



Het Nieuwe Telen bij chrysant

Verkenning van energiebesparingsopties voor de chrysantenteelt

Marcel Raaphorst, Frank Kempkes, René Corsten, Theo Roelofs en Paul de Veld



© 2010 Wageningen, Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO)

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

Uitgevoerd door:

Wageningen UR Glastuinbouw

Adres : Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk
: Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk
Tel. : 0317 - 48 56 06
Fax : 010 - 522 51 93
E-mail : glastuinbouw@wur.nl
Internet : www.glastuinbouw.wur.nl

DLV Plant

Adres : Agro Businesspark 65, Wageningen
: Postbus 7001, 6700 CA Wageningen
Tel. : 0317 - 49 15 78
Fax : 0317 - 46 04 00
E-mail : info@dlvplant.nl
Internet : www.dlvplant.nl

Inhoudsopgave

Samenvatting		5
1	Inleiding	7
	1.1	Probleemstelling 7
	1.2	Doelstelling 8
	1.3	Aanpak 8
2	Bepaling referentieteelt chrysant	9
	2.1	De bedrijfsinrichting en klimaatinstellingen 9
	2.2	Het berekende energieverbruik 11
3	Selectie van maatregelen	13
	3.1	Selectie 13
	3.1.1	Belichting 13
	3.1.2	Temperatuur en isolatie 14
	3.1.3	Vocht 15
	3.1.4	Veredeling 15
	3.1.5	Opweek/beworteling 16
	3.1.6	Plantsturing 16
	3.1.7	Energievoorziening 17
	3.2	Uitwerking van de selectie 17
	3.2.1	Watergift van onderen 17
	3.2.2	Bodembedekking 18
	3.2.3	Inblazen van droge lucht 18
	3.2.4	Alternatieven voor stomen 19
	3.2.5	Schermg gebruik overdag 19
	3.2.6	Minder belichten 20
4	Modelberekeningen	23
	4.1	Besparing op de warmtevraag 23
	4.2	Toelichting bij de cases 24
	4.3	Belichting en productie 26
5	Economische haalbaarheid	29
	5.1	Minder belichten 29
	5.2	Lagere warmtevraag 30
	5.2.1	Verschuiving van kosten door HNT 31
	5.2.2	Gevoeligheid voor energieprijzen 33
	5.3	Discussie 34
6	Conclusies en aanbevelingen	35
	6.1	Conclusies 35
	6.2	Aanbevelingen 36

Referenties		37
Bijlage I	Seizoensafhankelijke instellingen	39
Bijlage II	Warmtebalans en begroting referentieteelt chrysant	41
Bijlage III	Geraadpleegde deskundigen	43
Bijlage IV	Energieberekeningen met Kaspro	45

Samenvatting

Het Nieuwe Telen (HNT) is een veel besproken verzamelaar voor verschillende methoden om energie te besparen in de glastuinbouw. In navolging van onderzoek voor verschillende vruchtgroentegewassen en sierteeltgewassen, is in dit rapport onderzocht welke methoden ook voor de chrysantenteelt interessant zijn. Hierbij is onder andere gebruik gemaakt van een expertpanel en de rekenmodellen Kaspro en QMS.

Uit het rekenmodel Kaspro blijkt de warmtevraag bij chrysant te kunnen worden teruggedrongen van 32,0 naar 12,6 m³/m².jaar door de stooktemperatuur 1°C te verlagen, temperatuurintegratie toe te passen, de minimum buis te vervangen door het inblazen van droge buitenlucht, en een helder extra scherm aan te leggen. Met name de betere vochtbeheersing door lucht in te blazen geeft veel ruimte tot besparing op de warmtevraag. Omdat warmte zeer voordelig kan worden opgewekt bij de productie van elektriciteit met een WKK, is HNT echter niet rendabel en wordt het resultaat ±1 €/m².jaar negatief. Bij een verkoopprijs van elektriciteit van 0,045 €/kWh en een gasprijs van 0,30 €/m³ biedt HNT jaarlijks een positief resultaat van 5 €/m².jaar.

Ook als blijkt dat door een betere vochtbeheersing een betere bloem- en bladkwaliteit kan worden gerealiseerd kan HNT met ingeblazen droge buitenlucht sneller door chrysantentelers worden omarmd.

Overige manieren om te besparen op de warmtevraag zijn:

- o watergift van onderen in plaats van beregening,
- o bodembedekking om de verdamping uit de bodem af te remmen en
- o alternatieven voor stomen.

