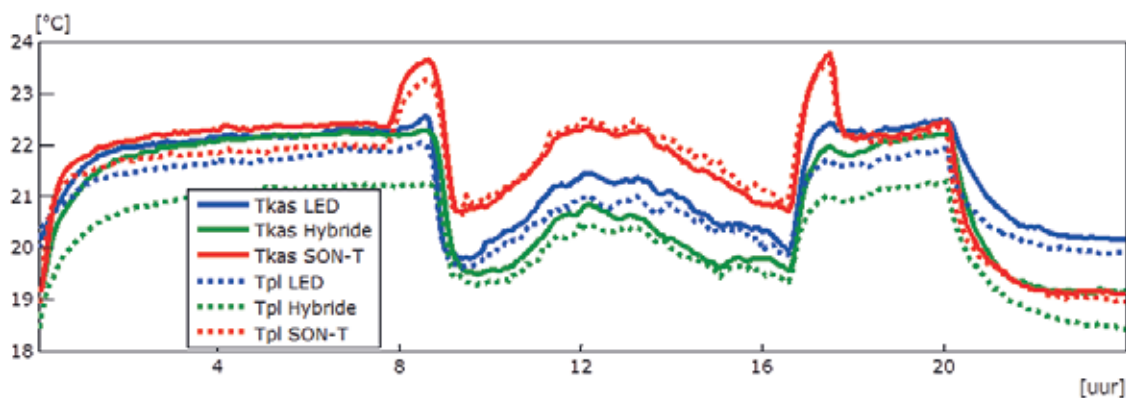
Tabel 8

Gemiddeld klimaat in beide kassen tijdens de lange dag.

	SON-T	Hybride	LED
Kasluchttemperatuur (°C)	21.5	20.8	21.3
Kasluchttemperatuur (°C) licht	21.9	21.2	21.6
Kasluchttemperatuur (°C) donker	19.8	19.7	20.6
CO ₂ licht (PPM)	1059	1102	1048
RV (%)	77	83	81

In Figuur 8 is het cyclisch gemiddelde van de kaslucht- en planttemperatuur weergegeven. Hierin is de temperatuurstijging van kaslucht en planttemperatuur duidelijk te zien bij het aanschakelen van de belichting (0:00 uur).

De stijging van kaslucht- en planttemperatuur in de kas met SON-T rond 7:50 en 17:00 wordt veroorzaakt door het verder sluiten van het verduisteringsdoek van 90 naar 100% om nog geen daglicht binnen te laten, net zoals in de andere 2 kassen. In de SON-T kas is nl. het verduisteringsdoek tijdens de nacht 10% open om de warmte van de SON-T lampen kwijt te raken. Overdag was de planttemperatuur onder SON-T belichting nagenoeg gelijk aan de kasluchttemperatuur; in de hybride en LED kassen was het ca. 0.2 – 0.5°C lager dan de heersende kasluchttemperatuur. Tussen 0:00 en zonsopkomst was het verschil nog groter: onder SON-T lampen 's nachts was de planttemperatuur 0-0.5°C lager, terwijl onder de hybride en LED-belichting het verschil opliep tot ca. 1.5°C. Belangrijker is dat de planttemperatuur in de hybride behandeling bijna 1°C lager was dan onder SON-T en LED-belichting, vooral in de nacht. Dit zal gevolgen hebben voor de ontwikkeling snelheid, maar de oorzaak is niet duidelijk.



Figuur 8 Cyclisch gemiddelde van de kaslucht- en planttemperatuur in de 3 kassen tijdens de lange dag.

Een uitgebreide beschrijving van het klimaat is opgenomen in Bijlage V.

5.3.2 Gewas

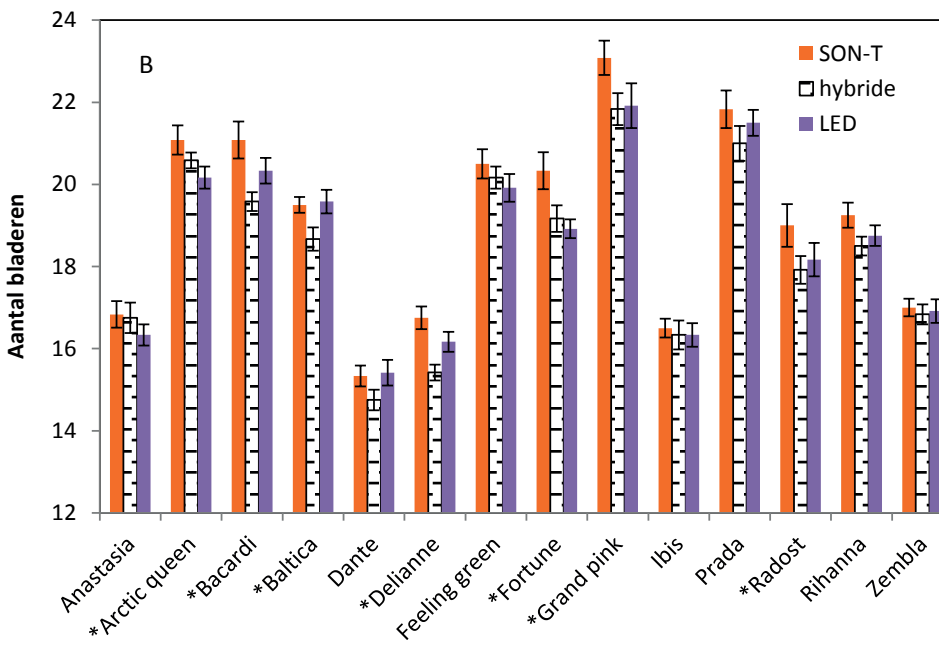
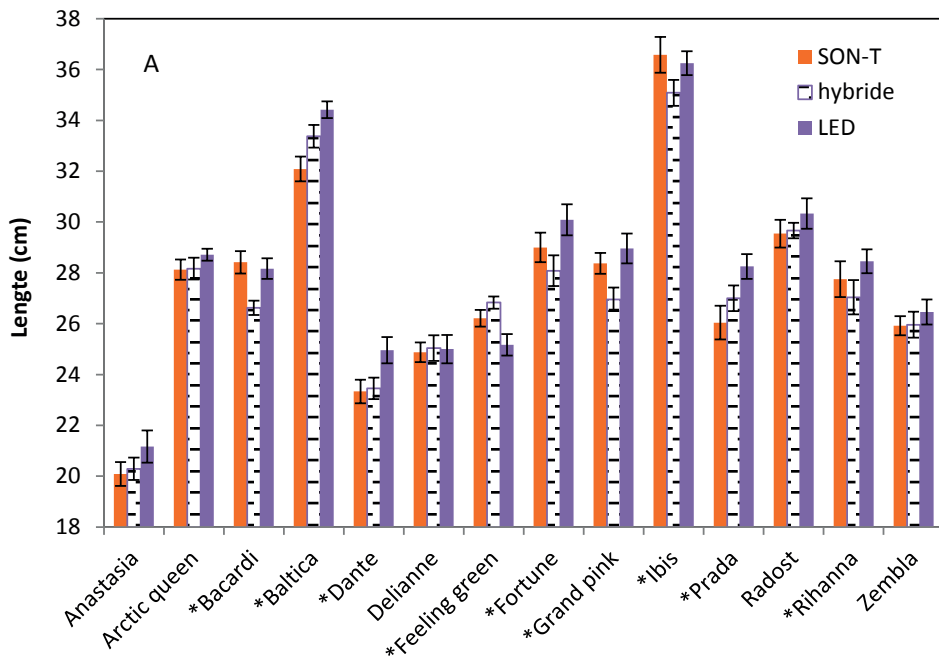
In alle 3 de kassen was er een goede start van de gewasgroei. Er waren geen verschillen te zien in ontwikkeling. Tijdens de lange dag periode is er 34 uren minder belicht (verdeeld over 7 dagen) in de kassen met hybride en LED belichting door te belichten naar behoefte (12% minder belicht vergeleken met de kas met SON-T belichting). Alle kassen waren na 15 dagen 'lange dag' in het goede stadium om de 'korte dag periode' te starten en bloei te induceren. Op dat moment waren de takken gemiddeld van alle rassen in de kas met LED belichting 0.7 tot 0.9 cm langer (variantie analyse) dan in de kas met SON-T en hybride belichting (Tabel 9). Dit is niet in lijn met de theorie dat LED lampen – met een groter aandeel rood dan de andere lampen – compactheid van het gewas stimuleren. Blijkbaar zijn er andere factoren geweest dan spectrum die tot langere planten hebben geleid. In de kas met SON-T belichting hadden de takken gemiddeld een half blaadje meer (variantie analyse). Dit correspondeert met de hogere planttemperatuur in deze kas, die een positief effect heeft op bladafplitsing.

Tabel 9

Gemiddelde kaslucht- en planttemperatuur tijdens LD. Taklengte (cm) en aantal blaadjes van 14 rassen bij de start van de korte dag periode (gemiddelde van 14 rassen; n=168).

Belichting	Planttemperatuur (°C)	Lengte (cm)	Aantal bladeren
SON-T	21.4	27.6	19.1
Hybride	20.1	27.4	18.4
LED	20.9	28.3	18.6

Het effect van belichting op lengte en aantal blaadjes was verschillend per ras (Figuur 9). Zeven rassen waren langer bij LED belichting vergeleken met SON-T of hybride; 1 ras was juist korter en bij 6 rassen was er geen effect. Zes rassen hadden meer blad bij SON-T vergeleken met LED of hybride. Bij de andere 8 rassen was er geen effect.



Figuur 9 Gemiddelde lengte (A) en aantal bladeren (B) per ras bij overgang van lange dag naar korte dag (n=12 met standaardfout). Bij de rassen met een * gaf een variantie analyse aan dat er een significant verschil was tussen de behandelingen.

5.4 Resultaten en discussie: KD periode

5.4.1 Klimaat en planttemperatuur

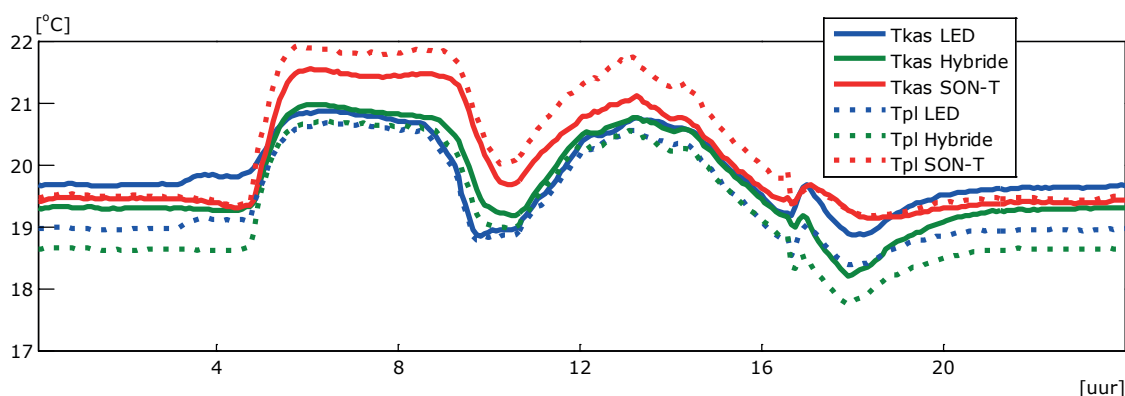
De gemiddelde kasluchttemperaturen in de 3 kassen waren met circa 20°C nagenoeg gelijk. Tijdens de lichtperiode was de kasluchttemperatuur in de kas met SON-T belichting 0.5°C hoger dan in de andere 2 kassen, door de stralingswarmte van de SON-T lampen. De CO₂ concentratie tijdens de lichtperiode was gemiddeld voldoende hoog om geen beperking te vormen voor de fotosynthesesnelheid. De relatieve luchtvochtigheid was in de kas met LED belichting iets hoger dan in de andere kassen: 83, 85 en 87% in respectievelijk de kas met SON-T, hybride en LED.

Tabel 10

Gemiddeld klimaat in beide kassen tijdens de korte dag.

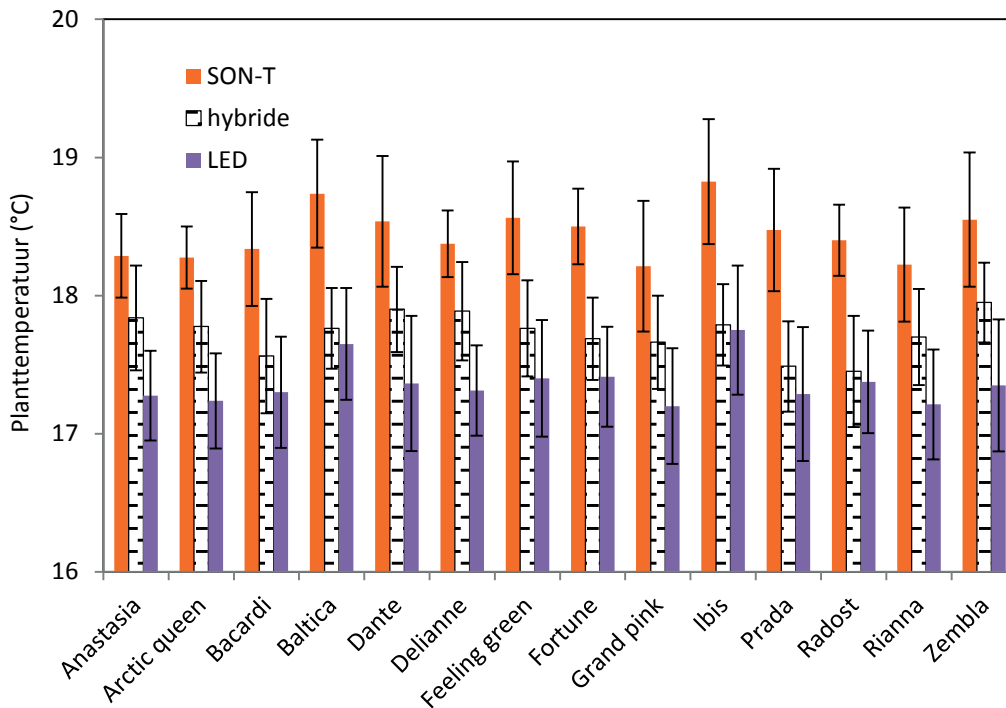
	SON-T	Hybride	LED
Kasluchttemperatuur (°C)	20.0	19.7	19.9
Kasluchttemperatuur (°C) licht	20.7	20.3	20.2
Kasluchttemperatuur (°C) donker	19.4	19.1	19.5
CO ₂ licht (ppm)	994	1067	1030
RV (%)	83	85	87

De planttemperatuur was gemiddeld 1°C hoger in de kas met SON-T belichting dan in de andere 2 kassen; 20.3°, 19.3° en 19.4°C in respectievelijk de kas met SON-T, hybride en LED. In Figuur 10 is het cyclisch gemiddelde weergegeven van de kaslucht- en planttemperatuur tijdens de korte dag periode. Om 5:00 uur schakelen de lampen aan en stijgt de kaslucht- en planttemperatuur. De daling om 9:00 uur wordt veroorzaakt door het openen van de schermen.



Figuur 10 Cyclisch gemiddelde van de kaslucht- en planttemperatuur in de 3 kassen tijdens de korte dag.

Bij handmatige planttemperatuurmetingen was de gemiddelde planttemperatuur eveneens het hoogst in de kas met SON-T belichting bij alle rassen in de 3 kassen (Figuur 11).



Figuur 11 Gemiddelde planttemperatuur van alle rassen gemeten op 9 en 28 januari (n=8; gemiddelde met standaardfout).

5.4.2 Gewas

De eerste 2 weken van de korte dag periode ontwikkelden de takken zich goed in alle 3 de kassen. Er waren geen verschillen in bladstand en ontwikkeling van zijscheuten tussen de 3 behandelingen. Na 3 weken ontwikkelden zich lange zijscheuten bij Delianne en Feeling Green (vanaf de basis van de tak) in vooral de kas met hybride belichting en LED belichting. Bij de eind oogst hadden de meeste takken van Delianne in alle 3 de kassen lange zijscheuten gevormd. Bij Feeling Green was er nog steeds een verschil zichtbaar: in de SON-T kas hadden 13% van de takken lange zijscheuten, in de hybride kas 50% en in de LED kas 81%.

Na 5 weken korte dag was er duidelijk een verschil te zien in ontwikkelingssnelheid: SON-T was sneller en kon 2 dagen eerder geknopt worden dan de andere kassen. Bovendien zagen de takken in de kas met SON-T belichting er uniformer uit dan de takken in de andere 2 kassen. Door de hogere planttemperatuur onder SON-T was de ontwikkelingssnelheid hoger met een teeltduur verkorting als gevolg. De takken in de kas met LED belichting weken het sterkst af: de takken waren een dag of 4 trager vergeleken met de kas met SON-T belichting, de knopaanleg was ongelijk, het gewas was vegetatiever, meer chlorose en bij Grand Pink was doorwas zichtbaar. Dat het gewas onder de LED belichting minder generatief was, is mogelijk een gevolg een ander spectrum. Al is het zo dat SON-T bevat ca. $9 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ verrood licht, en dat is afwezig bij de LEDs zou volgens de theorie niet moeten leiden tot een meer generatief gewas. Het gewas stond ruiger: er waren meer zijknoppen gevormd. De takken in de kas met hybride belichting waren 2 tot 3 dagen trager dan SON-T, en het gewas leek iets minder uniform dan in de kas met SON-T. De andere aspecten die bij de LED kas zijn geconstateerd waren niet zo zichtbaar in de kas met hybride belichting.

In onderstaande foto's (28 januari; 7 weken na start korte dag) zijn de verschillen in afrijping tussen de 3 kassen goed te zien.



SON-T

Hybride

LED

Foto Verschillen in afrijping 7 weken na start van de korte dag: Radost (boven), Rihanna (midden) en Feeling Green (onder).

5.4.3 Reactietijd

De gemiddelde reactietijd was 59, 62 en 64 dagen in de kas met resp. SON-T, hybride en LED lampen (Tabel 11).

Tabel 11

Reactietijd (dagen) van de verschillende rassen bij 3 type belichting.

Ras	SON-T	Hybride	LED	Hybride tov	
				SON-T	LED tov SON-T
Gemiddeld	59	62	64	+ 3	+ 5
Anastasia	64	68	70	4	6
Arctic Queen	58	61	63	3	5
Bacardi	58	61	62	3	4
Baltica	62	64	66	2	4
Dante	57	58	61	1	4
Delianne	63	65	68	2	5
Feeling Green	58	63	68	5	10
Fortune	57	61	62	4	5
Grand Pink	58	61	65	3	7
Ibis	58	61	62	3	4
Prada	58	61	65	3	7
Radost	54	56	58	2	4
Rihanna	56	59	61	3	5
Zembla	63	65	68	2	5

De kortere gemiddelde reactietijd in de kas met SON-T belichting is in overeenstemming met de hogere planttemperatuur in deze kas; dit heeft een positieve invloed op de gewasontwikkeling. De gemiddelde planttemperatuur in de kas met hybride belichting en met LED belichting is nauwelijks verschillend, maar de reactietijd is onder LED belichting gemiddeld 2 dagen langer. De planttemperatuur was tijdens de lichtperiode echter wel iets hoger in de kas met hybride belichting (handmatige planttemperatuurmeting Figuur 11). Mogelijk spelen ook andere factoren een rol dan alleen planttemperatuur in de gewasontwikkeling en afrijping, zoals het spectrum van de belichting. Bij SON-T en de hybride belichting is er een verrood aandeel in het spectrum van de SON-T lampen, terwijl bij de LED is er geen verrode straling. Van verrood is bekend dat het invloed kan hebben op het bloeiproces, mogelijk ook de reactietijd.