De elektriciteitsvraag kan vooral worden teruggedrongen door minder te belichten. Minder belichten gaat echter altijd ten koste van de productie. Het economisch rendement van belichten is sterk afhankelijk van de elektriciteitsprijs. Met de huidige prijzen van elektriciteit rond 0,04 €/kWh en chrysanten van rond 0,35 €/tak is belichting rendabel voor de productie die wordt geoogst van periode 10 tot periode 3. In de zomer wordt minder meerproductie uit extra belichting gehaald en zijn bovendien de takprijzen lager. Bij een elektriciteitsprijs van meer dan 0,10 €/kWh is belichting bij de huidige chrysanteprijzen het hele jaar niet meer rendabel en is het voordeliger om in de winter wijder te planten en langer een LD-fase aan te houden. Niet alle rassen die wijder geplant en met een langere LD-fase worden geteeld kunnen echter in de winter dezelfde kwaliteit behalen als belichte gewassen. Voor deze rassen zal belichten ook bij een hogere elektriciteitsprijs rendabel zijn.

Als 50% minder wordt belicht dan zal de warmtevraag bij HNT met 4 m³/m² aardgasequivalenten worden verhoogd van 12,6 naar 16,6 m³/m².

Door iedere afdeling apart te verduisteren kan op jaarbasis 6 kWh/m² worden bespaard als in de zomerperiode tijdens de LD-fase niet wordt verduisterd en dus ook niet hoeft te worden belicht. Als niet wordt verduisterd, krijgt het gewas ook meer PAR dan als met verduistering wordt belicht. Hier tegenover staat wel een extra investering in extra schermgroepen en goed afgedichte tussengevelschermen.

1 Inleiding

In het Versnellingsprogramma implementatie semi-gesloten kassen is als een van de eerste projecten “Richtinggevende beelden voor energiezuinig telen in geconditioneerde kassen” uitgevoerd [Poot *et al.*, 2008]. In dat project is middels desk study een teeltconcept voor tomaat (onbelicht) uitgewerkt, met de volgende kenmerken:

- zelfde productie met de helft van het gebruik van fossiele energie vergeleken met een gangbare teelt, voor tomaat is dat 60 kg met 20 m³ aardasequivalenten (ipv 40) per m² per jaar;
- gebruik van bestaande technieken en bekende regelingen, zodat het concept direct in de praktijk toegepast kan worden;
- maatregelen kunnen stapsgewijs ingevoerd worden.

Elementen uit het opgestelde teeltconcept zijn een andere periode van teeltwisseling, “met de natuur meetelen” (meer stralingsafhankelijk), betere isolatie (meerdere schermen, scherpere schermregeling), betere vochtbeheersing door gecontroleerde toediening van buitenlucht, en toepassing van koeling, warmtepompen en aquifers. De resultaten van de studie zijn onder de noemer “het nieuwe telen” gepubliceerd, en dat heeft de nodige media aandacht gekregen.

Eind 2008 is door de opdrachtgevers van “richtinggevende beelden” besloten om het teeltconcept onder semi-praktijk omstandigheden uit te testen. Dat gebeurt bij het Improvement Centre in Bleiswijk in samenwerking met WUR Glastuinbouw in diverse projecten. Behalve een teeltconcept voor tomaat wordt er ook een teeltconcept voor komkommer getest. Daarnaast wordt “het nieuwe telen” onderzocht voor een aantal sierteeltgewassen: alstroemeria, gerbera en een aantal groene en bloeiende potplanten.

Voor andere gewassen, waaronder chrysant, is door DLV Plant door registratie en analyse van praktijkgegevens en fotosynthesemetingen kennis en ervaring opgedaan over de gewasreacties en mogelijkheden bij chrysant die direct aansluiten bij de denkrichting van “het nieuwe telen”.

1.1 Probleemstelling

De coördinatoren van het energieonderzoek van PT en LNV hebben aan WUR Glastuinbouw en DLV Plant gevraagd om ook voor chrysant gezamenlijk een energiezuinig teeltconcept op te zetten. Chrysant is een belangrijk Nederlands glastuinbouwgewas, maar lastig als het om energiebesparing gaat. Daar zijn een aantal redenen voor:

- In Nederland vindt de professionele, jaarrond teelt van chrysant onder belichting plaats (6000 à 7000 lux, ca 80 - 90 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$). In de lange dag periode van ca. 10 dagen wordt er 20 uur per dag belicht en in de korte dag periode van ca. 50 dagen 11,5 uur. Vrijwel alle bedrijven hebben daarvoor een WKK. De temperatuur wordt tussen de 19 en 20°C gehouden en negatieve DIF wordt toegepast (2°C). CO₂, uit de WKK, wordt tot 900 ppm gedoseerd. De prikkel om energie te besparen via het verlagen van de warmtevraag is door de beschikbaarheid van “restwarmte” uit de WKK nagenoeg afwezig.
- Deze bedrijven zijn continu in productie: elke dag worden er vakken geplant, elke dag zijn er daarom verschillende vakken met lange dag en vakken met korte dag en elke dag wordt er geoogst. Het is daarom planningstechnisch vrijwel onmogelijk om aparte afdelingen te maken voor korte en lange dag, waarvoor toegesneden klimaatinstellingen ingesteld kunnen worden. Kort gezegd komt het erop neer dat het hele bedrijf volgens korte dag verduisterd wordt, waarbij de daglengte in vakken met lange dag met behulp van assimilatielicht verlengd wordt.
- Genetisch is de teeltduur van chrysant vastgelegd in de “reactietijd”: de periode vanaf de start van de korte dag periode tot aan de bloei. Met het huidige assortiment zijn snellere teelten (waardoor de energiemiddelen effectiever worden gebruikt) dus niet mogelijk.
- De plantdichtheid is, door de toepassing van assimilatiebelichting, een stuk hoger dan een aantal jaren geleden, maar verdere intensivering lijkt bij de huidige belichtingsintensiteit niet mogelijk (ook met het oog op een effectiever gebruik van energiemiddelen).

1.2 Doelstelling

Energiezuinige teeltconcepten voor chrysant kunnen als volgt worden ontwikkeld:

1. Uitgaande van de huidige rassen en teeltwijzen, toepassing van bestaande technieken en bekende regelingen.
 - a. Vermindering van de warmtevraag. Aanpak op de manier zoals voor tomaat (en andere niet-belichte gewassen) is gedaan: energiebesparing primair via het verlagen van de warmtevraag, door o.a. meer isoleren, andere vochtbeheersing en betere benutting van zonnewarmte. Voor de grondteelt van chrysant komen daar mogelijk ook energiebesparende alternatieven voor grondstomen bij.
 - b. Vermindering van de elektravraag. Bij chrysant is, naast warmtevraag, licht de belangrijke teeltfactor die veel energie vraagt. De lichtbenutting van het gewas (of per m²) kan variëren per gewasstadium, maar ook over de dag heen. Andere teeltfactoren als vochtdeficiet en CO₂ spelen mede een rol. Uitgaande van zoveel mogelijk gebruik maken van het zonlicht en meer schakelen met belichtingsniveaus van de belichting (bv 3 x 30 μmol ipv altijd 1 x 90 μmol) wordt het totale belichtingsniveau (0 – 90 μmol) afgestemd op de lichtbenutting van het gewas. Dit zou betekenen dat nog meer gebruik gemaakt kan worden van het natuurlijke licht. Door de aansturing van de belichting af te stemmen op de licht efficiëntie van het gewas zal substantieel energie bespaard worden. Mogelijk kan door de komst van LED als stuurlicht dit verder geoptimaliseerd worden door knopinitiatie en –aansluiting te verkrijgen in de lange dag.
2. Strategisch ontwerp, concept voor de meer lange termijn: min of meer vanaf ‘scratch’ ontwerpen van gewas en teeltsysteem, dat efficiënter met natuurlijke energiebron (zonlicht) omgaat, is minder energie nodig om dezelfde productie en kwaliteit te halen: in theorie zou via dit spoor substantiële energie bespaard kunnen worden.

Technische doelstellingen

Ontwerp van twee concepten voor de teelt van chrysanten. Als eerste een korte termijn concept met bestaande technieken en regelingen. Onderdelen zijn gericht op besparing op de warmtebehoefte, op het zoveel mogelijk benutten van natuurlijk licht, en op het kunstmatig belichten afhankelijk van de lichtbenuttingspotentie van het gewas. Ten tweede een lange termijn concept waarin meer fundamenteel naar het gewas en het teeltsysteem gekeken wordt, dat tot meer radicaal andere systemen kan leiden. Waaronder een doorkijk naar de mogelijkheden die LED verlichting kan bieden als stuurlicht waarmee de daglengtes aangepast kunnen worden.

Om te komen tot een bedrijfseconomisch strategisch ontwerp zal een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd worden op de diverse onderdelen die ingepast worden in de concepten.

Energie doelstellingen

Het eerste teeltconcept beoogt een 30 tot 40% lagere energiebehoefte van de teelt (warmte + elektra).