Foto Overzicht van de proefveldjes in de kas met LED belichting vlak voor de eind oogst.

5.4.4 Eind oogst

5.4.4.1 Kwaliteit

In de kas met SON-T belichting was de kwaliteit het hoogst, het aantal nietjes en groenheid van de takken het laagst (Tabel 12). Bij 13 rassen gold 1 van deze 3 criteria. Alleen bij Radost was er geen verschil in kwaliteit, aantal nietjes en in groenheid van de takken (zie bijlage III voor data van alle rassen).

Tabel 12

Gemiddelde kwaliteit van de geoogste takken. Een groene tak heeft minder dan 3 rijpe bloemen (nietjes zijn hier niet meegerekend).

belichting	Kwaliteit 1 (%)	Kwaliteit 2 (%)	Nietjes (%)	Groene takken (%)
SON-T	87	10	3.2	22
Hybride	86	9	4.3	28
LED	85	8	7.1	32

5.4.4.2 Productie

Morfologie, kwaliteit en productie is voor elk ras individueel gemeten. In Tabel 13 is het gemiddelde van de 14 rassen gepresenteerd. In bijlage III staan alle data van de 14 rassen.

Tabel 13

Morfologie en gemiddelde productie van 14 rassen, uitgedrukt in vers-en drooggewicht van de hele tak en in versgewicht van de verkoopbare tak (72 cm en de onderste 15 cm ontbladerd). Verschillende letters binnen 1 factor is een indicatie van een verschil tussen de behandelingen.

	SON-T	Hybride	LED
Morfologie			
Lengte (cm)	80.6 ^a	80.4 ^a	80.5 ^a
Aantal rijpe bloemen	5.0 ^a	4.3 ^b	3.9 ^c
Totaal aantal bloemen	7.9 ^a	7.6 ^b	5.2 ^c
Aantal knoppen	11.1 ^a	11.3 ^a	15.9 ^b
Aantal bloemen + knoppen	19.0 ^a	18.9 ^a	21.1 ^b
Productie			
Versgewicht tak (g)	94.4 ^a	93.4 ^a	93.1 ^a
Drooggewicht tak (g)	10.2 ^a	9.8 ^b	10.4 ^a
Drogestof % tak	10.9 ^a	10.6 ^b	11.2 ^a
Versgewicht 72 cm tak (g)	86.5 ^a	86.6 ^a	86.0 ^a
Drooggewicht 72 cm tak (g)	9.0 ^{ab}	8.8 ^a	9.2 ^b
Drogestof % 72 cm tak	10.5 ^a	10.2 ^b	10.8 ^c
Productie (versgewicht/m ²)*	4147 ^a	4061 ^a	3921 ^b
Productie (vers. 72 cm tak/m ²)*	3798 ^a	3761 ^a	3619 ^b
Productie (drooggewicht/m ²)*	450 ^a	427 ^b	436 ^b
PAR som (mol/m ²)	553	571	593
Lichtbenuttingsefficiëntie			
Versgewicht tak g/mol PAR	7.5 ^a	7.1 ^b	6.6 ^c
Versgewicht 72 cm tak g/mol PAR	6.9 ^a	6.6 ^b	6.1 ^c
Drooggewicht tak g/mol PAR	0.81 ^a	0.75 ^b	0.73 ^b

*Gecorrigeerd voor uitval door 'nietjes'.

Er waren duidelijk morfologische verschillen zichtbaar, b.v. takken uit de kas met SON-T hadden meer rijpe bloemen dan takken uit de hybride kas. Het aantal bloemen in de kas met LED belichting was met 3.9 het laagst, mede veroorzaakt door de heterogeniteit van de takken.

De takken waren bij de eind oogst gemiddeld 80 cm en 94 gram in alle kassen. Het drooggewicht was in de kas met hybride iets lager (9.8 gram per tak) dan in de andere 2 kassen (10.3 gram). De trends blijven ook gelijk als het uitgedrukt wordt in een verkoopbare tak die is afgesneden op 72 cm en waarvan de onderste 15 cm blad is verwijderd. In de voorjaarsproef waren er lengteverschillen tussen behandelingen en werd daarom besloten om ook metingen uit te voeren aan de verkoopbare tak waarin het onderste deel van de tak weggeknijpt werd. Maar in deze teelt zijn deze lengteverschillen niet geconstateerd (maar er is ook niet nabelicht met verrood).

De productie per m² is berekend door het gewicht van de tak te vermenigvuldigen met de plantdichtheid en te corrigeren voor uitval (% nietjes). Een rekenvoorbeeld voor de versgewichtproductie voor SON-T:

$$\text{Versgewichtproductie} = 94.4 \text{ g} \times 45.4 = 4286 - (0.032 \times 4286) = 4147 \text{ g/m}^2$$

Op deze manier is de productie per m² voor alle rassen te berekenen (bijlage III).

Gemiddeld is de versgewichtproductie van de verkoopbare tak in de kassen met SON-T en hybride hoger dan in de kas met LED. De totale drooggewichtproductie (450g/m²) is het hoogst in de kas met SON-T belichting. Dat betekent dat er in dit experiment niet met energiezuinigere lampen geteeld is met behoud van productie.

De lichtbenuttingsefficiëntie is berekend door de drogestofproductie uit te drukken per mol PAR licht (van zon en lamp) en is met 0.81 g/mol PAR in de SON-T kas hoger dan in de hybride kas (0.75 g/mol) en de LED kas (0.73 g/mol). Bij deze berekening is rekening gehouden met uitval door aanwezigheid van onverkoopbare takken (nietjes). Deze berekening geldt voor alle 14 rassen gemiddeld. Tussen de rassen onderling waren wel verschillen. Bij Fortune is de lichtbenuttingsefficiëntie het hoogst bij LED belichting. Bij Delianne is er nauwelijks verschil tussen de belichtingsmethoden (bijlage III).

De lichtbenuttingsefficiëntie kan ook uitgedrukt worden in versgewicht van verkoopbare takken per mol PAR: in de SON-T kas wordt 6.9 gram geproduceerd per mol PAR en is daarmee efficiënter dan de hybride (6.6 g/mol) en de LED (6.1 g/mol). Door de langere teeltduur in de hybride en de LED kas is het voordeel door te belichten naar behoefte weggevallen en is er langduriger belicht, waardoor het rendement lamplicht lager is geworden dan in de SON-T kas. Bovendien was er iets meer uitval in de kassen met hybride en LED, waardoor de productie uitgedrukt per m² lager was dan in SON-T, ondanks gelijke versgewichten per geogoste tak.

In de kas met SON-T belichting was de productie en de kwaliteit het hoogst, en de reactietijd het kortst. In deze kas is de meeste elektriciteit voor belichting gebruikt. Maar ondanks meer energieverbruik is de lichtbenuttingsefficiëntie (g/mol PAR) het hoogst in de kas met SON-T belichting voor zowel drooggewicht als versgewicht van de hele tak en de verkoopbare tak. Bij SON-T was de reactietijd het kortst en bovendien was er minder uitval door nietjes. Als uitgegaan wordt van een gelijke reactietijd van de 3 kassen, dan is nog steeds de lichtbenuttingsefficiëntie het hoogst in SON-T (Tabel 14). Alleen bij gelijk uitval door 'nietjes' in de 3 kassen wordt de lichtbenuttingsefficiëntie hoger in de LED kas (drooggewicht/mol PAR).

Tabel 14

Gemiddelde lichtbenuttingsefficiëntie (g/mol PAR) als in de 3 kassen op hetzelfde moment zou zijn geogost (reactietijd 59 dagen), en/of bij gelijke kwaliteit.

	SON-T	Hybride	LED
Gelijke oogstdatum			
Versgewicht tak g/mol PAR	7.5	7.4	7.1
Drooggewicht tak g/mol PAR	0.81	0.78	0.79
Versgewicht 72 cm tak g/mol PAR	6.9	6.8	6.6
Gelijke oogstdatum en kwaliteit			
Versgewicht tak g/mol PAR	7.5	7.5	7.4
Drooggewicht tak g/mol PAR	0.81	0.79	0.83
Versgewicht 72 cm tak g/mol PAR	6.9	6.9	6.9

5.4.4.3 Houdbaarheid

Op het moment dat de bossen na transportsimulatie van 5 dagen in emmers werden gezet, hadden veel takken slap blad. Twee dagen later – als de takken op de vaas werden gezet – was dat soms enigszins hersteld. Maar takken van sommige rassen herstelden niet en konden direct (of na 1 of 2 dagen om herstel af te wachten) afgeschreven worden: Fortune (LED), Prada (hybride), Radost, Delianne (hybride en LED). De gemiddelde houdbaarheid was 9, 6 en 5 dagen voor de rassen in kassen met resp SON-T, hybride en LED belichting. Bij 13 van de 14 rassen was de belangrijkste reden voor afschrijving verslappen van het blad. Bij Anastasia was de houdbaarheid veruit het langst met 22, 21 en 17 dagen (SON-T, hybride, LED), en was het vóórkomen van bruine hartjes de reden tot afschrijving. In Bijlage III staat de houdbaarheid van alle rassen in de 3 kassen.

5.4.5 Energie

In de kas met SON-T belichting is 61.6 W/m² vermogen geïnstalleerd, op basis van een energie efficiëntie van 1.85 μmol/W_{el}). In de kassen met hybride en LED belichting hangen energiezuinigere lampen en is het geïnstalleerd vermogen respectievelijk 96 en 80% t.o.v. de kas met SON-T (Tabel 15).

Tabel 15

Energieverbruik (elektriciteit en warmte) tijdens de lange dag (15 dagen), korte dag en de hele teelt in 3 kassen met SON-T, hybride en LED belichting.

	SON-T	Hybride	LED
Geïnstalleerd vermogen (W/m ²)	61.6	59.3	49.1
Geïnstalleerd vermogen (%)	100	96	80
Elektriciteit			
Lange dag (kWh/m ²)	18	15.3	12.7
Lange dag (%)	100	85	71
Korte dag (kWh/m ²)*	43.4	42.6	36.2
Korte dag (%)	100	98	83
Teelt (kWh/m ²)	61.4	57.9	48.9
Teelt (%)	100	94	80
Teelt bij gelijke reactietijd (%)	100	91	75
Warmte			
Lange dag (m ³ /m ²)	0.76	0.73	0.98
Lange dag (%)	100	96	129
Korte dag (m ³ /m ²)*	7.3	7.6	8.3
Korte dag (%)	100	104	114
Teelt (m ³ /m ²)	8.06	8.33	9.28
Teelt (%)	100	103	115

*De korte dag periode was verschillend voor de 3 kassen en was gemiddeld 59, 62 en 64 dagen voor respectievelijk de kas met SON-T, hybride en LED belichting

Het elektriciteitsverbruik (door belichting) is tijdens de lange dag periode van 15 dagen in de hybride en de LED kas respectievelijk 85 en 71% t.o.v. het verbruik in de SON-T kas. Dit is lager dan werd verwacht op basis van het geïnstalleerd vermogen. Deze extra besparing werd gerealiseerd door te belichten naar behoefte, waardoor de lampen 12% minder hebben gebrand dan in de kas met SON-T lampen. Tijdens de korte dag periode is het elektriciteitsverbruik door de lampen in de hybride en de LED respectievelijk 98 en 83% t.o.v. SON-T en dat is minder dan op basis van het geïnstalleerd vermogen werd verwacht. Ook tijdens de korte dag periode zijn op een aantal dagen de lampen uit geweest in de kassen met hybride en LED belichting door te belichten naar behoefte. Maar de korte dag periode duurde 3 tot 5 dagen langer in de kassen met hybride en LED belichting, waardoor uiteindelijk de lampen langer hebben gebrand in deze 2 kassen vergeleken met SON-T (1 en 4%). Tijdens de hele teelt is er 6% elektriciteit op belichting bespaard in de kas met hybride belichting en 20% in de kas met LED belichting.

De langere reactietijd in de hybride en de LED kas heeft tot meer belichtingsuren geleid dan in de SON-T kas. Als de teelt onder hybride en LED kan worden geoptimaliseerd en tot een zelfde reactietijd kan leiden dan is er meer energiebesparing op belichting te realiseren dan nu het geval was: respectievelijk 9 en 25% (Tabel 13 en bijlage IV). Het warmtegebruik blijft nog steeds hoger (100% en 108% in hybride en LED) vergeleken met SON-T (bijlage IV).

SON-T lampen geven naast PAR licht ook warmtestraling af (hoofdstuk 2). Veelal kan deze warmte benut worden en hoeft er minder gestookt te worden. Tijdens de lange dag periode is er 29% meer gas verbruikt in de kas met LED belichting vergeleken met de kas met SON-T belichting. Bij de hybride belichting is er niet meer gas verbruikt, maar in deze kas was de gerealiseerde kasluchttemperatuur ruim 1°C lager vergeleken met de kas met SON-T belichting.

Gedurende de hele teelt is er in de kas met hybride belichting 3% meer gas gebruikt en in de kas met LED belichting 15% meer vergeleken met de kas met SON-T belichting. Het is lastig om de besparing op elektriciteit af te wegen tegen de extra kosten van gas. Dat is afhankelijk van het gebruik van een WKK, de efficiëntie van de WKK en van de prijzen.

In bijlage V is een uitgebreide beschrijving van de energieberekeningen.

LED belichting in chrysant zal alleen toegepast worden in de praktijk als dit niet ten koste gaat van de productie en van de kwaliteit. Dat betekent dat een teelt met LED belichting zal moeten worden geoptimaliseerd. De vertraagde reactietijd kan o.a. verklaard worden door een lagere planttemperatuur. Het is de vraag of alleen de lagere planttemperatuur van invloed is geweest of dat er ook andere factoren een rol hebben gespeeld. De kas met LED belichting was vochtiger dan de andere 2 kassen; een hoog dampdrukdeficit verkort de reactietijd (pers. Mededeling Marcel Raaphorst).

Het gewas in de kas met LED belichting was vegetatiever. Mogelijk speelt het spectrum waarmee het gewas de nacht in gaat hierbij een rol. LED heeft geen verrood in het spectrum; SON-T heeft wel een klein aandeel verrood (hoofdstuk 2). Tijdens overleg met de BCO kwam naar voren dat de donkerperiode mogelijk iets te kort is geweest tijdens de korte dag periode. Een langere donkerperiode stimuleert generativiteit. In dit experiment is gekozen voor een 'gemiddelde' donkertijd, omdat er 14 rassen werden geteeld. Dit kan voor een aantal rassen nadelig zijn geweest en was de generativiteit en uniformiteit beter bij een langere donkertijd.

5.5 Conclusies

- In dit kasexperiment met 14 rassen was de productie het hoogst onder SON-T belichting, maar deze kas gebruikt de meeste elektriciteit voor belichting.
- 20% energiebesparing op belichting is mogelijk door gebruik te maken van efficiëntere lampen (LED) en door te belichten naar behoefte. De productie in de kas met LED belichting was echter lager dan in de kas met SON-T en hybride belichting.
- LED lampen geven ander klimaat; met name de planttemperatuur is lager.
- Reactietijd is gemiddeld 3 tot 5 dagen langer in kassen met hybride en LED belichting.
- Hoogste kwaliteit en uniformiteit in SON-T kas.
- De lichtbenuttingsefficiëntie is het hoogst bij SON-T belichting.
- Rassen reageren verschillend op LED belichting.

Telen onder LED belichting is wel mogelijk, maar vertraagt op dit moment de reactietijd en de kwaliteit is minder. Door meer uitval door "nietjes" is de productie lager. Tot aan de laatste 4 weken van de (KD) teelt leek de LED en hybride behandeling gelijk op te gaan, maar beide waren iets trager dan de SON-T behandeling. Wij vermoeden dat dit een gevolg is geweest van een lagere planttemperatuur waardoor de ontwikkeling is vertraagd. Dat geldt in sterkere mate voor het verschil in bloemknop ontwikkeling tot veilbare bloem (reactietijd), waarschijnlijk ook een gevolg van een lagere bloemtemperatuur. Wellicht speelt het verschil in spectrum ook een rol, al is dat speculatief en zou verder onderzocht kunnen worden. De teelt zal geoptimaliseerd moeten worden voordat het toegepast kan worden in de praktijk.

6 Invloed spectrum op beworteling

6.1 Inleiding

Een groot aantal fysiologische en morfogenetische processen worden geïnduceerd door veranderingen in de hormonen balans in de plant. Voorbeelden hiervan zijn cel strekking, bloei-inductie, afrijping, veroudering en wortelgroei. Sommige van deze processen kunnen indirect door beïnvloeding van de hormonen, of direct aangestuurd worden door licht, en vooral specifieke delen van het lichtspectrum. Lichtreceptoren in de plant zijn voor licht gevoelig, voor licht in het blauw en UV gebied (cryptochromen) en in het rood en verrood gebied (fytochromen).

Bekend is dat het plant hormoon auxine, al dan niet in samenwerking met gibberelline en/of etheen wortelgroei induceert en stimuleert. Auxinen hebben een positief effect op het bewortelingspercentage, de snelheid van beworteling en de uniformiteit van de beworteling, b.v. van roos (de Vries & Dubois, 1988, Al-Saqri & Alderson, 1996). Auxinen worden aangemaakt in de top van de plant en getransporteerd naar de wortels waar het de aanmaak en ontwikkeling ervan beïnvloedt. Auxine zou de cellulaire respons voor gibberelline beïnvloeden waarmee de wortelgroei wordt gestuurd door de in de spruit aangemaakte hormonen (Fu & Harberd, 2003; Grieneisen *et al.* 2007). Etheen zou ook de aanmaak en transport van auxinen reguleren (Ruzicka *et al.* 2009). Er zijn indicaties in de literatuur dat blauw licht of lage intensiteiten van rood licht de aanmaak van auxinen (Liu *et al.* 2011; Effendi *et al.* 2013) stimuleren. Het is mogelijk dat de lage intensiteit van rood licht relatief gezien moet worden t.o.v. verrood licht. Deze indicaties bieden mogelijkheden om de beworteling van stekgoed te verbeteren.

Getracht wordt de beworteling van chrysantenstekken te bevorderen door gebruik te maken van de mogelijkheden die het lichtspectrum biedt. Om de verschillende belichtingssystemen te kunnen vergelijken wordt gebruik gemaakt van PSS waardes (phytochrome photostationary state), die iets zeggen over het fytochroom status. In plaats van rood:verrood verhouding wordt gebruik gemaakt van PSS waardes omdat dit geeft een beter beeld van de vorm waarin het fytochroom zich bevindt. PSS waarden geven de relatieve verhouding aan van de actieve vorm van fytochroom (Pfr) t.o.v. het totaal (Ptot). Deze relatieve verhouding leidt tot een bepaalde fotomorfogenetische respons. PSS wordt met name bepaald door de verhouding rood en verrood, maar de andere lichtkleuren hebben ook invloed hierop (Stutte, 2009).