Het tweede teeltconcept beoogt een 50 tot 75% lagere energiebehoefte (warmte + elektra).

Als referentie wordt de in KWIN 2008 beschreven chrysantenteelt genomen [Vermeulen, 2008].

Nevendoelstellingen

Het doordenken van de teeltconcepten scherpt de ideeën omtrent Het Nieuwe Telen verder aan. Ook andere (belichte) gewassen kunnen hiermee hun voordeel doen.

1.3 Aanpak

In het project worden twee teeltconcepten ontworpen en doorgerekend op energiebesparing. Het ontwerpen gebeurt door middel van brainstormsessies met experts op het gebied van klimaat, teelttechniek, chrysantenteelt en plantenfysiologie. De energieberekeningen worden met Kaspro en QMS uitgevoerd; lichtbenutting, gewasgroei en –ontwikkeling met gewasgroeimodellen. Voor alle scenario's worden bedrijfseconomische berekeningen gemaakt met QMS.

Chrysanten worden dagelijks geplant, dagelijks gaan vakken de korte dag in en dagelijks wordt geoogst. Om de complexiteit van een chrysantenteeltbedrijf behapbaar te maken, wordt in de scenario's gewerkt met 13 perioden van 4 weken per periode.

2 Bepaling referentieteelt chrysant

Om de energiebesparing van de teeltconcept te kunnen berekenen moet het energieverbruik vergeleken kunnen worden met een referentiesituatie. Hiervoor is een bedrijfssituatie gedefinieerd, die beschouwd kan worden als de 'praktijksituatie anno 2010'. Van deze referentiesituatie is zowel met de energiemodule van QMS chrysant als met Kaspro berekend wat het energieverbruik in deze situatie is.

2.1 De bedrijfsinrichting en klimaatinstellingen

De bedrijfsinrichting en de klimaatinstellingen van het referentiebedrijf chrysant zijn weergegeven in Tabel 1. en Tabel 2. De seizoensafhankelijke klimaatinstellingen zijn geplaatst in Bijlage I. Er zijn enkele kleine verschillen geweest in de uitgangspunten bij QMS en Kaspro. Deze zijn benoemd in de voetnoten.

Tabel 1. Bedrijfsinrichting van het referentiebedrijf

Afmetingen	
oppervlakte glas	41.280 m ²
breedte X lengte	215 x 192 m
Goothoogte	6.0 m
Kapbreedte	9.60 m
Tralieafstand	5.0 m
Verwarming	
Ondernet	12 x 40 ¹ mm per 9,60 m
Bovennet	4 x 57mm per 9,60 m
Doek	XLS Obscura
Assimilatiebelichting	
intensiteit	111 $\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$
aantal lampen	650 lampen van 1000 Watt
opgenomen vermogen	682 kW/ha = 68.2 W/m ²
WKK	
elektrisch vermogen	2000 kW = 484 kW/ha
gasverbruik per uur	538 m ³ /uur = 130 m ³ /ha.uur
CO ₂	100 kg/ha.uur CO ₂ zuiver of 234 kg/ha.uur met rookgasreiniger
Buffergrootte	825 m ³ = 200 m ³ /ha

1 Bij Kaspro is de buisdiameter van het ondernet gesteld op 38 ipv 40 mm. Hierdoor zal voor het ondernet bij Kaspro een 5% lagere capaciteit worden berekend dan bij QMS.

Tabel 2. Klimaatinstellingen van het referentiebedrijf

Verwarming	
Stooktemperatuur overdag	18°C
Stooktemperatuur 's nachts	20°C
Primair net	onder
Min/max buistemperatuur onder	35-36°C
Traject afbouw min buistemperatuur onder	350-450 W/m ² ²
Min/max buistemperatuur boven	40-70°C
Traject afbouw min buistemperatuur boven	200-300 W/m ²
Ventilatie	
Dode zone ventilatietemperatuur	0,5°C
Stralingsverhoging ventilatietemperatuur jong gewas	4°C
Stralingsverhoging ventilatietemperatuur oud gewas	0-1°C
Traject stralingsverhoging ventilatietemperatuur	150-300 W/m ²
Minimum raamstand luwe zijde	5%
Traject buitentemp. op afbouw minimum raamstand luwe zijde	11-6°C
CO ₂	
Streefwaarde CO ₂	1000 ppm
Starttijdstip doseren	9:00 uur
Eindtijdstip doseren (uren voor de start van de kortedag)	1 uur
Schermen	
Schermkier tijdens KD (belichting uit)	0-5%
Schermkier tijdens KD (belichting aan)	2-10% ³
Traject buitentemp. op afbouw schermkier KD	10-16°C
Belichting	
Belichting uit bij straling van	200 W/m ²
Belichting uit na stralingssom van	250 J/cm ² .dag

2 Bij Kaspro worden beide minimumbuisinstellingen afgebouwd in het stralingstraject van 200-400 W/m²

3 Bij Kaspro wordt alleen een schermkier getrokken (max 10%) als de minimumbuis een te hoge kasttemperatuur (3°C boven stooktemperatuur) realiseert.