Stekjes worden in perspotjes gezet en blootgesteld aan lage intensiteiten van rood licht (ca. 660 nm, PSS waarde ca. 0.90), een verlaagde verhouding van rood:verrood licht (r:b 80:20, PSS waarde 0.89, aan blauw licht (ca. 450 nm, PSS waarde ca. 0.48), en aan een combinatie van rood, blauw en verrood. Vervolgens wordt de beworteling gescoord en onderling vergeleken.

In principe worden meer wortels gevormd bij meer licht, omdat meer licht leidt tot energieoverschot (warmte) en dus meer verdamping. Behoeftte aan water stimuleert wortelgroei. Echter, deze behandelingen worden beperkt tot verschillen in het licht spectrum. Wanneer die perspectief bieden, kunnen interacties met meer licht en temperatuur alsnog volgen.

Het effect van de spectrale samenstelling op beworteling is getest op stekken van Baltica en Feeling Green Dark.

6.2 Materialen en Methoden

Op 18 maart 2014 zijn 4 kisten stekken van Baltica (Deliflor) en 4 kisten Feeling Green Dark (Fides) onder 4 belichtingsstrategieën geplaatst. Elke kist bevatte 104 perskluitjes met net gestoken stekken. De kisten werden gebroesd en afgedekt met folie en werden vervolgens bij Bas van Buuren onder 4 verschillende spectra (LED) geplaatst, zonder daglicht (Tabel 16).

Tabel 16

Lichtintensiteit ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) en spectra samenstelling van 4 behandelingen. Golflengtes van de kleuren zijn: dieprood, 660 nm; blauw, 450 nm; verrood, 730 nm.

Spectrale samenstelling	100% dieprood	100% dieprood 20% verrood	100% blauw	75% dieprood 25% blauw 20% verrood
Dag 1-4	20	20	20	20*
Dag 4-7	40	40	40	40
Dag 8-10	75	75	52**	75

* In deze behandeling is de eerste 2 dagen 100% dieprood gegeven en geen blauw. Het was eerst de bedoeling op 95% dieprood en 5% blauw te geven, maar dit bleek niet te kunnen. Daarom is op dag 3 de samenstelling veranderd.

** Dit was de maximaal haalbare lichtintensiteit.



Foto De kisten met chrysantenstekken onder verschillende LED belichting bij Bas van Buuren.

Er werd gedurende 20 uur belicht. De gemiddelde etmaaltemperatuur was de eerste 2 dagen 18 °C en werd in stappen verhoogd tot 21°C. De gemiddelde etmaaltemperatuur gedurende 10 dagen was 20°C.

Na 7 dagen werd de folie van de kisten verwijderd en daarmee daalde de RV naar gemiddeld 76%.

Na 10 dagen werden de stekken op het lab geanalyseerd. Uit elke kist werden 20 stekken uit het midden van de kist uitgelegd. De grond werd voorzichtig losgemaakt van de wortels. De wortels werden in water gespoeld, zodat de meeste grond verwijderd werd. Vervolgens werd er door 3 personen onafhankelijk beoordeeld: het aantal wortels werd geteld en er werd een inschatting gemaakt van de gemiddelde wortellengte. De totale wortellengte werd berekend door de gemiddelde wortellengte te vermenigvuldigen met het aantal wortels. Vervolgens zijn met Genstat met een variantie analyse verschillen getoetst.

6.3 Resultaten en discussie

6.3.1 Morfologie plant

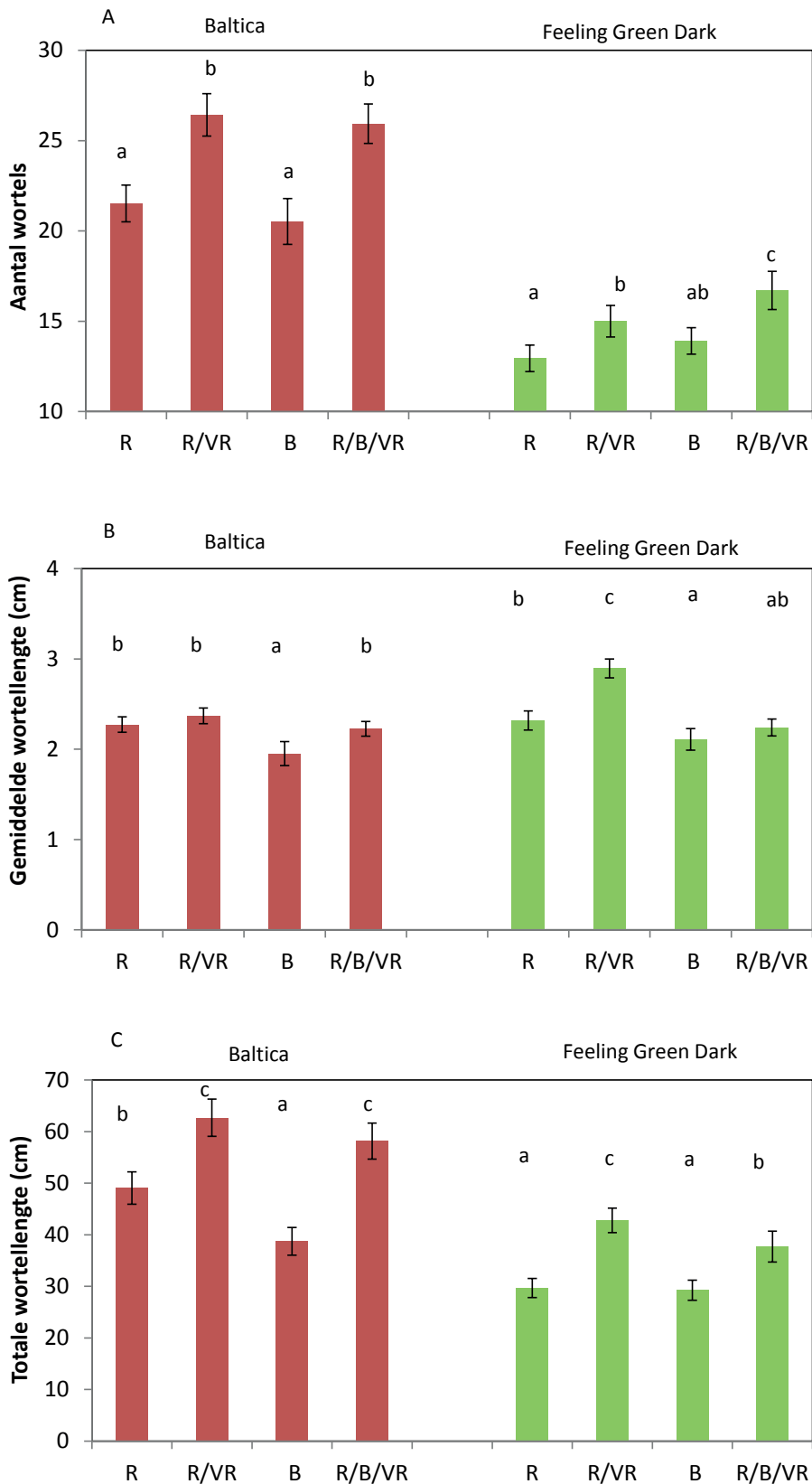
Baltica stekken belicht met 100% rood of met 100% blauw waren meer gedrongen dan de 2 behandelingen die ook 20% verrood bevatten. Meer strekking door verrood licht is een bekend verschijnsel. Bij Feeling Green waren alleen de stekken die met 100% blauw waren belicht meer gedrongen dan de andere 3 behandelingen. Baltica stekken die waren belicht met 100% rood hadden een duidelijk andere morfologie: het blad was in de lengte opgekruld, waardoor er duidelijk meer grond zichtbaar was. Feeling Green had geen gekruld blad bij 100% roodbelichting, maar bij deze behandeling was wel meer zichtbare grond dan bij de andere 3 behandelingen. Na het spoelen van de wortels waren duidelijk de minste wortels te zien bij de stekken die belicht waren met 100% blauw bij beide cultivars (zie onderstaande foto)



Foto Bewortelde stekken van Baltica (A) en Feeling Green (B) opgekweekt onder 4 spectra: 100% rood, rood/verrood, 100% blauw, rood/blauw/verrood.

Baltica heeft na 10 dagen meer wortels gemaakt dan Feeling Green (Figuur 12). Dit verschil in beworteling tussen cultivars wordt vaker gezien (persoonlijke mededeling Aike Post, Deliflor). Baltica vormt meer wortels bij de spectra met verrood vergeleken met 100% rood en 100% blauw. Bij Feeling Green is dezelfde trend te zien. De gemiddelde wortellengte is bij Baltica kleiner bij 100% blauw vergeleken met de andere 3 spectra. Bij Feeling Green geldt hetzelfde, maar is deze alleen significant t.o.v. 2 van de andere spectra.

De totale wortellengte is bij beide rassen het hoogst bij de spectra die verrood bevatten. Bij Baltica is de totale wortellengte het kleinst bij stekken die zijn belicht met 100% blauw. Bij Feeling Green is er geen verschil in totale wortellengte als stekken met 100% blauw of met 100% rood worden belicht. Dat betekent dat het spectrum mogelijkheden biedt om wortelgroei te beïnvloeden. Ook variatie van spectrale samenstelling tijdens de opweek kan interessant zijn, door eerst bijvoorbeeld te sturen op aantal wortels (meer verrood) en vervolgens op uitgroei (minder verrood).



Figuur 12 Het gemiddeld aantal wortels (A), de gemiddelde wortellengte (B) en de totale wortellengte (C) van Baltica en Feeling Green Dark opgekweekt onder 4 verschillende spectra.

6.4 Conclusies

Door de spectrale samenstelling aan te passen kan de beworteling beïnvloedt worden.

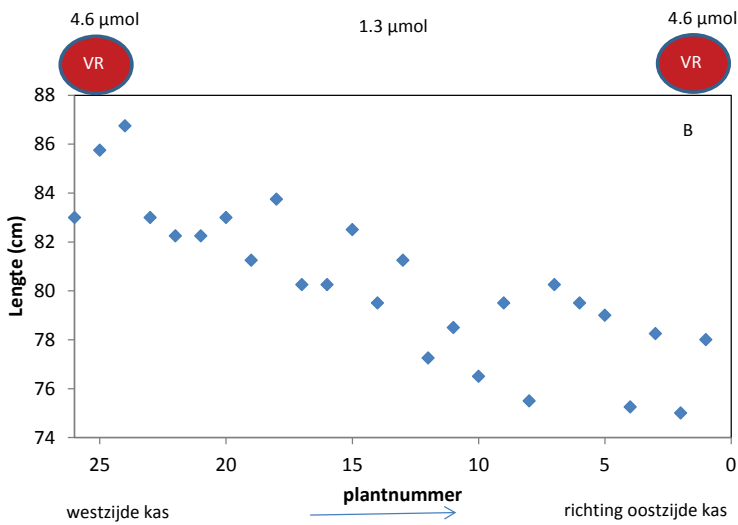
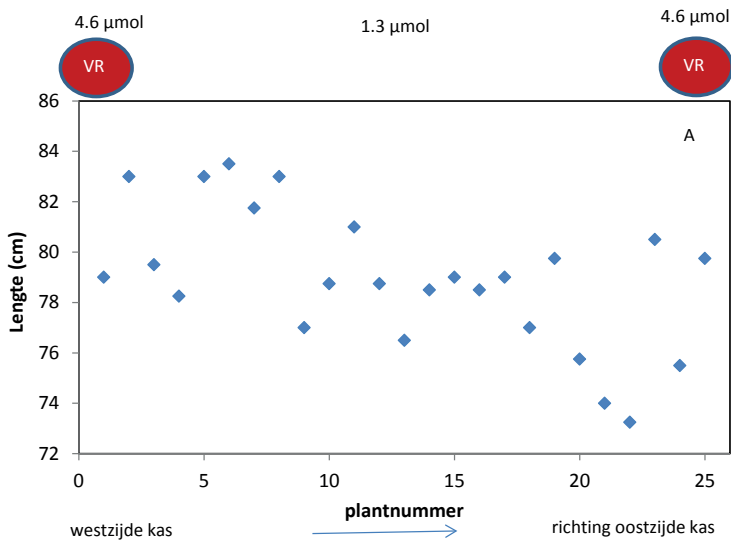
- Volledig blauw of volledig rood leidt tot minder wortels dan de spectra waar ook verrood bij zit voor beide cultivars.
- Er worden meer wortels gevormd in de spectra met verrood.
- Bij volledig blauw licht zijn de wortels korter dan bij rood licht of rood/verrood licht (beide cultivars).

Dit biedt mogelijkheden tot sturing van beworteling.

7 Literatuur

- Al-Sagri F & Alderson PG. 1996.
Effect of IBA, cutting type and rooting media on rooting of *Rosa centifolia*. *J. Hort. Sci.* 71:729-737.
- De Vries DP & Dubois LAM. 1988.
The effect of BAP and IBA on sprouting and adventitious root formation of 'Amanda' rose single-node softwood cuttings. *Sci. Hort.* 34: 115-121.
- Effendi Y, Jones AM & Sscherer GFE. 2013.
Auxin-binding protein (ABP1) in phytochrome-B-controlled responses. *J. Exp. Bot.* doi:10.1093/jxb/ert294. p. 1-10.
- Fu X & Harberd NP. 2003.
Auxin promotes *Arabidopsis* root growth by modulating gibberellin response. *Nature* 421: 740-743.
- Grieneisen VA, Xu J, Marée AFM, Hogeweg P & Scheres B. 2007.
Auxin transport is sufficient to generate a maximum and gradient building root growth. *Nature* 449: 1008-1013.
- Hogewoning S.W., P. Douwstra, G. Trouwborst, W. van Ieperen, J. Harbinson. 2010.
An artificial solar spectrum substantially alters plant development compared with usual climate irradiance spectra. *Journal of Experimental Botany*, 61: 1267-1276.
- Hogewoning S.W., Trouwborst G., Pot C.S. 2012.
Efficiënter lichtspectrum voor open gewassen: Focus op productie en vervolgteelt van uitgangsmateriaal. *Plant Lighting*, Utrecht. 39p.
- Hogewoning, S.W., G. Trouwborst. 2013.
Efficiënter lichtspectrum voor open gewassen: de stap tot energiebesparing in de praktijk. *Rapport Plant Lighting*.
- Trouwborst G., Hogewoning S. & Pot S. 2013.
Meer rendement uit licht en CO₂ bij Snijschrylant. *Plant Lighting & Plant Dynamics*, 21 blz.
- Ieperen, W. van, E. Heuvelink, 2012.
Compacte planten door geïntegreerde groeiregulatie. Deelverslag 1: Compacte Planten onder LEDs. Kan LED-technologie bijdragen aan verbetering van compactheid bij pot-en perkplanten. *Rapport Leerstoelgroep Tuinbouwketens, Wageningen University*.
- Liu X, Cohen JD & Gardner G. 2011.
Low-fluence red light increases the transport and biosynthesis of auxin. *Plant Physiol.* 157: 891-904.
- Lund, J. , T.J. Blom, J.M. Aaslung. 2007.
End-of-day lighting with different red/far-red ratios using light-emitting diodes affects plant growth of *chrysanthemum x morifolium ramta*. 'Corol Charm'. *HortScience* 429(7): 1609-1611.
- Maaswinkel R., F. van Leeuwen, W. van Ieperen, P. de Gelder. 2012.
Resultaten onderzoek bolblad chrylant 2011-2012. *Rapport Wageningen UR Glastuinbouw (GTB-1163)*.
- Meinen, Esther, Leo Marcelis, Johan Steenhuizen, Tom Dueck, 2009.
Is een µmol een µmol? Groei en ontwikkeling van chrylant geteeld onder SON-T belichting en onder LED belichting. *Rapport Wageningen UR Glastuinbouw (Rapport 315)*.
- Neefjes, H. 2012.
Chrylant groeit efficiënter onder led-licht. *Vakblad voor de Bloemisterij* 27: 34-35.
- Raaphorst, Marcel, Frank Kempkes, René Corsten, Theo Roelofs, Paul de Veld, 2010.
Het Nieuwe telen bij Chrylant. Verkenning van energiebesparingsopties voor de chrylantenteelt. *Rapport Wageningen UR Glastuinbouw (GTB-1042)*.
- Ruzicka K, Ljung K, Vanneste S, Podhorska R, Beeckman T, Friml J, Benkova E (2007)
Ethylene regulates root growth through effects on auxin biosynthesis and transport-dependent auxin distribution. *Plant Cell* 19: 2197-2212.
- Snel J, Meinen E, Bruins MA, Van Ieperen W, Hogewoning S & Marcelis L. 2011.
Fotosynthese efficiency bij verschillende golf lengtes. *Wageningen UR Glastuinbouw rapport GTB 1151*, 57 blz.
- Stutte GW. 2009.
Light-emitting diodes for manipulating the phytochrome apparatus. *Hort Sci* 44: 231-234.
- VBN, 2001,
Vereniging van Bloemenveilingen in Nederland en Proefstation voor de Bloemisterij en Glasgroente. *Chrysanthemum Indicum Groep; Beoordelingskaart*.

Bijlage I. Plantlengte bij verschillende verrood intensiteiten



Taklengte chrysant (cm) in de kas met SON-T en verrood nabelichting (A) en in de kas met hybride belichting en verrood nabelichting (B) op verschillende posities tussen 2 lampen. De verrood lichtintensiteit boven de planten varieert tussen 4.6 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (direct onder de lampen) tot 1.3 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (tussen 2 lampen). De positie van de verrood lampen is in de figuur aangegeven.

Bijlage II. Gewasmetingen verrood proef na 1, 2 en 3 weken

Morfologie en drooggewicht chrysant na 1 week onder verschillende belichtingsregimes (n=24 met standaardfout).

Meting	Verrood nabelichting (min)	SON-T		hybride	
		gemiddeld	se	gemiddeld	se
Lengte (cm)	-	19.4	0.3	18.4	0.3
	10 (1 week)	20.3	0.2	19.3	0.3
	30 (1 week)	20.6	0.4	20.8	0.4
Bladopp (cm ² /plant)	-	150	2.7	141	3.2
	10 ((1 week)	143	3.0	135	2.7
	30 (1 week))	139	2.5	146	3.5
Aantal bladeren	-	13.2	0.18	12.8	0.17
	10 (1 week)	12.7	0.14	12.7	0.18
	30 (1 week)	12.8	0.16	12.8	0.14
Drooggewicht blad (g/plant)	-	0.45	0.01	0.41	0.01
	10 ((1 week)	0.40	0.01	0.41	0.01
	30 (1 week)	0.39	0.01	0.43	0.01
Drooggewicht bovengronds (g/plant)	-	0.69	0.01	0.62	0.02
	10 (1 week)	0.62	0.02	0.64	0.02
	30 (1 week)	0.60	0.02	0.66	0.02
Drooggewicht bovengronds (g/cm lengte)	-	0.036	0.001	0.034	0.001
	10 (1 week)	0.031	0.001	0.033	0.001
	30 (1 week)	0.029	0.001	0.032	0.001

Morfologie en drooggewicht chrysaant na 2 weken onder verschillende belichtingsregimes (n=24 met standaardfout).