2.2 Het berekende energieverbruik

QMS en Kaspro hebben aan de hand van de bedrijfsinrichting en instellingen genoemd in 2.1 een berekening gemaakt van het energieverbruik. Bij QMS is ervan uitgegaan dat de WKK kan worden ingezet op warmtevraag, terwijl Kaspro de WKK alleen in bedrijf stelt tijdens belichting. Dit verschil heeft verder geen invloed op de berekende warmtevraag en belichtingsvraag, maar het laat wel zien dat de WKK in de praktijk vaak wordt ingezet om elektriciteit te verkopen aan het net. Een samenvatting van de resultaten is weergegeven in Tabel 3. In Bijlage II staan de gedetailleerde resultaten van de doorrekening door QMS van het energieverbruik in de referentiesituatie weergegeven. In Bijlage IV staan de uitgebreide berekeningen met Kaspro.

Uit de berekeningen blijkt dat zowel de belichtingsvraag als de warmtevraag tussen de twee modellen verschilt ondanks de gelijke instellingen en bedrijfsuitrusting. Zo komt Kaspro op 136 kWh/m² aan elektriciteitsvraag voor belichting terwijl QMS op 117 kWh/m² uitkomt. Aangezien QMS de berekeningen heeft gebaseerd op praktijksituaties, terwijl Kaspro de berekeningen baseert op fysieke grootheden, lijkt het verschil in berekeningen te kunnen worden verklaard doordat in de praktijk minder vaak wordt belicht dan met de gestelde instellingen mag worden verwacht.

Kaspro komt ook op een hoger warmteverbruik dan QMS (32 tov 30,3 m³/m².uur aan aardgasequivalenten). Mogelijk is de watertemperatuur die gehanteerd wordt voor de minimumbuis in de praktijk iets lager dan verondersteld volgens de instellingen van Tabel 2.

Tabel 3. *Energieverbruik in de referentiesituatie, berekend met QMS en met Kaspro*

	eenheid	QMS	Kaspro
Draaiuren WKK	uur/jaar	4500	2000
Uren belichting	uur/jaar	1720	2000
Gasverbruik WKK	m ³ /m ² .jaar	59	26,1
Gasverbruik ketel (excl stomen)	m ³ /m ² .jaar	3	19,4
Elektra productie WKK	kWh/m ² .jaar	218	96
Elektra inkoop	kWh/m ² .jaar	59	47
Elektra levering aan net	kWh/m ² .jaar	153	0
Elektra voor belichting	kWh/m ² .jaar	117	136
Elektra voor bedrijf	kWh/m ² .jaar	7	7
Warmtevraag	m ³ /m ² .jaar	30,3	32,0

3 Selectie van maatregelen

Aan het begin van het project is een lijst van mogelijke onderdelen van de teeltconcepten opgesteld. Van alle onderdelen is vervolgens door middel van expertopinie en modelberekeningen de potentiële bijdrage aan de energiebesparing berekend. Aan de hand hiervan wordt aangegeven welke onderdelen het meest bijdragen aan een bedrijfseconomisch perspectiefvol concept.

3.1 Selectie

Een lange lijst met mogelijke maatregelen die in de voorfase van dit project genoemd zijn voor een chrysantenteelt met minder energieverbruik (o) is gesorteerd in categorieën. Een expertpanel van onderzoekers en voorlichters (zie Bijlage III) heeft hieruit een selectie (+/-) gemaakt en waar mogelijk extra maatregelen toegevoegd (+). Voor zover de geselecteerde maatregelen kunnen worden doorgerekend met modellen zal dit besproken worden in hoofdstuk 4. De overige geselecteerde maatregelen krijgen alleen een kwalitatieve aanbeveling.