Meting	Verrood nabelichting (min)	SON-T		hybride	
		gemiddeld	se	gemiddeld	se
Lengte (cm)	-	31.4	0.5	31.2	0.4
	10 (2 weken)	35.0	0.2	32.2	0.4
	30 (2 weken)	34.5	0.4	35.3	0.4
	30 (1 week)	33.9	0.5	30.1	0.3
Bladoppervlakte (cm ² /plant)	-	288	4.4	275	9.4
	10 (2 weken)	286	5.0	283	6.6
	30 (2weken)	292	5.1	277	4.1
Aantal bladeren	-	18.4	0.1	17.5	0.2
	10 (2 weken)	18.0	0.2	17.5	0.2
	30 (2 weken)	18.4	0.2	17.3	0.2
Drooggewicht blad (g/plant)	-	0.74	0.01	0.73	0.02
	10 (2 weken)	0.67	0.01	0.78	0.02
	30 (2 weken)	0.74	0.02	0.72	0.01
Drooggewicht bovengronds (g/plant)	-	1.30	0.03	1.26	0.04
	10 (2 weken)	1.19	0.03	1.34	0.04
	30 (2 weken)	1.29	0.03	1.29	0.03
Drooggewicht bovengronds (g/cm lengte)	-	0.041	0.001	0.040	0.001
	10 (2 weken)	0.034	0.001	0.041	0.001
	30 (2 weken)	0.037	0.001	0.037	0.001

Morfologie en drooggewicht chrystant na 3 weken onder verschillende belichtingsregimes (n=24 met standaardfout).

Meting	Verrood nabelichting (min)	SON-T		hybride	
		gemiddeld	se	gemiddeld	se
Lengte (cm)	-	47.4	0.6	44	0.4
	10 (3 weken)	50.5	0.5	47.9	0.4
	30 (3 weken)	53.8	0.7	50.7	0.9
	30 (1 week)	47.8	0.5	42.8	0.4
	30 (2 weken)	47.8	0.4	47.1	0.5
Bladoppervlakte (cm ² /plant)	-	488	7	439	8
	10 (3 weken)	421	8	430	7
	30 (3 weken)	466	9	409	12
Aantal bladeren	-	24.2	0.20	22.8	0.22
	10 (3 weken)	22.4	0.19	22.5	0.22
	30 (3 weken)	23.3	0.27	21.7	0.25
Drooggewicht blad (g/plant)	-	1.23	0.02	1.13	0.02
	10 (3 weken)	0.94	0.02	1.11	0.02
	30 (3 weken)	1.07	0.03	1.03	0.04
Drooggewicht bovengronds (g/plant)	-	2.32	0.05	2.05	0.04
	10 (3 weken)	1.83	0.04	2.10	0.04
	30 (3 weken)	2.10	0.06	2.00	0.08
Drooggewicht bovengronds (g/cm lengte)	-	0.049	0.001	0.047	0.001
	10 (3 weken)	0.036	0.001	0.044	0.001
	30 (3 weken)	0.039	0.001	0.039	0.001

Bijlage III. Productie en kwaliteit van alle rassen

Gemiddelde kwaliteit en productie van Anastasia, uitgedrukt in vers-en drooggewicht van de hele tak en in versgewicht van de verkoopbare tak (72 cm en de onderste 15 cm ontbladerd).

	SON-T	Hybride	LED
Kwaliteit 1 (%)	87	92	85
Kwaliteit 2 (%)	6	3	9
Nietjes (%)	8	5	6
Groene takken (%)	38	41	72
Houdbaarheid (dagen)	21.6	20.7	16.5
Lengte (cm)	80.3	83.7	81.7
Aantal rijpe bloemen	2.5	2.5	1.6
Totaal aantal bloemen	6.6	5.5	3.4
Aantal knoppen	9.0	9.9	19.3
Aantal bloemen + knoppen	15.6	15.4	22.7
Versgewicht tak (g)	89.3	94.4	88.0
Drooggewicht tak (g)	11.2	11.9	11.5
Drogestof % tak	12.6	12.6	13.2
Versgewicht 72 cm tak (g)	83.4	87.7	83.7
Drooggewicht 72 cm tak (g)	9.7	10.1	10.3
Drogestof % 72 cm tak	11.7	11.6	12.3
Drooggewicht tak g/mol PAR	0.79	0.82	0.76
Versgewicht tak g/mol PAR	6.3	6.5	5.8
Versgewicht 72 cm tak g/mol PAR	5.9	6.1	5.5

Gemiddelde kwaliteit en productie van Arctic Queen, uitgedrukt in vers-en drooggewicht van de hele tak en in versgewicht van de verkoopbare tak (72 cm en de onderste 15 cm ontbladerd).

	SON-T	Hybride	LED
Kwaliteit 1 (%)	88	94	98
Kwaliteit 2 (%)	13	3	0
Nietjes (%)	0	3	3
Groene takken (%)	16	28	13
Houdbaarheid (dagen)	11.3	4.7	4.5
Lengte (cm)	83.7	83.5	79.0
Aantal rijpe bloemen	4.0	3.3	4.1
Totaal aantal bloemen	5.2	4.9	3.8
Aantal knoppen	11.8	9.7	10.9
Aantal bloemen + knoppen	17.0	14.6	14.7
Versgewicht tak (g)	87.6	84.5	89.0
Drooggewicht tak (g)	11.2	11.9	11.5
Drogestof % tak	12.6	12.6	13.2
Versgewicht 72 cm tak (g)	78.1	78.1	84.8
Drooggewicht 72 cm tak (g)	8.9	8.2	9.2
Drogestof % 72 cm tak	11.5	10.5	10.9
Drooggewicht tak g/mol PAR	0.87	0.72	0.77
Versgewicht tak g/mol PAR	7.3	6.6	6.7
Versgewicht 72 cm tak g/mol PAR	6.5	6.1	6.4

Gemiddelde kwaliteit en productie van Bacardi, uitgedrukt in vers-en drooggewicht van de hele tak en in versgewicht van de verkoopbare tak (72 cm en de onderste 15 cm ontbladerd).

	SON-T	Hybride	LED
Kwaliteit 1 (%)	93	94	85
Kwaliteit 2 (%)	0	3	0
Nietjes (%)	8	3	15
Groene takken (%)	19	22	21
Houdbaarheid (dagen)	14.3	8.3	6.0
Lengte (cm)	82.9	79.5	83.9
Aantal rijpe bloemen	7.6	7.5	4.3
Totaal aantal bloemen	12.7	11.2	9.7
Aantal knoppen	12.2	14.4	25.6
Aantal bloemen + knoppen	24.9	25.6	35.3
Versgewicht tak (g)	110.2	101.6	108.9
Drooggewicht tak (g)	10.7	9.4	11.0
Drogestof % tak	9.7	9.6	10.1
Versgewicht 72 cm tak (g)	102.1	97.4	100.8
Drooggewicht 72 cm tak (g)	9.5	8.8	9.9
Drogestof % 72 cm tak	9.3	9.2	9.9
Drooggewicht tak g/mol PAR	0.82	0.76	0.74
Versgewicht tak g/mol PAR	8.5	8.0	7.3
Versgewicht 72 cm tak g/mol PAR	7.9	7.6	6.8

Gemiddelde kwaliteit en productie van Baltica, uitgedrukt in vers-en drooggewicht van de hele tak en in versgewicht van de verkoopbare tak (72 cm en de onderste 15 cm ontbladerd).

	SON-T	Hybride	LED
Kwaliteit 1 (%)	93	94	93
Kwaliteit 2 (%)	6	6	3
Nietjes (%)	1	0	4
Groene takken (%)	13	13	25
Houdbaarheid (dagen)	8.8	6.8	3.4
Lengte (cm)	79.3	78.4	78.0
Aantal rijpe bloemen	4.3	4.2	3.1
Totaal aantal bloemen	5.1	9.4	3.8
Aantal knoppen	14.3	6.5	15.0
Aantal bloemen + knoppen	19.4	15.9	18.8
Versgewicht tak (g)	114.4	109.7	101.9
Drooggewicht tak (g)	10.5	9.9	9.6
Drogestof % tak	9.2	9.0	9.4
Versgewicht 72 cm tak (g)	102.9	101.6	96.0
Drooggewicht 72 cm tak (g)	9.5	9.0	8.9
Drogestof % 72 cm tak	9.2	8.9	9.2
Drooggewicht tak g/mol PAR	0.82	0.76	0.70
Versgewicht tak g/mol PAR	8.9	8.5	7.4
Versgewicht 72 cm tak g/mol PAR	7.9	7.6	6.8

Gemiddelde kwaliteit en productie van Dante, uitgedrukt in vers-en drooggewicht van de hele tak en in versgewicht van de verkoopbare tak (72 cm en de onderste 15 cm ontbladerd).

	SON-T	Hybride	LED
Kwaliteit 1 (%)	82	73	68
Kwaliteit 2 (%)	15	21	23
Nietjes (%)	3	6	9
Groene takken (%)	19	9	38
Houdbaarheid (dagen)	4.0	3.0	1.7
Lengte (cm)	75.3	74.4	74.4
Aantal rijpe bloemen	4.8	5.3	3.5
Totaal aantal bloemen	6.7	5.1	4.7
Aantal knoppen	8.6	9.5	11.7
Aantal bloemen + knoppen	15.3	14.6	16.4
Versgewicht tak (g)	82.6	81.3	83.9
Drooggewicht tak (g)	9.7	9.0	9.8
Drogestof % tak	11.7	11.1	11.6
Versgewicht 72 cm tak (g)	76.5	75.9	75.1
Drooggewicht 72 cm tak (g)	8.6	8.2	8.6
Drogestof % 72 cm tak	11.3	10.8	10.6
Drooggewicht tak g/mol PAR	0.79	0.71	0.72
Versgewicht tak g/mol PAR	6.8	6.4	6.2
Versgewicht 72 cm tak g/mol PAR	6.3	5.9	5.5

Gemiddelde kwaliteit en productie van Delianne, uitgedrukt in vers-en drooggewicht van de hele tak en in versgewicht van de verkoopbare tak (72 cm en de onderste 15 cm ontbladerd).

	SON-T	Hybride	LED
Kwaliteit 1 (%)	78	77	84
Kwaliteit 2 (%)	22	22	16
Nietjes (%)	0	1	0
Groene takken (%)	41	47	28
Houdbaarheid (dagen)	7.4	1.8	1.6
Lengte (cm)	82.0	83.2	83.1
Aantal rijpe bloemen	2.5	2.7	3.0
Totaal aantal bloemen	2.6	3.7	2.3
Aantal knoppen	14.5	10.8	13.2
Aantal bloemen + knoppen	17.1	14.5	15.5
Versgewicht tak (g)	87.9	91.3	93.2
Drooggewicht tak (g)	9.6	9.6	10.2
Drogestof % tak	10.9	10.6	10.9
Versgewicht 72 cm tak (g)	73.4	74.7	74.6
Drooggewicht 72 cm tak (g)	7.8	7.6	7.9
Drogestof % 72 cm tak	10.6	10.2	10.6
Drooggewicht tak g/mol PAR	0.75	0.72	0.74
Versgewicht tak g/mol PAR	6.8	6.9	6.8
Versgewicht 72 cm tak g/mol PAR	5.7	5.6	5.4

Gemiddelde kwaliteit en productie van Feeling Green, uitgedrukt in vers-en drooggewicht van de hele tak en in versgewicht van de verkoopbare tak (72 cm en de onderste 15 cm ontbladerd).

	SON-T	Hybride	LED
Kwaliteit 1 (%)	100	100	100
Kwaliteit 2 (%)	0	0	0
Nietjes (%)	0	0	0
Groene takken (%)	6	13	25
Houdbaarheid (dagen)	21.6	10.5	8.2
Lengte (cm)	78.7	78.9	80.2
Aantal rijpe bloemen	5.8	4.0	3.5
Totaal aantal bloemen	8.5	3.7	4.8
Aantal knoppen	4.4	8.4	9.2
Aantal bloemen + knoppen	12.9	12.1	14
Versgewicht tak (g)	99.9	101.5	104.1
Drooggewicht tak (g)	10.4	10.2	10.9
Drogestof % tak	10.3	10.1	10.4
Versgewicht 72 cm tak (g)	93.0	91.7	92.0
Drooggewicht 72 cm tak (g)	9.1	8.9	9.3
Drogestof % 72 cm tak	9.8	9.7	10.1
Drooggewicht tak g/mol PAR	0.86	0.80	0.79
Versgewicht tak g/mol PAR	8.3	7.9	7.5
Versgewicht 72 cm tak g/mol PAR	7.7	7.1	6.7

Tabel: gemiddelde kwaliteit en productie van Fortune, uitgedrukt in vers-en drooggewicht van de hele tak en in versgewicht van de verkoopbare tak (72 cm en de onderste 15 cm ontbladerd).

	SON-T	Hybride	LED
Kwaliteit 1 (%)	75	83	85
Kwaliteit 2 (%)	21	15	12
Nietjes (%)	4	1	3
Groene takken (%)	25	16	50
Houdbaarheid (dagen)	4.0	2.7	1.0
Lengte (cm)	81.1	81.0	84.4
Aantal rijpe bloemen	3.7	4.9	2.7
Totaal aantal bloemen	9.5	6.0	3.1
Aantal knoppen	12.9	11.6	21.4
Aantal bloemen + knoppen	22.4	17.6	24.5
Versgewicht tak (g)	83.8	89.5	86.8
Drooggewicht tak (g)	9.4	9.6	10.0
Drogestof % tak	11.2	10.7	11.6
Versgewicht 72 cm tak (g)	79.2	86.0	82.8
Drooggewicht 72 cm tak (g)	8.4	8.8	9.0
Drogestof % 72 cm tak	10.6	10.2	10.8
Drooggewicht tak g/mol PAR	0.76	0.76	0.77
Versgewicht tak g/mol PAR	6.8	7.1	6.7
Versgewicht 72 cm tak g/mol PAR	6.4	6.8	6.4

Gemiddelde kwaliteit en productie van Grand Pink, uitgedrukt in vers-en drooggewicht van de hele tak en in versgewicht van de verkoopbare tak (72 cm en de onderste 15 cm ontbladerd).

	SON-T	Hybride	LED
Kwaliteit 1 (%)	96	86	87
Kwaliteit 2 (%)	0	6	6
Nietjes (%)	4	9	8
Groene takken (%)	16	47	16
Houdbaarheid (dagen)	4.6	3.0	5.4
Lengte (cm)	81.3	81.5	80.5
Aantal rijpe bloemen	7.3	3.4	6.6
Totaal aantal bloemen	12.2	9.6	5.2
Aantal knoppen	10.4	16.2	15.8
Aantal bloemen + knoppen	22.6	25.8	21
Versgewicht tak (g)	100.1	97.5	98.6
Drooggewicht tak (g)	10.6	10.0	11.0
Drogestof % tak	10.6	10.2	11.1
Versgewicht 72 cm tak (g)	96.4	94.6	95.5
Drooggewicht 72 cm tak (g)	9.6	9.3	10.2
Drogestof % 72 cm tak	10.0	9.8	10.7
Drooggewicht tak g/mol PAR	0.85	0.73	0.77
Versgewicht tak g/mol PAR	8.0	7.1	6.9
Versgewicht 72 cm tak g/mol PAR	7.7	6.9	6.7

Gemiddelde kwaliteit en productie van Ibis, uitgedrukt in vers-en drooggewicht van de hele tak en in versgewicht van de verkoopbare tak (72 cm en de onderste 15 cm ontbladerd).

	SON-T	Hybride	LED
Kwaliteit 1 (%)	91	86	86
Kwaliteit 2 (%)	6	9	9
Nietjes (%)	3	5	5
Groene takken (%)	9	19	38
Houdbaarheid (dagen)	3.6	12.4	3.1
Lengte (cm)	76.8	77.4	76.6
Aantal rijpe bloemen	6.5	5.1	3.8
Totaal aantal bloemen	8.3	8.5	4.6
Aantal knoppen	7.8	6.5	14.4
Aantal bloemen + knoppen	16.1	15	19
Versgewicht tak (g)	99.7	95.6	88.6
Drooggewicht tak (g)	10.3	9.9	9.8
Drogestof % tak	10.3	10.3	11.1
Versgewicht 72 cm tak (g)	91.3	87.5	82.9
Drooggewicht 72 cm tak (g)	9.4	9.0	9.1
Drogestof % 72 cm tak	10.3	10.2	10.9
Drooggewicht tak g/mol PAR	0.83	0.75	0.74
Versgewicht tak g/mol PAR	8.1	7.3	6.7
Versgewicht 72 cm tak g/mol PAR	7.4	6.7	6.2

Gemiddelde kwaliteit en productie van Prada, uitgedrukt in vers-en drooggewicht van de hele tak en in versgewicht van de verkoopbare tak (72 cm en de onderste 15 cm ontbladerd).

	SON-T	Hybride	LED
Kwaliteit 1 (%)	84	86	71
Kwaliteit 2 (%)	9	12	5
Nietjes (%)	8	1	24
Groene takken (%)	22	66	50
Houdbaarheid (dagen)	5.7	2.0	3.3
Lengte (cm)	87.6	88.1	86.1
Aantal rijpe bloemen	5.3	1.9	2.4
Totaal aantal bloemen	6.5	7.0	4.1
Aantal knoppen	13.7	18.3	24.6
Aantal bloemen + knoppen	20.2	25.3	28.7
Versgewicht tak (g)	96.7	91.3	93.2
Drooggewicht tak (g)	11.1	9.8	10.7
Drogestof % tak	11.4	10.8	11.5
Versgewicht 72 cm tak (g)	87.0	83.1	86.7
Drooggewicht 72 cm tak (g)	9.3	8.4	9.3
Drogestof % 72 cm tak	10.7	10.1	10.7
Drooggewicht tak g/mol PAR	0.87	0.78	0.61
Versgewicht tak g/mol PAR	7.4	7.2	5.3
Versgewicht 72 cm tak g/mol PAR	6.7	6.6	5.0

Gemiddelde kwaliteit en productie van Radost, uitgedrukt in vers-en drooggewicht van de hele tak en in versgewicht van de verkoopbare tak (72 cm en de onderste 15 cm ontbladerd).

	SON-T	Hybride	LED
Kwaliteit 1 (%)	89	90	99
Kwaliteit 2 (%)	6	6	0
Nietjes (%)	5	4	1
Groene takken (%)	22	19	16
Houdbaarheid (dagen)	4.1	1.0	3.0
Lengte (cm)	79.3	77.2	77.7
Aantal rijpe bloemen	5.3	4.9	5.4
Totaal aantal bloemen	10.4	12.8	9.4
Aantal knoppen	17.9	17.1	20.8
Aantal bloemen + knoppen	28.3	29.9	30.2
Versgewicht tak (g)	88.7	84.4	86.1
Drooggewicht tak (g)	9.3	8.6	9.1
Drogestof % tak	10.4	10.1	10.5
Versgewicht 72 cm tak (g)	83.5	80.5	80.0
Drooggewicht 72 cm tak (g)	8.3	7.9	8.1
Drogestof % 72 cm tak	9.9	9.8	10.1
Drooggewicht tak g/mol PAR	0.78	0.71	0.75
Versgewicht tak g/mol PAR	7.4	7.0	7.1
Versgewicht 72 cm tak g/mol PAR	7.0	6.6	6.6

Gemiddelde kwaliteit en productie van Rihanna, uitgedrukt in vers-en drooggewicht van de hele tak en in versgewicht van de verkoopbare tak (72 cm en de onderste 15 cm ontbladerd).