3.1.1 Belichting

Genoemde maatregelen

- o Belichtingsniveau's schakelen op lichtbenuttingspotentie van het gewas. Om op korte termijn tot een besparing van het energieverbruik te komen is het essentieel dat er minder belichtingsuren worden gemaakt. Bij 90 μmol kunnen kiezen voor 4 opties qua lichtniveau (0, 30, 60 en 90 μmol). Vervolgens gericht kijken naar momenten in het jaar, in de teelt en in het etmaal wanneer met een lagere lichtniveau kan worden volstaan. Dit geeft ruimte voor minder warmteoverschotten (want minder belichten) en daardoor ruimte voor energiebesparende acties (schermdoek langer dicht, 2e doek etc.).
- o LED belichting. Mogelijkheden voor zowel assimilatiebelichting als voor stuurlicht. Mogelijk kan met LED's als stuurlicht knopinitiatie en -aanleg verkregen worden in de lange dag.

Selectie maatregelen door expertpanel

- De LED-belichting is een optie die bij de chrysantenteelt alleen in klimaatkamers is uitgetoetst [Meinen *et al.*, 2009]. Praktijkonderzoek is vooral op tomaat gericht geweest [Nederhoff *et al.*, 2010]. Resultaten van deze onderzoeken zijn niet positief genoeg om op korte termijn te verwachten dat LED in de chrysantenteelt wordt ingevoerd. Op langere termijn zal de LED-lamp veel efficiënter en voordeliger in de aanschaf moeten zijn dan nu om rendabel toegepast te kunnen worden voor assimilatiebelichting. Pas als elektriciteit erg duur wordt en assimilatiebelichting niet meer rendabel zou zijn, dan blijft stuurlicht belangrijk en kan LED hiervoor een energiezuinige toepassing zijn.
- + Belichting verhoogt op jaarbasis het energieverbruik per tak. Door minder te belichten zal de energie-efficiëntie van de chrysant hoger worden. Het expertpanel verwacht dat minder belichten door telers niet snel zal worden geaccepteerd omdat belichting bij de huidige elektriciteitsprijzen voldoende opbrengstverhoging geeft. Wel kan een economische gevoeligheidsanalyse aangeven onder welke omstandigheden (bijv. hoge energieprijzen, lage takprijzen) minder belichten wel perspectieven biedt. Ook is het interessant om te onderzoeken welke perioden het eerst in aanmerking komen voor minder belichten. Zo valt te denken aan teeltfasen met een lagere lichtbenuttingsefficiëntie (bijv. vlak voor de korte-dag-fase of de laatste weken voor de oogst) of aan perioden met een hoge warmtevraag (stoken met de lampen).

3.1.2 Temperatuur en isolatie

Genoemde maatregelen

- o Stralingsafhankelijker telen. In de lange dag periode kan er meer stralingafhankelijk geteeld worden (temperatuursom en lichtsom koppelen).
- o Temperatuur integratie in het etmaal en in de week.
- o Andere schermtypen, foliescherm overdag en 's nachts: betere isolatie en overdag toch straling toelaten.
- o Dubbel scherm. Naast het verduisteringsdoek ook nog een (lichtdoorlatend) energiedoek om bij koud weer de hele dag dicht te kunnen blijven terwijl toch het hele lightspectrum natuurlijk licht wordt benut.
- o Andere schermstrategieën – bij koud weer het doek langer dicht laten.
- o Andere kasdekmaterialen (bijvoorbeeld diffuus licht).

Selectie maatregelen door expertpanel

- + De maatregelen stralingsafhankelijker telen en meerdaagse temperatuurintegratie liggen dicht tegen elkaar aan. Op dagen met een hoge stralingsom is het door de stralingsenergie immers eenvoudiger om een hoge lichtsom aan te houden. Voorgesteld wordt om door te rekenen hoeveel energie kan worden bespaard met meerdaagse temperatuurintegratie met een bandbreedte van 3°C.
- + In de chrysantenteelt is verduistering het primaire doel van het aanwezige schermdoek. De gebruikte schermtypen zijn vochtdoorlatend. De vochtdoorlatendheid wordt minder relevant als het vocht onder het scherm kan worden weggenomen door droge buitenlucht in te blazen. Hierdoor worden betere isolerende schermen mogelijk [de Zwart *et al.*, 2010]. Om ook overdag te kunnen schermen zou ook een extra lichtdoorlatend schermdoek kunnen worden gebruikt
- + In de praktijk wordt bij koud weer al vaker het verduisteringsscherm ook overdag dicht gelaten. Het lichtverlies dat hierbij optreedt zal leiden tot enige productiederving, tenzij het lichtverlies wordt gecompenseerd door meer belichting. De kosten van productiederving of de extra belichtingskosten mogen dan niet hoger zijn dan de besparingen op het warmteverbruik. Bij een helder schermdoek is het lichtverlies uiteraard veel lager dan bij een verduisteringsdoek. Van het schermgebruik overdag wordt een aparte berekening uitgevoerd in paragraaf 3.2.5.
- + Een dubbel kasdek kan veel energie besparen. Emissiecoatings kunnen de besparing verder verhogen. Anti-reflectiecoatings moeten dan het lichtverlies tgv. het dubbele dek beperken.
- Een kasdek dat het licht diffuus maakt kan (in ieder geval in de zomerperiode) ervoor zorgen dat het licht dieper in het gewas doordringt. Dit kan meer productie en meer gelijkheid van het gewas geven. Het heeft echter geen invloed op het energieverbruik en wordt hier daarom verder niet meegenomen.