	SON-T	Hybride	LED
Kwaliteit 1 (%)	78	73	66
Kwaliteit 2 (%)	18	13	22
Nietjes (%)	4	14	13
Groene takken (%)	34	34	19
Houdbaarheid (dagen)	11.4	4.2	5.8
Lengte (cm)	84.4	81.0	84.2
Aantal rijpe bloemen	5.6	6.6	6.8
Totaal aantal bloemen	12.8	14.9	10.3
Aantal knoppen	7.2	10.1	10.0
Aantal bloemen + knoppen	20.0	25.0	20.3
Versgewicht tak (g)	89.0	86.5	81.7
Drooggewicht tak (g)	10.4	10.0	10.2
Drogestof % tak	11.6	11.5	12.5
Versgewicht 72 cm tak (g)	77.2	79.6	75.1
Drooggewicht 72 cm tak (g)	8.8	9.0	9.0
Drogestof % 72 cm tak	11.3	11.2	11.9
Drooggewicht tak g/mol PAR	0.86	0.72	0.71
Versgewicht tak g/mol PAR	7.3	6.2	5.7
Versgewicht 72 cm tak g/mol PAR	6.3	5.7	5.2

Gemiddelde kwaliteit en productie van Zembla, uitgedrukt in vers-en drooggewicht van de hele tak en in versgewicht van de verkoopbare tak (72 cm en de onderste 15 cm ontbladerd).

	SON-T	Hybride	LED
Kwaliteit 1 (%)	78	80	79
Kwaliteit 2 (%)	22	11	11
Nietjes (%)	0	9	10
Groene takken (%)	25	25	28
Houdbaarheid (dagen)	5.0	5.7	3.7
Lengte (cm)	76.2	77.5	77.5
Aantal rijpe bloemen	4.2	3.9	3.3
Totaal aantal bloemen	3.5	4.7	3.4
Aantal knoppen	10.3	9.1	11.0
Aantal bloemen + knoppen	13.8	13.8	14.4
Versgewicht tak (g)	92.1	98.8	98.9
Drooggewicht tak (g)	9.9	10.3	11.3
Drogestof % tak	10.7	10.4	11.5
Versgewicht 72 cm tak (g)	87.2	93.4	94.4
Drooggewicht 72 cm tak (g)	9.0	9.4	10.4
Drogestof % 72 cm tak	10.3	10.1	11.1
Drooggewicht tak g/mol PAR	0.77	0.72	0.73
Versgewicht tak g/mol PAR	7.1	6.9	6.5
Versgewicht 72 cm tak g/mol PAR	6.8	6.5	6.2

Bijlage IV. Energieverbruik bij gelijke reactietijd

Tabel

Energieverbruik (elektriciteit en warmte) tijdens de lange dag (15 dagen), korte dag en de hele teelt in 3 kassen met SON-T, hybride en LED belichting bij een gelijke reactietijd.

	SON-T	Hybride	LED
Geïnstalleerd vermogen (W/m ²)	61.6	59.3	49.1
Geïnstalleerd vermogen (%)	100	96	80
Elektriciteit			
Lange dag (kWh/m ²)	18	15.3	12.7
Lange dag (%)	100	85	71
Korte dag (kWh/m ²)*	43.4	40.7	33.6
Korte dag (%)	100	94	77
Teelt (kWh/m ²)	61.4	56	46.3
Teelt (%)	100	91	75
Warmte			
Lange dag (m ³ /m ²)	0.76	0.73	0.98
Lange dag (%)	100	96	129
Korte dag (m ³ /m ²)*	7.3	7.3	7.7
Korte dag (%)	100	100	105
Teelt (m ³ /m ²)	8.06	8.03	8.68
Teelt (%)	100	100	108

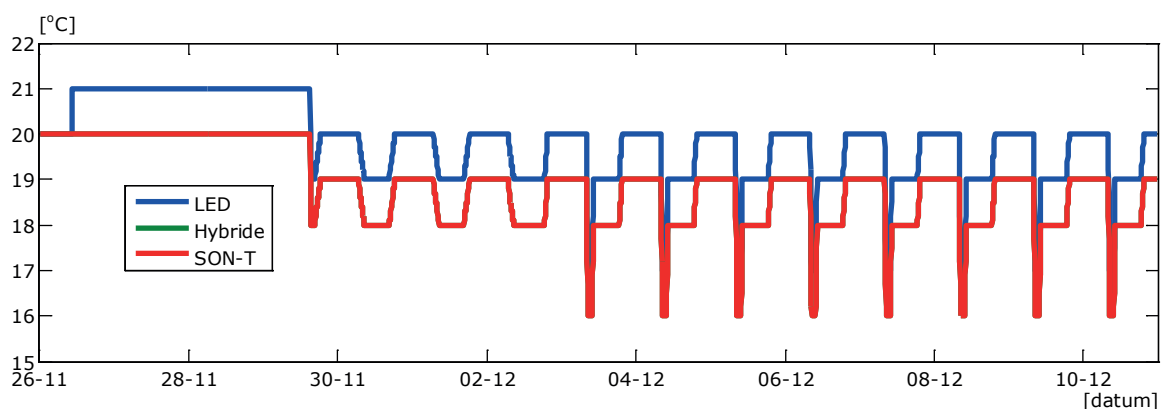
Bijlage V. Kasklimaat en energie

Lange dag

De lange dag fase heeft van 26 november tot 11 december gelopen. De manier van klimaatregelen heeft veel invloed op het energiegebruik. Daarom wordt eerst het gerealiseerde kasklimaat geanalyseerd, waarna het energiegebruik besproken zal worden.

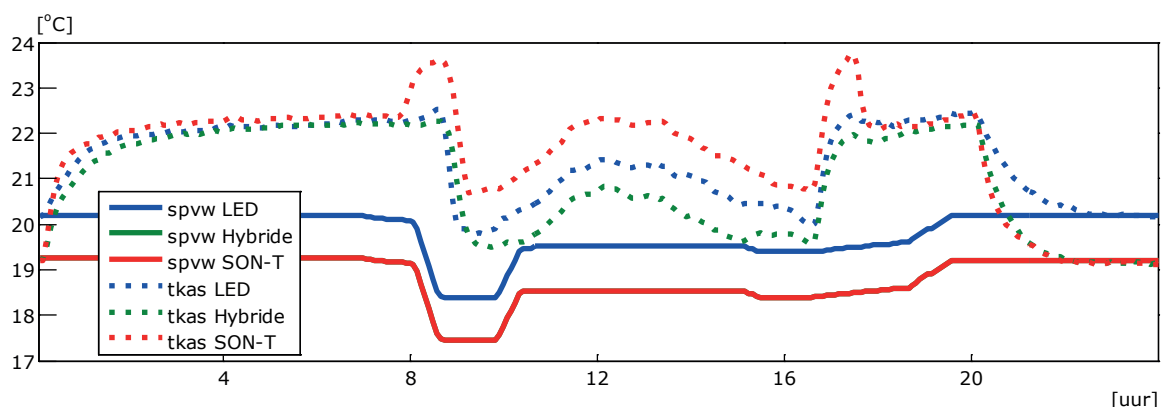
KLIMAAT

Omdat is aangenomen dat de verminderde inbreng van warmte door de toepassing van energiebesparende LEDs en de verminderde stralingswarmte ten opzichte van de SON-T, is het setpoint verwarmen in de LED afdeling met 1°C verhoogd zoals in figuur 1 is getoond. Het setpoint verwarmen van de Hybride en de SON-T zijn exact gelijk.



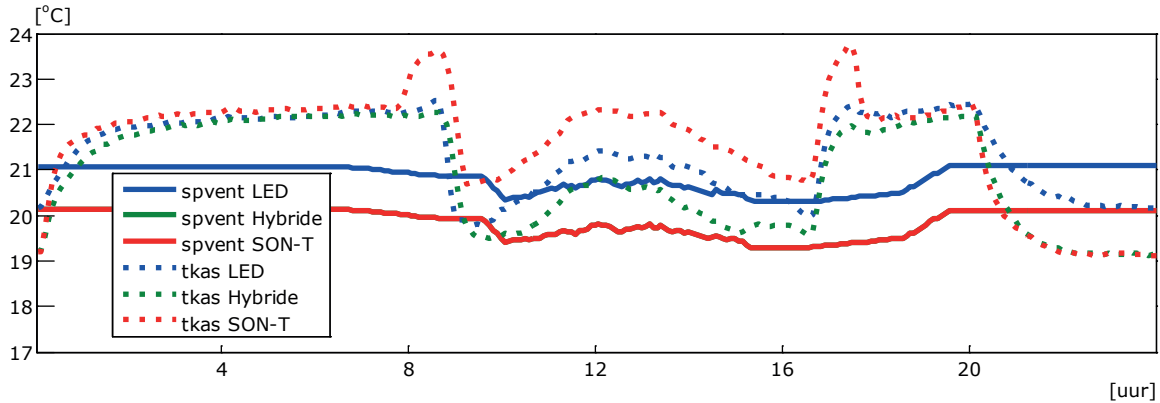
Figuur 1 Verloop van het setpoint verwarmen gedurende de lange dag fase van de 3 behandelingen (SON-T is gelijk aan Hybride).

Het setpoint verwarmen zegt nog weinig over de uiteindelijk gerealiseerde kasluchttemperatuur. Daarvoor is voor de 3 behandelingen naast het setpoint verwarmen ook het cyclisch gemiddelde van de gerealiseerde kasluchttemperatuur in figuur 2 getoond. De figuur laat zien dat zodra de lampen aan gaan het in de nacht het in alle kassen ongeveer even warm wordt. Dit heeft te maken met het setpoint ventilatie (voor de luwe zijde van de kas) waarvan in figuur 3 het cyclisch gemiddelde is getoond.

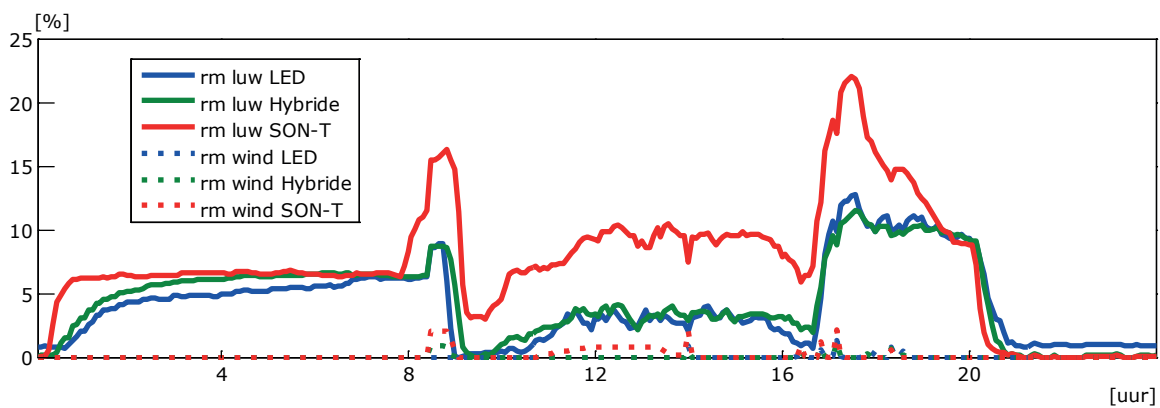


Figuur 2 Cyclisch gemiddelde van de gerealiseerde kasluchttemperatuur en het setpoint verwarmen in de lange dag fase van de 3 behandelingen.

Figuur 3 laat zien dat er gemiddeld gesproken in de nachtelijke uren zodra de lampen aan zijn gegaan er altijd geventileerd wordt om warmte af te voeren. Dat het setpoint ventilatie van de Hybride belichting (groen getrokken lijn) niet zichtbaar is komt doordat deze exact gelijk is aan de SON-T. Het verschil tussen het setpoint verwarmen en het setpoint ventilatie is vrijwel altijd 1°C, alleen rond zonsopkomst wordt deze naar ruim 2°C verhoogd. Figuur 3 laat ook zien dat er gemiddeld gesproken veel uren van de dag zijn dat er toch geventileerd wordt. Dat uiteindelijk een vrijwel gelijke ruimtetemperatuur in de nacht bereikt moet dan uiteindelijk verschil in gerealiseerde raamstand opleveren wat in figuur 4 ook is te zien.

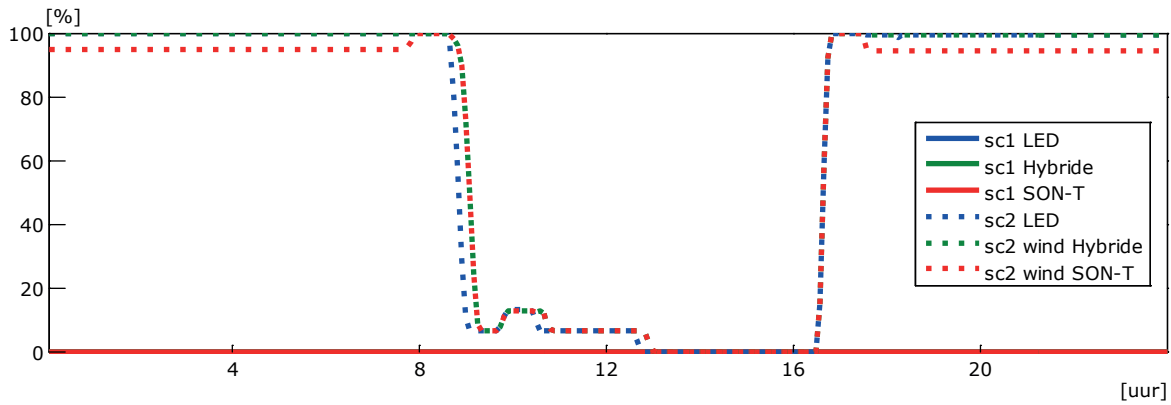


Figuur 3 Cyclisch gemiddelde van het setpoint ventilatie in de lange dag fase van de 3 behandelingen.



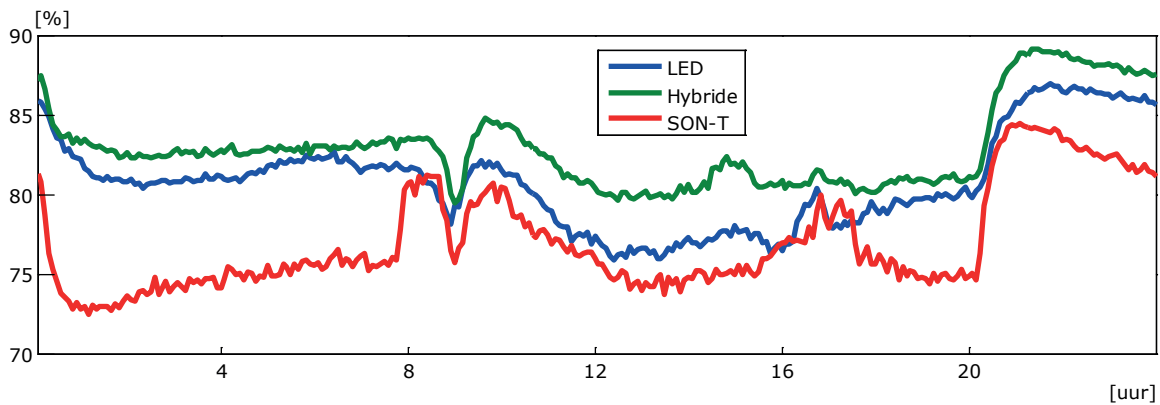
Figuur 4 Cyclisch gemiddelde van de raamstanden luw- en windzijde in de lange dag fase van de 3 behandelingen.

Figuur 4 laat zien dat in de SON-T behandeling met name overdag en in de vroege avond veel meer geventileerd is dan in de andere 2 behandelingen. Dit is ook te verwachten omdat in deze periode de kasluchttemperatuur duidelijk hoger is in de SON-T afdeling in vergelijking met de LED en Hybride afdelingen, zie tkas in figuur 3 (stippellijnen). De windzijde is nagenoeg niet gebruikt om te ventileren in deze periode. Waarom overdag wel en in de avond en nacht in de SON-T afdeling niet beduidend meer geventileerd wordt heeft te maken met de schermstrategie die naast het raam het warmteverlies van de kas ook beïnvloed. Daarvoor is in figuur 5 de cyclisch gemiddelde schermstanden getoond, waarbij sc1 het transparante en sc2 het donker doek is.



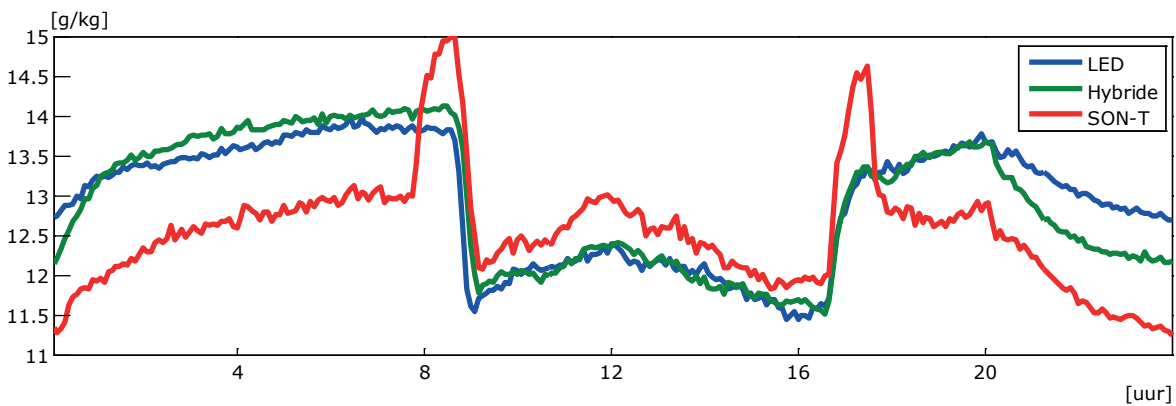
Figuur 5 Cyclisch gemiddelde van de schermstanden in de lange dag fase van de 3 behandelingen.

De figuur laat zien dat er gemiddeld gesproken in de SON-T afdeling veel vaker een schermkier getrokken is dan in de andere 2 behandelingen. Via deze kier kan veel warmte worden afgevoerd. De totale afvoer aan warmte is in de SON-T afdeling is door de combinatie van een schermkier en raamkier dan ook veel groter dan in de andere twee behandelingen. In de LED afdeling heeft het scherm altijd dicht gelegen in de avond en nacht. Deze manier van regelen heeft ook invloed op de vochtafvoer. In figuur 6 is het cyclisch gemiddelde van de kaslucht RV in deze teeltperiode getoond.



Figuur 6 Cyclisch gemiddelde van de kaslucht RV in de lange dag fase van de 3 behandelingen.

De SON-T beduidend droger dan de andere behandelingen, met name in de nacht. Overdag is het opvallend dat er een fors verschil is tussen de LED en Hybride ondanks de vrijwel gelijke raamstand zoals in figuur 4 getoond. Hier speelt wel het verschil in gerealiseerde kasluchttemperatuur doorheen. Wordt namelijk naar het gerealiseerde absoluut vocht in de kaslucht gekeken, (figuur 7) dan zijn de verschillen weer logisch geordend.



Figuur 6 Cyclisch gemiddelde van het absolute vocht gehalte in de kaslucht in de lange dag fase van de 3 behandelingen.

ENERGIE

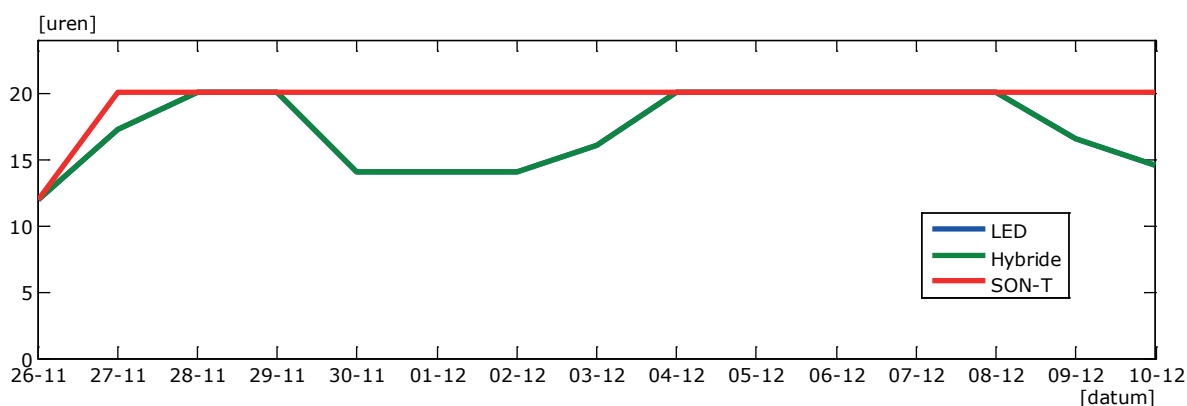
Belangrijk verschil in energiegebruik van de belichtingssystemen zal het elektriciteitsgebruik zijn omdat de verschillende systemen meer of minder $\mu\text{mol PAR}$ licht per W elektrische input kan produceren. In tabel 1 zijn deze efficiency 's aangegeven. In alle afdelingen is $114 \mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ aan belichting geïnstalleerd zodat er ook verschillende elektrische vermogens zijn geïnstalleerd die vervolgens een verschillend elektriciteitsgebruik in de behandelingen zal opleveren. In tabel 1 zijn ook de geïnstalleerde elektrische vermogens getoond.

Tabel 1

Conversie efficiency van de verschillende belichtingssystemen.

Systeem	Conversie efficiency [$\mu\text{mol}/\text{W}\cdot\text{el}$]	behandeling	Geïnstalleerd vermogen [W/m^2]
SON-T	1.85	SON-T	61.6
LED in hybride	2.00	Hybride	59.3
LED in LED kas	2.32	LED	49.1

Naast een verschil in geïnstalleerd elektrisch vermogen zijn de belichtingssystemen in de verschillende behandelingen ook nog iets gevarieerd in gebruiksduur zoals figuur 7 laat zien.



Figuur 7 Gebruiksduur van de belichting per dag in de lange dag fase van de 3 behandelingen.

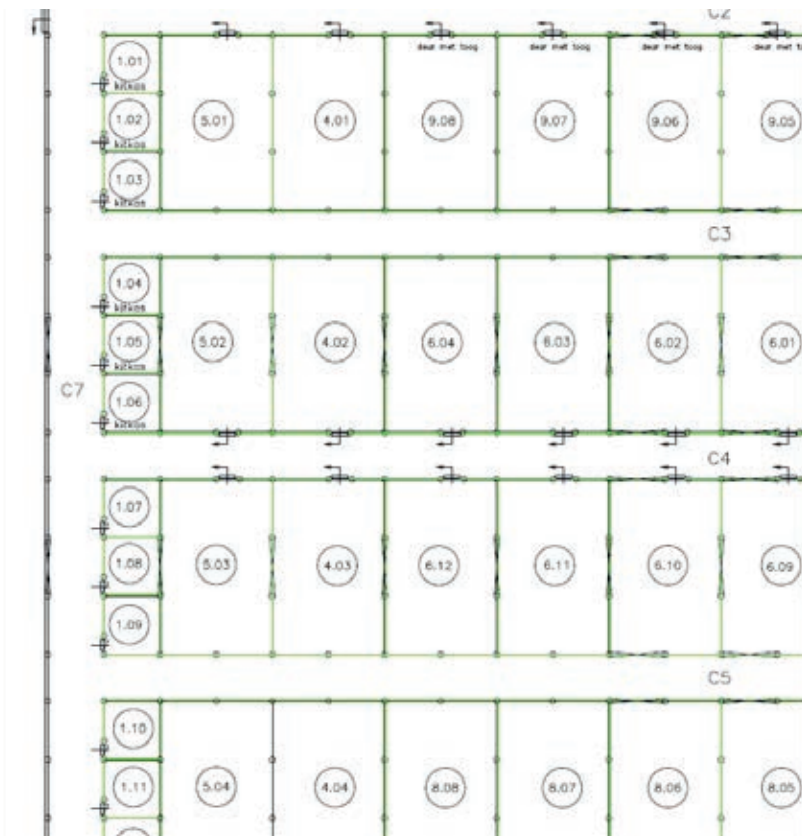
De hybride en led afdeling zijn exact gelijk gestuurd zodat de blauwe lijn van de LED achter de Hybride lijn valt. De SON-T is altijd 20 uur belicht waar de LED en hybride op een aantal dagen slechts 14 uur is belicht. In de lange dag fase is in de LED en hybride afdeling 13% minder belichtingsuren gemaakt. In tabel 2 zijn de belichtingsuren en het bijbehorende elektriciteitsgebruik per afdeling getoond.

Tabel 2

Gebruiksduur belichting en het elektriciteitsgebruik van de 3 behandelingen in de lange dag fase.

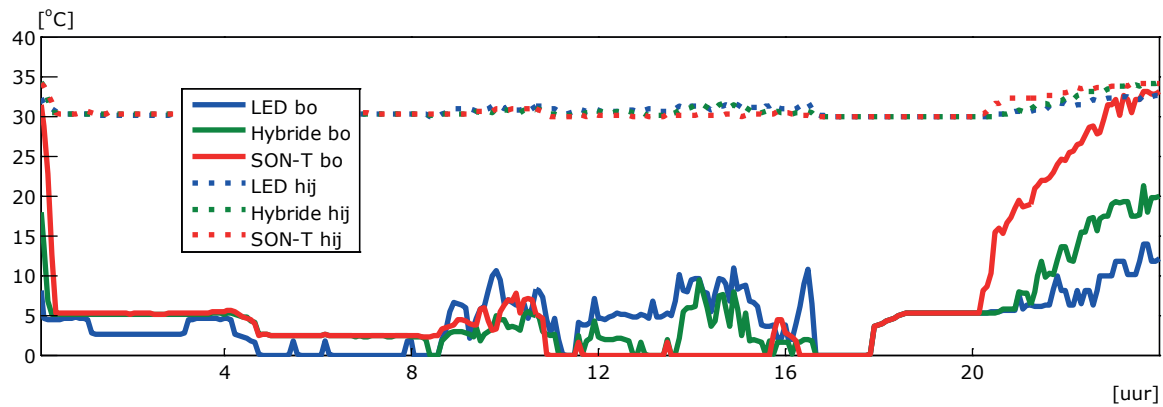
behandeling	Belichtingsuren [-]	elektriciteitsgebruik [kWh/m^2]
SON-T	292	18.0
Hybride	258	15.3
LED	258	12.7

Het warmtegebruik van de 3 afdelingen is lastiger te bepalen omdat er invloeden kunnen zijn van de buurafdelingen die soms warmer en soms kouder geteeld worden. Dan is er dus een warmtestroom naar of van de buurafdeling. Aan de voor en achterkant is iedere afdeling voorzien van een corridor (C in figuur 8) deze corridors worden op een vaste temperatuur van ca. 15 graden gestookt. De warmteverliezen naar deze corridors zijn voor alle afdelingen dan ook gelijk. Echter omdat de zijgevels een bijna even groot oppervlak kennen als het dek oppervlak kan de warmtestroom naar of van de buurafdelingen niet verwaarloosd worden. In figuur 8 is de kas layout en situering van de afdelingen in het kascomplex in Bleiswijk aangegeven. Ter verduidelijking de LED behandeling is in afdeling 4.01, de Hybride in 4.02 en de SON-T in 4.03 gelegen.



Figuur 8 Kas layout en situering van de afdelingen in het kascomplex in Bleiswijk.

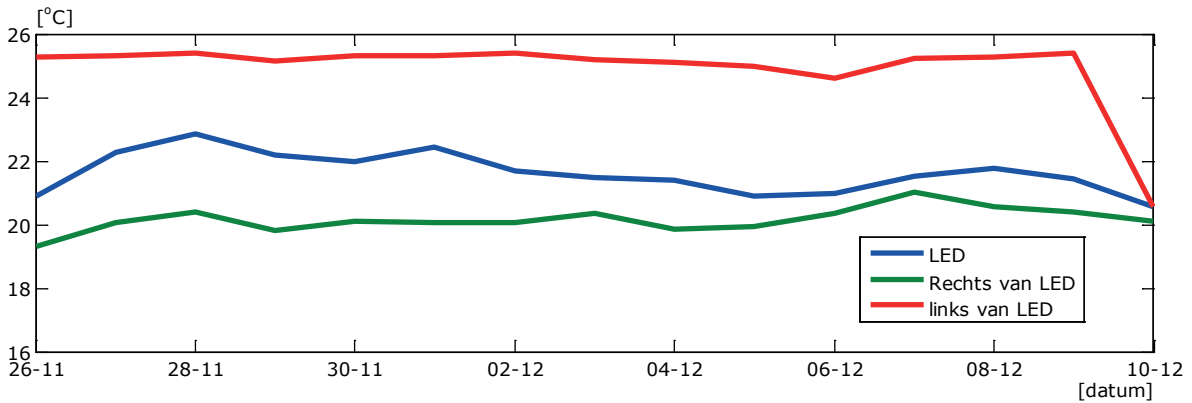
De kasafdelingen zijn niet van energiemeters voorzien. Het energiegebruik is berekend aan de hand van het verschil in buis en kaslucht-temperatuur, de buisdiameters en het aantal buizen per m² kas. Aan het begin van de proef is het verschil tussen aanvoer- en retour-temperatuur eenmalige per verwarmingsnet bepaald om in de berekeningen een gemiddelde buistemperatuur te kunnen gebruiken. Alle kassen kennen twee verwarmingsnetten, een hijsverwarming met een buisdiameter van 32 mm waarvan er 12 in een tralie van 9.6 meter zijn geplaatst en een vast bovennet van 51 mm waarvan er 6 in een 9.6 meter tralie zijn geplaatst. De ΔT van de hijsverwarming bleek 1.5°C en van het bovennet 3°C te zijn. Voor het energieverlies door de zijgevel is naast het temperatuurverschil tussen de twee afdelingen de warmteoverdracht door de zijgevel van belang. Hiervoor is onderscheidt gemaakt tussen de situatie waarin het tussenscherm geopend en gesloten is. Voor een geopend tussenscherm is de k-waarde voor de tussengevel ingeschat op 4 W/m².K en bij gesloten scherm op 2 W/m².K. Deze schattingen zijn gemaakt op basis van ervaringen in het verleden. Correctie op het warmtegebruik wordt alleen uitgevoerd indien er gestookt wordt.



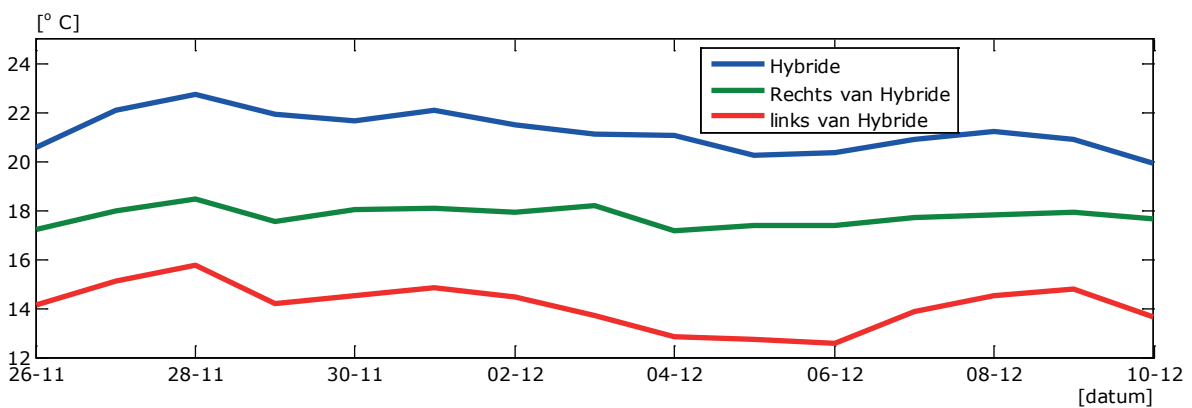
Figuur 8 Cyclisch gemiddelde van de berekende buistemperaturen in de lange dag fase van de 3 behandelingen.

De hijsverwarming is primair ingesteld en kent een minimumbuistemperatuur van 30°C (dag en nacht) de maximumbuistemperatuur is ingesteld op 35°C om bladverbranding te voorkomen. Heeft de hijsverwarming de maximum buistemperatuur bereikt, dan komt het bovennet bij waarna deze in temperatuur op mag lopen tot 70°C. In de tijd zijn de buurafdelingen behoorlijk verschillend gestookt. Om dit te verduidelijken is in figuur 9 een overzicht gegeven van de verlopen in de tijd van de etmaaltemperaturen van de buurafdelingen van de behandelingen.

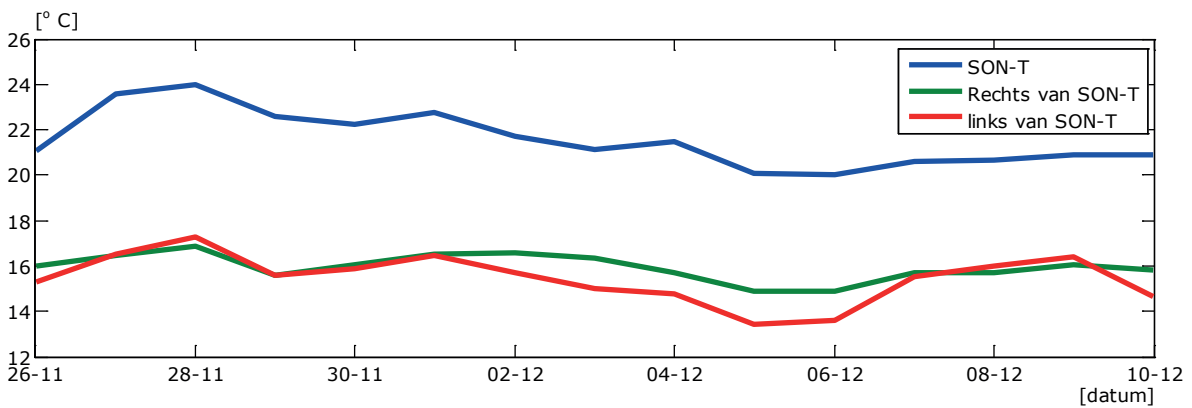
A



B

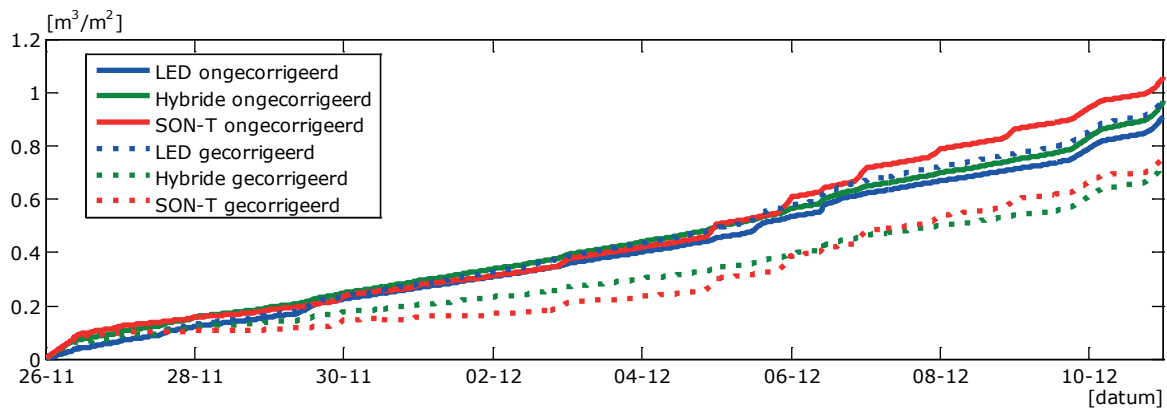


C



Figuur 9 Etmaal temperaturen van de verschillende behandelingen en de buurafdelingen A LED, B Hybride en C SON-T.

De figuur laat goed zien dat de LED behandeling veel warmte ontvangen zal hebben van de linker buurafdeling (9.08) terwijl er iets warmte naar de rechter buurafdeling (5.01) zal zijn afgevoerd. Daarentegen zal de SON-T evenals de hybride afdeling behoorlijk warmteverlies naar beide buurafdelingen hebben gehad. De effecten hiervan op het warmtegebruik zijn in figuur 10 getoond waar zowel het ongecorrigeerde als het gecorrigeerde cumulatieve warmtegebruik van de drie behandelingen is getoond.



Figuur 10 Cumulatief warmtegebruik ongecorrigeerd en gecorrigeerd voor warmteverlies naar de buurafdelingen van de verschillende behandelingen in de lange dg fase.

In tabel 3 zijn de getallen ook opgenomen

Tabel 3

Warmtegebruik gecorrigeerd en ongecorrigeerd van de 3 behandelingen in de lange dag fase.

behandeling	Warmtegebruik ongecorrigeerd [m ³ /m ²]	Warmtegebruik gecorrigeerd [m ³ /m ²]
SON-T	0.92	0.98
Hybride	0.97	0.73
LED	1.09	0.79

Ten slotte in Tabel 4 een overzicht van de belangrijkste resultaten.

Tabel 4

Belangrijkste resultaten van de 3 behandelingen in de lange dag fase.

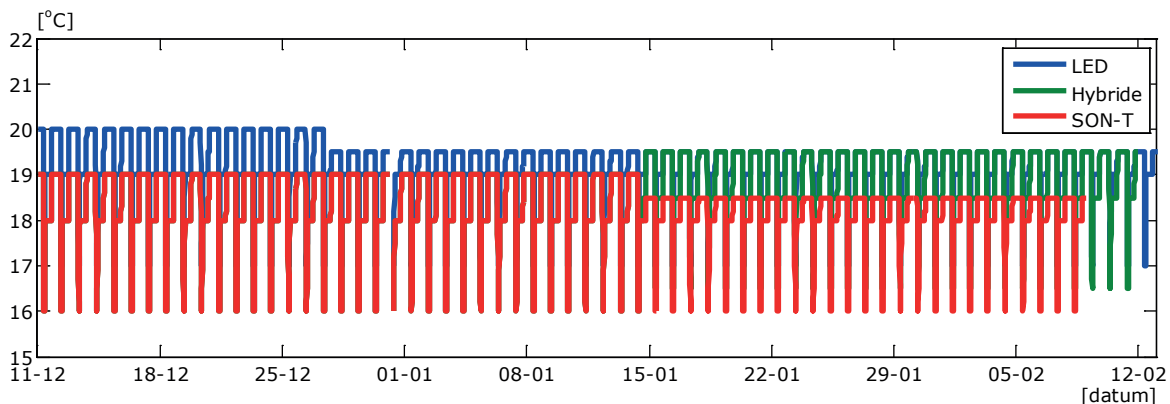
	setpoint verwarmen [°C]	T kas [°C]	T plant [°C]	Elektriciteit gebruik [kWh/m ²]	Warmtegebruik ongecorrigeerd [m ³ /m ²]	warmtegebruik gecorrigeerd [m ³ /m ²]
LED	19.8	21.3	20.9	12.7	0.91	0.98
Hybride	18.8	20.8	20.1	15.3	0.97	0.73
SON-T	18.8	21.5	21.4	18.0	1.06	0.76

Korte dag

De korte dag fase heeft van 11 december tot 8, 11 en 13 februari gelopen voor respectievelijk de DON-T, hybride en LED afdeling. De manier van klimaatregelen heeft veel invloed op het energiegebruik. Daarom wordt eerst het gerealiseerde kasklimaat geanalyseerd, waarna het energiegebruik besproken zal worden.