Extra maatregel genoemd door het expertpanel

- + Lagere kastemperatuur aanhouden. Door de beschikbaarheid van goedkope warmte vanuit de WKK is de afgelopen jaren de teelttemperatuur steeds verdere opgelopen. Het is de vraag of dit bij alle cultivars nodig is om een hoge productie te verkrijgen. Het verdient aanbeveling om te onderzoeken of de gehanteerde hoge kastemperaturen altijd nodig zijn.

3.1.3 Vocht

Genoemde maatregelen

- o Optimaliseren microklimaat in het gewas met behulp van conditioneringstechnieken: streef naar open huidmondjes als er licht en CO₂ is.
- o Luchtbeweging. Schimmelziekten (Japanse roest, Botrytis) vormen in de huidige praktijk geen grote problemen, maar dat komt mede door de hoge energie input. Door verlaging van deze input kunnen er echter wel weer problemen ontstaan. Dit moet voorkomen worden: bijvoorbeeld door de inzet van luchtbehandelingstechnieken die momenteel opgang doen (o.a. verticale ventilatoren, buitenlucht inblazen). Dit moet ruimte geven om de minimum buis te beperken.
- o Minder water. Voor de uniformiteit wordt er een overmaat aan water gegeven. Er is veel energie nodig om dit af te voeren. Oplossing zoeken in een ander watergeefstelsel, met behoud van uniformiteit maar met veel minder water in de kas. Voorkom tevens het nat worden van het gewas, want dat legt de verdamping (en fotosynthese) stil.
- o Grondbedekking. Beperkt verdamping van de ondergrond, en reflecteert licht dat op de grond valt. In het verleden is er gewerkt met styromull, maar dat gaf petrochemische vervuiling in de grond. Mogelijk kunnen er biologisch afbreekbare alternatieven worden gebruikt.

Selectie maatregelen door expertpanel

- Een hoge huidmondjesweerstand wordt door het expertpanel niet gezien als een knelpunt voor de groei van chrysanten in Nederland. Verneveling zal hooguit kunnen besparen op de CO₂-behoefte, doordat de ramen meer gesloten kunnen blijven, maar niet op het energieverbruik. Verneveling wordt daarom verder niet in ogenschouw genomen.
- Minder water geven zal nauwelijks leiden tot minder energieverbruik. Het opwarmen van bijvoorbeeld 100 mm gietwater per jaar met 10°C kost 4,2 MJ/m², ofwel 0,14 m³/m² aan aardgasequivalenten. Een groot deel van deze warmte wordt al door de zon geleverd.
- + Ook voor bodembedekking is moeilijk te berekenen wat het effect is op het energieverbruik.
- + Luchtbeweging kan voor meerdere doelen worden ingezet. Het rondblazen van kaslucht kan met goed geplaatste ventilatoren of nivolutoren helpen met het egaliseren van de temperatuurverdeling. Het inblazen van opgewarmde buitenlucht kan daarnaast ook de luchtvochtigheid in de kas beheersbaar maken. Hierdoor wordt de inzet van extra schermdoeken en het wegnemen van een minimum buis beter mogelijk. In paragraaf 3.2.3 wordt hierop dieper ingegaan.

Extra maatregel genoemd door het expertpanel

- + Aangenomen wordt dat het opdrogen van het gewas op jaarbasis meer energie kost en dat het onderdoor water geven wel een perspectievolle optie is.