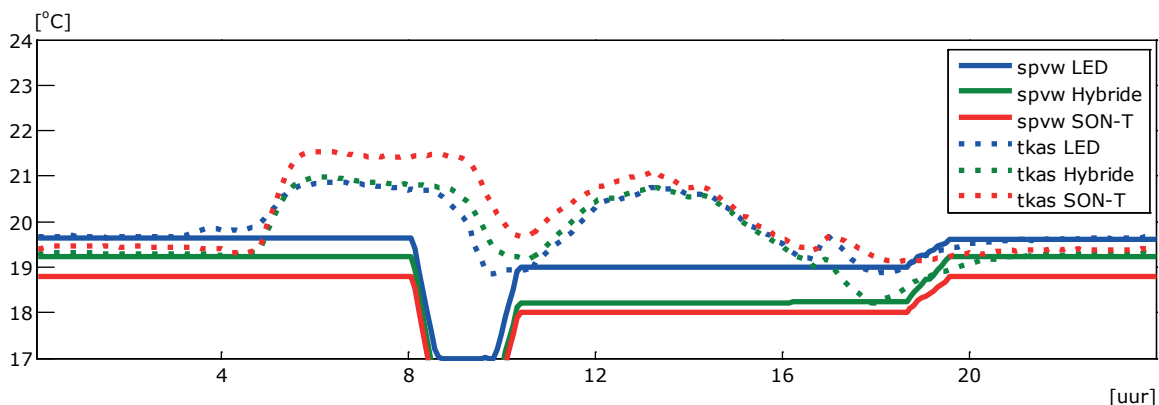
KLIMAAT

Omdat is aangenomen dat de verminderde inbreng van warmte door de toepassing van energiebesparende LEDs en de verminderde stralingswarmte ten opzichte van de SON-T, is het setpoint verwarmen in de LED afdeling tot 27 december dag en nacht met 1°C verhoogd zoals in figuur 11 is getoond. Vervolgens is dit verschil van 1°C in de LED afdeling in de avond en nacht teruggebracht tot 0.5°C. Het setpoint verwarmen van de Hybride en de SON-T zijn exact gelijk aangehouden tot 14 januari. Daarna is de Hybride overdag een halve en 's nachts 1°C warmer gestookt dan de SON-T omdat de temperatuur in de SON-T in de nacht met een halve graad is verlaagd tot 18.5°C.



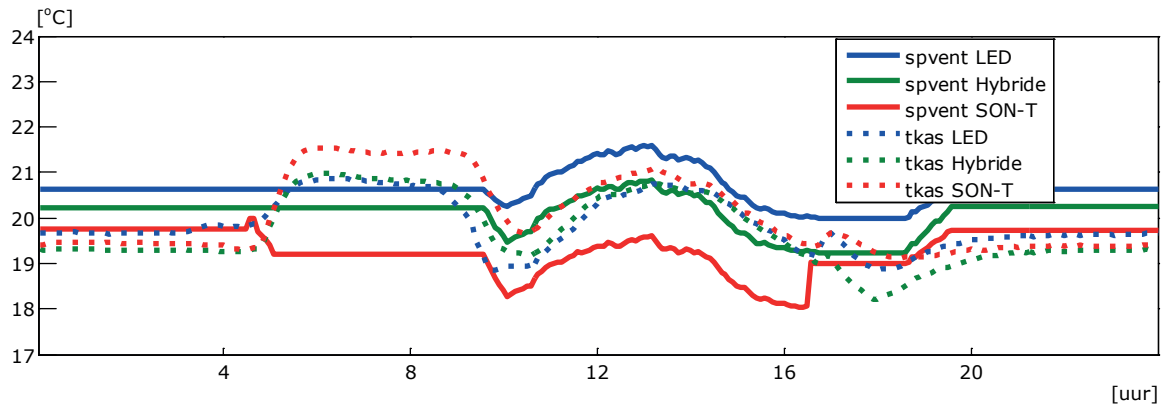
Figuur 11 Verloop van het setpoint verwarmen gedurende de korte dag fase van de 3 behandelingen (SON-T is gelijk aan Hybride).

Het setpoint verwarmen zegt nog weinig over de uiteindelijk gerealiseerde kasluchttemperatuur. Daarvoor is voor de 3 behandelingen naast het setpoint verwarmen ook het cyclisch gemiddelde van de gerealiseerde kasluchttemperatuur in figuur 12 getoond. De figuur laat zien dat zodra de lampen in de vroege morgen rond 5 uur aan gaan het in de nacht het in de SON-T duidelijk wat warmer wordt dan in de LED en Hybride afdeling waarbij het verschil ten opzichte van het setpoint verwarmen verder toeneemt. Dit heeft te maken met het setpoint ventilatie (voor de luwe zijde van de kas) waarvan in figuur 13 het cyclisch gemiddelde is getoond. In de avond en nacht is de SON-T duidelijk wat warmer dan het setpoint verwarmen wat door het minimumbuistemperatuur gebruik veroorzaakt zal worden.

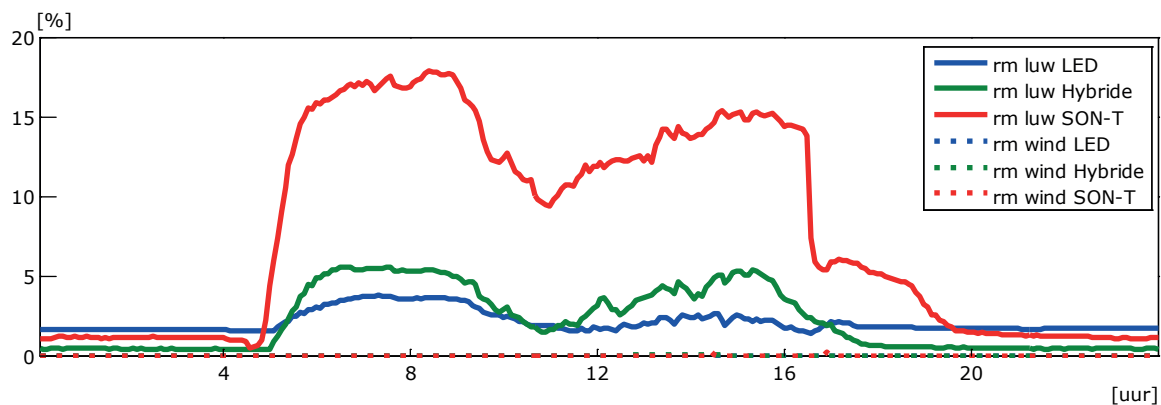


Figuur 12 Cyclisch gemiddelde van de gerealiseerde kasluchttemperatuur en het setpoint verwarmen in de korte dag fase van de 3 behandelingen.

Figuur 13 laat zien dat er gemiddeld gesproken in de nachtelijke uren zodra de lampen aan zijn gegaan er altijd geventileerd wordt om warmte af te voeren. Het verschil tussen het setpoint verwarmen en het setpoint ventilatie is vrijwel altijd 1°C, alleen bij de SON-T wordt bij inschakelen van de belichting dit gemiddeld verlaagd tot 0.5°C. Figuur 13 laat ook zien dat er gemiddeld gesproken veel uren van de dag zijn dat er toch geventileerd wordt omdat de gerealiseerde kasluchttemperatuur gemiddeld gesproken boven de ventilatietemperatuur uitkomt. Dat er in de SON-T meer geventileerd wordt blijkt ook uit figuur 14 waar de raamstanden van luw en wind zijde zijn gepresenteerd.

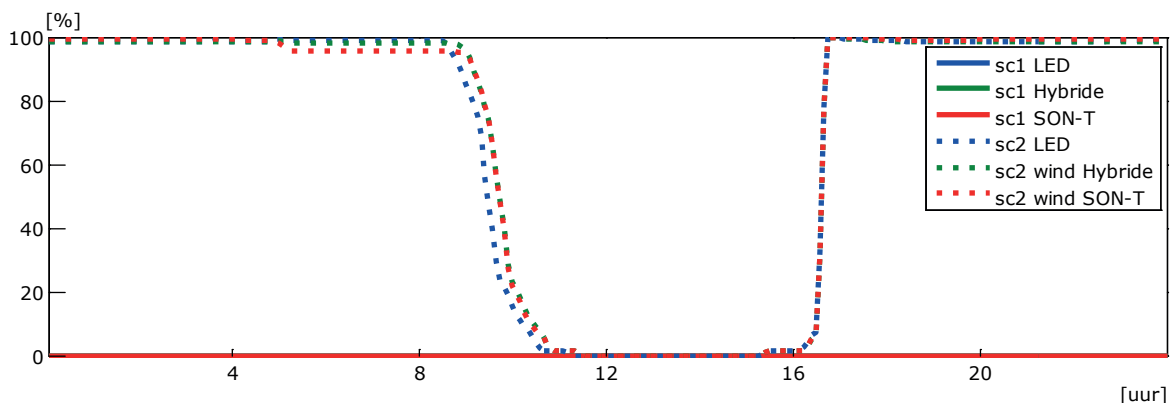


Figuur 13 Cyclisch gemiddelde van het setpoint ventilatie in de korte dag fase van de 3 behandelingen.



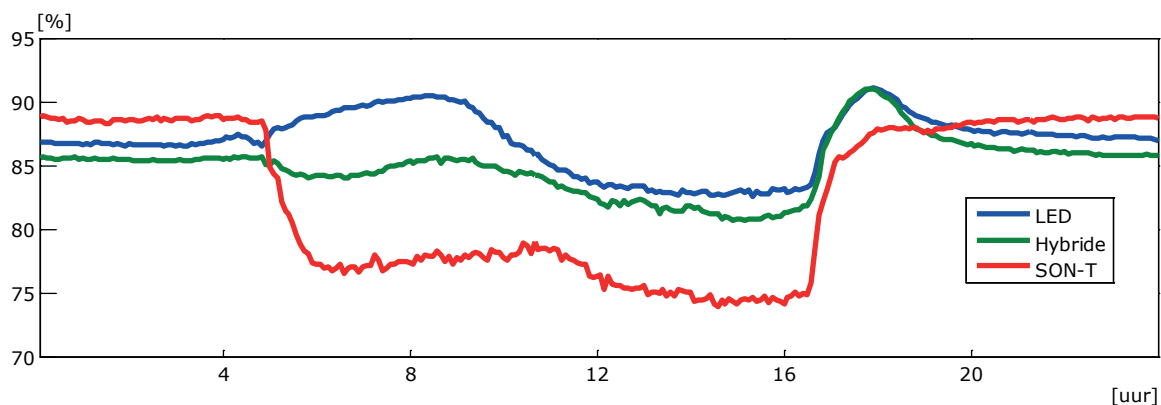
Figuur 14 Cyclisch gemiddelde van de raamstanden luw- en windzijde in de korte dag fase van de 3 behandelingen.

Figuur 14 laat zien dat in de SON-T behandeling met name overdag en in de vroege avond veel meer geventileerd is dan in de andere 2 behandelingen. Dit is ook te verwachten omdat in deze periode de kasluchttemperatuur wat hoger is in de SON-T afdeling in vergelijking met de LED en Hybride afdelingen, maar met name door het verlaagde ventilatiesetpoint, zie figuur 13. Het constante niveau in de LED afdeling in de avond en nacht is een minimum raamstand van 1.5 % die vanaf 17 december is ingesteld. De windzijde is nagenoeg niet gebruikt om te ventileren in deze periode. De schermstrategie heeft hierbij ook nog invloed. Daarvoor is in figuur 15 de cyclisch gemiddelde schermstanden getoond, waarbij sc1 het transparante en sc2 het donker doek is.



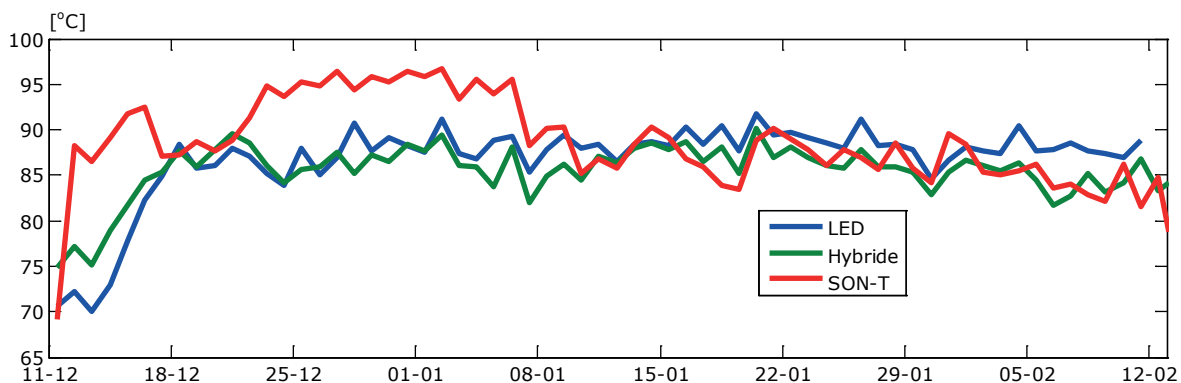
Figuur 15 Cyclisch gemiddelde van de schermstanden in de korte dag fase van de 3 behandelingen.

De figuur laat zien dat er gemiddeld gesproken in de SON-T afdeling tijdens de belichtingsuren vaker een schermkier getrokken is dan in de andere 2 behandelingen. Via deze kier kan veel warmte worden afgevoerd. De totale afvoer aan warmte is in de SON-T afdeling is door de combinatie van een schermkier en raamkier dan ook veel groter dan in de andere twee behandelingen. Deze manier van regelen heeft ook invloed op de vochtafvoer. In figuur 16 is het cyclisch gemiddelde van de kaslucht RV in deze teeltperiode getoond.



Figuur 16 Cyclisch gemiddelde van de kaslucht RV in de korte dag fase van de 3 behandelingen.

De SON-T is vooral tijdens de belichtingsuren beduidend droger dan de andere behandelingen. De figuur is een overdag een goede weergave van het ventileren zoals in figuur 14 getoond. De figuur lijkt ook aan te tonen dat gemiddeld gesproken de SON-T in de nacht vochtiger is geweest. Dat is veroorzaakt in de periode 22 december – 9 januari door een storing in de regelklep van de hijsverwarming. Op de hijsverwarming is standaard een minimum buis van 30°C ingesteld. Deze is in de SON-T afdeling in deze periode niet gerealiseerd. Dit is echter opgevangen door het bovennet maar dan wordt er op het setpoint verwarmen gestuurd waar de minimumbuis ervoor kan zorgen dat ramen en of schermen op een kier opengestuurd kunnen worden. In figuur 17 is de gemiddelde kaslucht RV per dag voor de periode van middernacht tot 4 uur smorgens gegeven.

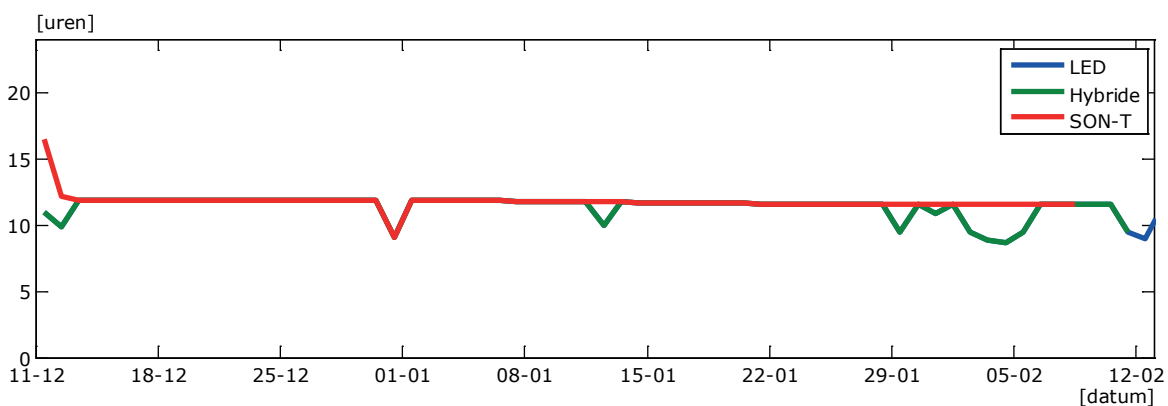


Figuur 17 Gemiddelde kaslucht RV per dag voor de periode van middernacht tot 4 uur smorgens in de korte dag fase van de 3 behandelingen.

De figuur laat zien dat buiten deze storingsperiode de RVs vrijwel gelijk zijn. De lage RVs in LED en hybride behandeling direct na de overgang van de lange naar de korte dag fase is gevolg van foute schermsturing in deze 2 afdelingen.

ENERGIE

In de energieparagraaf bij de lange dag zijn de verschillen in de belichtingssystemen al besproken. Naast een verschil in geïnstalleerd elektrisch vermogen zijn de belichtingssystemen in de verschillende behandelingen ook in deze korte dag fase nog iets gevarieerd door het belichten naar behoefte principe in gebruiksduur zoals figuur 18 laat zien.



Figuur 18 Gebruiksduur van de belichting per dag in de korte dag fase van de 3 behandelingen.

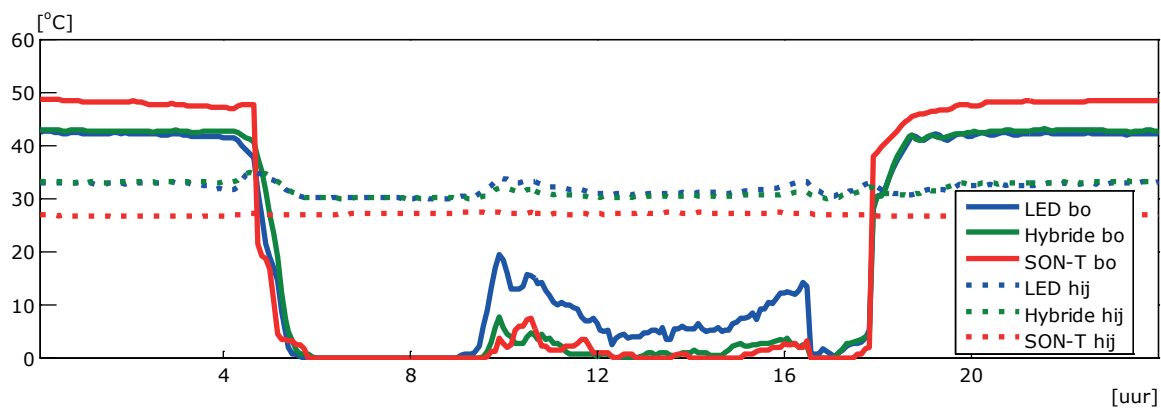
De hybride en led afdeling zijn exact gelijk gestuurd zodat de blauwe lijn van de LED achter de Hybride lijn valt. De SON-T is altijd een kleine 12 uur per dag belicht waar de LED en hybride op een aantal dagen slechts tot 9 uur is belicht. In de korte dag fase is tot 8 februari in de LED en hybride afdeling 3% minder belichtingsuren gemaakt. Wordt wel de hele teeltperiode aanschouwd dan is in de Hybride afdeling 1% en in de LED afdeling 4% meer belichtingsuren gemaakt. In tabel 5 zijn de belichtingsuren en het bijbehorende elektriciteitsgebruik per afdeling getoond. Omdat de einddatum verschilt, is zowel het totaal met de individuele einddata als de momentopname op de einddatum van de SON-T afdeling gegeven.

Tabel 5

Gebruiksduur belichting en het elektriciteitsgebruik van de 3 behandelingen in de korte dag fase.

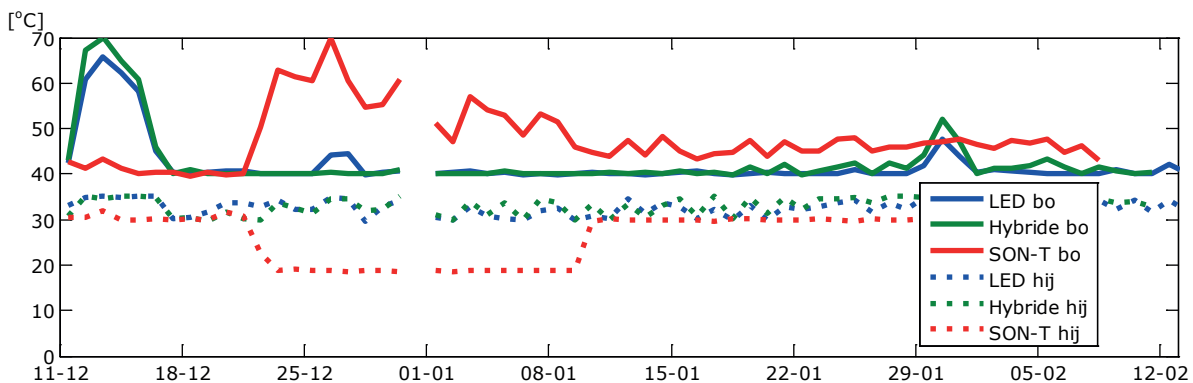
behandeling	Totaal proef		Totaal op 8 februari	
	Belichtingsuren [-]	elektriciteitsgebruik [kWh/m ²]	Belichtingsuren [-]	elektriciteitsgebruik [kWh/m ²]
SON-T	705	43.4	705	43.4
Hybride	715	42.6	683	40.7
LED	736	36.2	683	33.6

Het energiegebruik is wederom berekend aan de hand van het verschil in buis en kaslucht-temperatuur, de buisdiameters en het aantal buizen per m² kas. De hijsverwarming is primair ingesteld en kent een minimumbuis temperatuur van 30°C (dag en nacht) de maximumbuis temperatuur is ingesteld op 35°C om bladverbranding te voorkomen. Heeft de hijsverwarming de maximum buis temperatuur bereikt, dan komt het bovennet bij waarna deze in temperatuur op mag lopen tot 70°C. Dat de hijsverwarming van de SON-T (rode stippelijijn) onder de 30 uitkomt in dit figuur met het cyclische gemiddelde komt door de storing in de stuurklep van dit verwarmingssysteem. Dat is ook de reden dat in de periode waarde belichting is uit geweest de temperatuur van het bovennet gemiddeld hoger is. Immers de hijsverwarming gaf geen warmte af, er was geen warmteoverschot ten gevolge van de belichting dus het bovennet heeft in deze periode meer moeten doen.



Figuur 19 Cyclisch gemiddelde van de gemeten buistemperaturen in de korte dag fase van de 3 behandelingen.

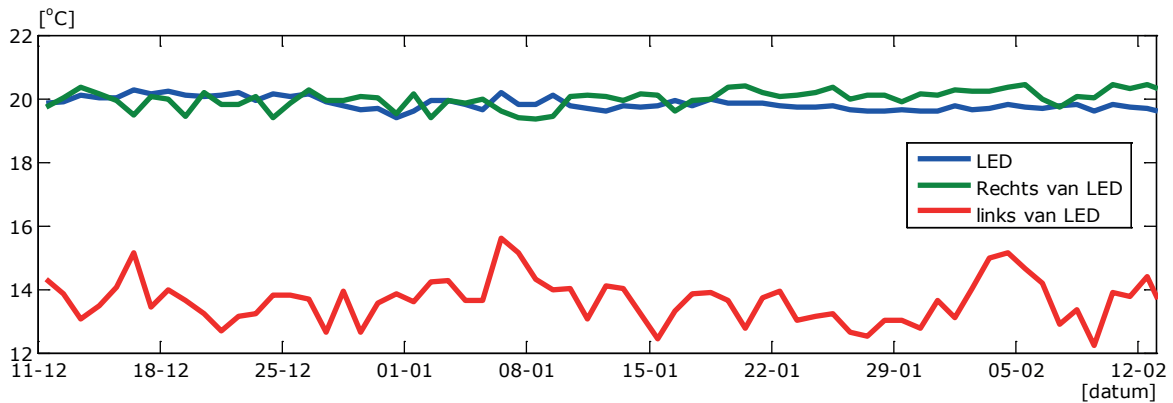
Dit wordt ook in figuur 20 getoond waar voor iedere dag tussen middernacht en 4 uur in de ochtend de gemiddelde gemeten buistemperatuur van beide neten is gegeven. Daar waar de hijsverwarming in de SON-T afdeling terugvalt op de kasluchttemperatuur wordt de bovennet temperatuur juist verhoogd.



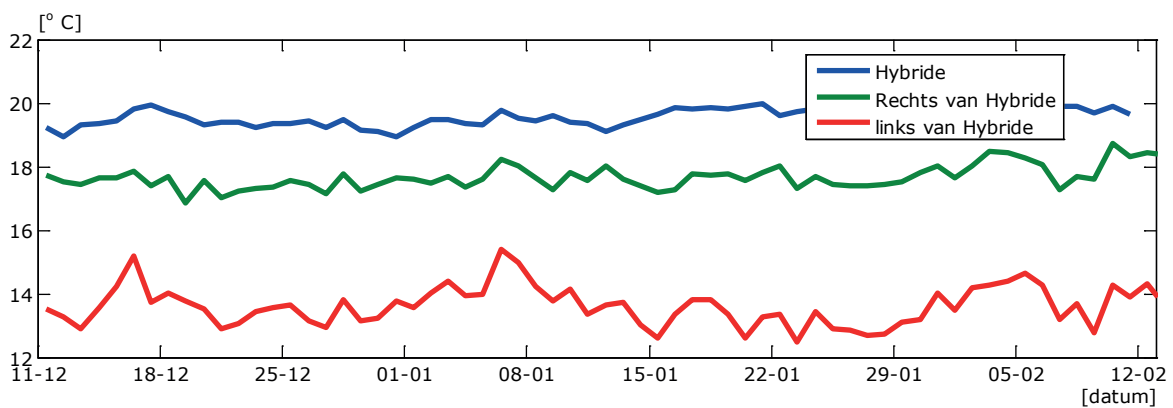
Figuur 20 Gemiddelde gemeten buistemperaturen van de hijsverwarming en het bovennet per dag voor de periode van middernacht tot 4 uur smorgens in de korte dag fase van de 3 behandelingen.

Voor de correctie op warmteverliezen of ontvangst van de buurafdelingen, zijn in de tijd de etmaal gemiddeld kasluchttemperaturen van de buurafdelingen in figuur 21 getoond.

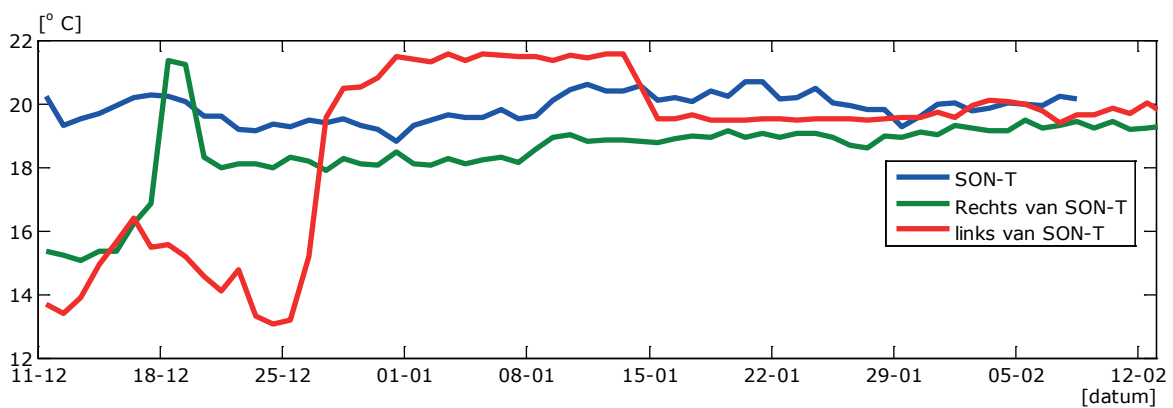
A



B

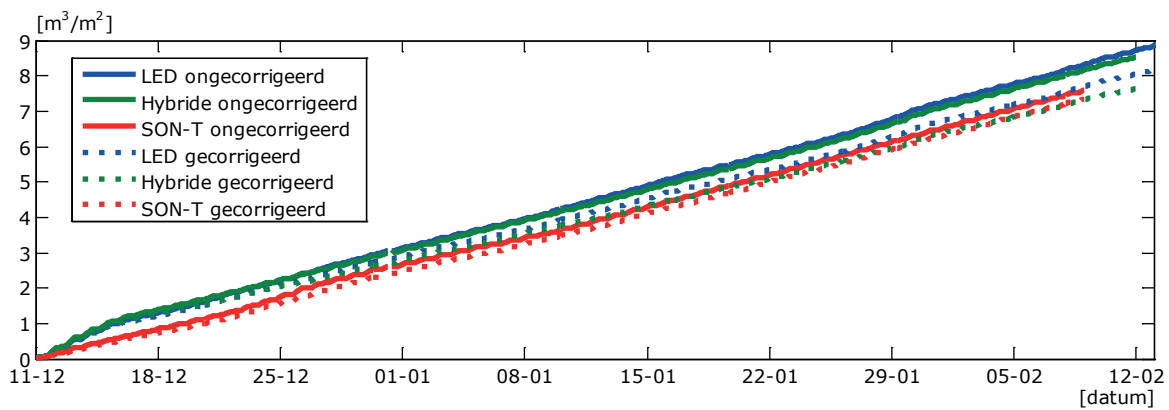


C



Figuur 21 Etmaal temperaturen van de verschillende behandelingen en de buurafdelingen A LED, B Hybride en C SON-T tijdens de korte dag fase.

De figuur laat goed zien dat de LED behandeling veel warmte verloren zal hebben aan de linker buurafdeling (9.08) terwijl er van en naar de rechter buurafdeling (5.01) weinig warmte zal zij uitgewisseld. De effecten hiervan op het warmtegebruik zijn in figuur 22 getoond, waar zowel het ongecorrigeerde als het gecorrigeerde cumulatieve warmtegebruik van de drie behandelingen is gegeven.



Figuur 22 Cumulatief warmtegebruik ongecorrigeerd en gecorrigeerd voor warmteverlies naar de buurafdelingen van de verschillende behandelingen in de korte dag fase.

In tabel 6 zijn de getallen ook opgenomen

Tabel 6

Warmtegebruik gecorrigeerd en ongecorrigeerd van de 3 behandelingen in de lange dag fase.

behandeling	Totaal proef		Totaal op 8 februari	
	ongecorrigeerd [m³/m²]	gecorrigeerd [m³/m²]	ongecorrigeerd [m³/m²]	gecorrigeerd [m³/m²]
SON-T	7.6	7.3	7.6	7.3
Hybride	8.5	7.6	8.2	7.3
LED	9.0	8.3	8.3	7.7

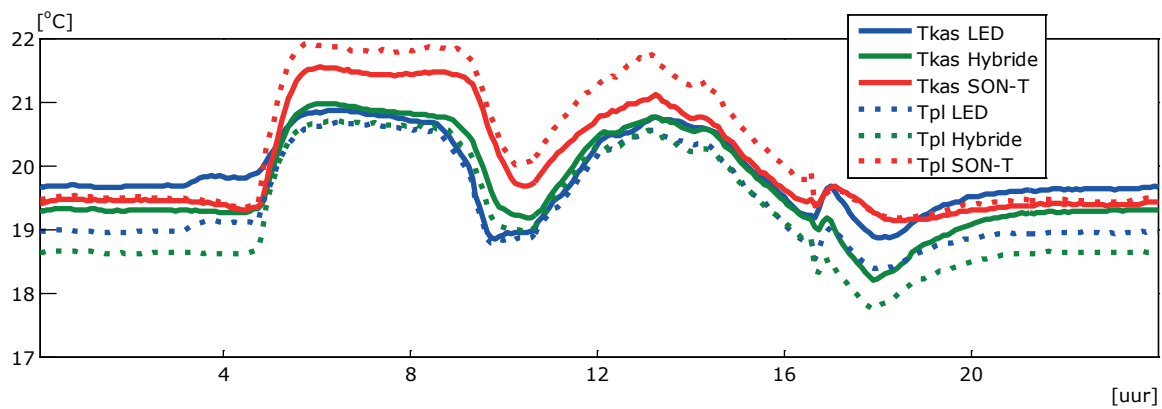
Ten slotte in Tabel 7 een overzicht van de belangrijkste resultaten van de korte dag fase.

Tabel 7

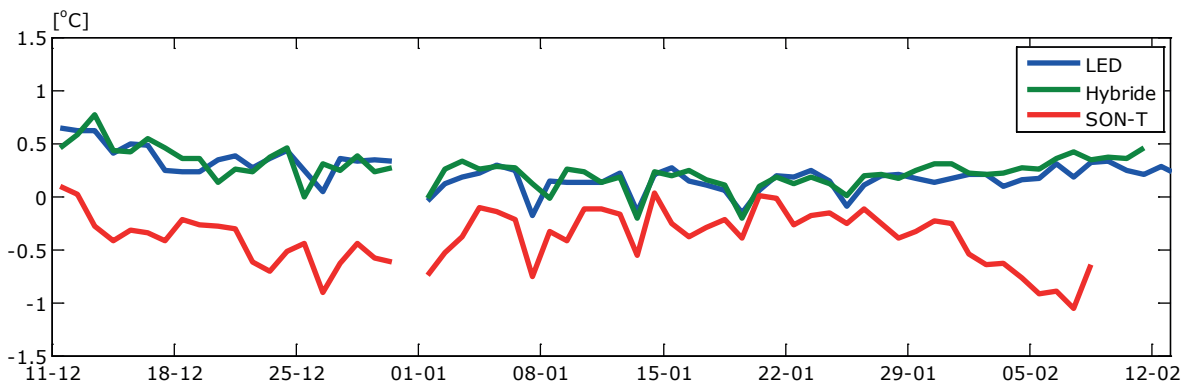
Belangrijkste resultaten van de 3 behandelingen in de korte dag fase van de totale proef.

	setpoint verwarmen [°C]	T kas [°C]	T plant [°C]	Elektriciteit gebruik [kWh/m²]	Warmtegebruik ongecorrigeerd [m³/m²]	warmtegebruik gecorrigeerd [m³/m²]
SON-T	18.4	20.0	20.3	43.4	7.6	7.3
Hybride	18.4	19.7	19.3	42.6	8.5	7.6
LED	19.4	19.9	19.4	36.2	9.0	8.3

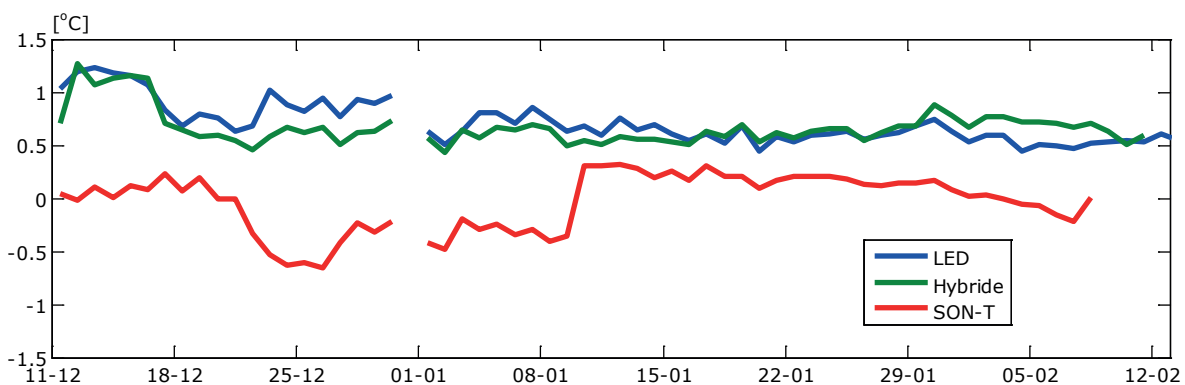
Planttemperatuur



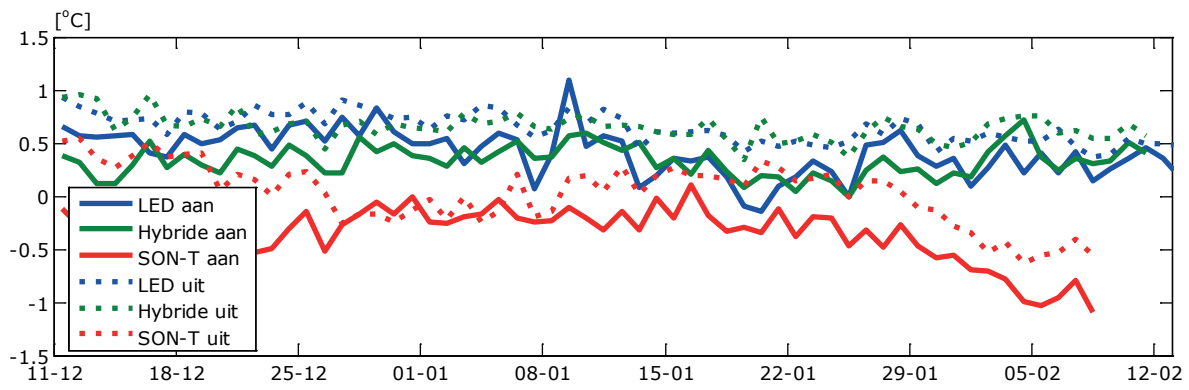
Figuur 23 Cyclisch gemiddelde van de kaslucht- en buis-temperaturen in de korte dag fase van de 3 behandelingen.



Figuur 24 Verschil kas en planttemperatuur in de nacht tussen 5:00 en 08:00 als de lampen aan en de schermen grotendeels gesloten zijn in de korte dag fase van de 3 behandelingen.



Figuur 25 Verschil kas en planttemperatuur in de nacht tussen 0:00 en 04:00 als de lampen uit en de schermen gesloten zijn in de korte dag fase van de 3 behandelingen.



Figuur 26 Verschil kas en planttemperatuur in de namiddagtussen 16:00 en 16:30 als de lampen aan (aan) en tussen 16:30 en 17:00 als de lampen uit zijn (uit) in de korte dag fase van de 3 behandelingen.

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



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

Glastuinbouw Rapport GTB-1341

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

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