3.1.4 Veredeling

Genoemde maatregelen

- o Rassen die temperatuur en lichttolerant zijn. Temperatuur tolerante rassen zijn er al, in het buitenland wordt hier volop mee gewerkt. Voor NL zijn vooral lichttolerante rassen van belang, dus rassen die met minder assimilatie licht in de winter toe kunnen, waardoor via dit pad uiteindelijk minder energie wordt toegevoerd / verbruikt.
- o Rassen met meer groei. De 1e aanzet is gegeven (bijv. 'Whistler' van Deliflor en 'Major' van Dekker). Commercieel geslaagde introducties heeft dit nog niet opgeleverd, maar we zitten er dicht bij. Meer groei, is meer takken per m², is minder energie per tak.
- o Uit onderzoek is gebleken dat verschillende rassen heel anders reageren op hogere CO₂ niveaus. Dit lijkt onder meer door het aantal huidmondjes per blad te komen. Door veredeling en selectie kunnen lichtefficiëntere rassen gemaakt worden.

Selectie maatregelen door expertpanel

- De veredeling werkt al jaren aan meer productieve rassen met een hoge gebruikswaarde. Een snelle groei, ook bij minder licht, is hier een onderdeel van. Het expertpanel verwacht dat deze ontwikkeling zich voort zal zetten.

3.1.5 Opkweek/beworteling

Genoemde maatregelen

- o Teeltduurverkorting. In het project Fleurago is aangetoond dat onder de juiste omstandigheden de fase van beworteling gelijk op kan gaan met de eerste bovengrondse gewasgroei. Dat is nu in de praktijk uit elkaar getrokken. Samenvoegen kan een paar dagen winst opleveren. In de praktijk zijn deze twee fasen over twee bedrijven verdeeld (opkweek en teelt). Omdat de opkweekfase als zelfstandige fase verdwijnt, zal de teeltduur op het teeltbedrijf zelf niet korter worden, en daardoor zal ook de energie efficiency op het teeltbedrijf zelf niet veranderen.
- o Direct Sticking (= het bewortelen op het productiebedrijf zelf). Dit levert veel minder transportbewegingen met bakken potgrond via wegtransport, betere energiebenutting van de geproduceerde warmte op het productiebedrijf en mogelijk betere ruimtebenutting.
- o Grotere stek: Stek wordt in het buitenland onder veel hogere zonlichtniveaus gekweekt. Grotere stek zal meer assimilaten bevatten voor de latere teelt.
- o Andere opkweek. Bewortelen en lange dag in zelfde fase kan betekenen dat de planten eerder de korte dag in kunnen.
- o Verlengde opkweek, waardoor het mogelijk wordt om plantmateriaal langer in een hogere plantdichtheid te houden. Hier zijn in het verleden al ervaringen mee opgedaan, gelijkheid liet toen te wensen over. Als we beter grip krijgen op dit proces biedt het kansen.
- o Ander teeltsysteem: kleine planten in het begin van de teelt in veel hogere dichtheden telen, betekent sterke efficiencyverhoging van het lichtgebruik. Hiervoor zal chrysant uit de grond van de kas geteeld moeten gaan worden. Een mobiel teeltsysteem maakt compartimentering mogelijk, waardoor er per teeltfase efficiëntere kasklimaatregelingen toegepast kunnen worden.

Selectie maatregelen door expertpanel

- Aanpassingen aan de opkweek hebben nauwelijks invloed op het kasklimaat en kan daardoor los worden bekeken van het energieverbruik per m². Hooguit zal het elektriciteitsverbruik voor belichting minder kunnen worden omdat bovengenoemde maatregelen vooral de langer belichte lange-dag-periode versnellen of op een kleiner oppervlak mogelijk maken. De maatregelen zijn dus vooral gericht op een hogere productie per m² per jaar en er zal hooguit een lichte verschuiving plaatsvinden naar een groter aandeel korte-dag-teelt in een chrysantenbedrijf.

3.1.6 Plantsturing

Genoemde maatregelen

- o Ontwerp van een energiezuinige plantopbouw. Chrysant heeft nu een LAI van >7. Er is dus veel blad dat niet of nauwelijks bijdraagt aan de fotosynthese, maar wel onderhoudsademhaling behoeft. Kan de plant, dan wel het teeltsysteem, dusdanig herontworpen worden dat alleen boven in de plant bladeren komen dan wel blijven? Denk aan een plant met alleen blad bovenin met een LAI van ca 3,5. Heeft gevolgen voor de visuele kwaliteit.
- o De korte dag periode bestaat uit twee fasen: in de eerste wordt het aantal bloemen bepaald, in de ander de kwaliteit per bloem. Indien de markt waarvoor geteeld wordt het toelaat, kunnen concessies gedaan worden aan het aantal dan wel de kwaliteit van de individuele bloemen per tak.
- o Remobiliseren van assimilaten. In de lange dag worden assimilaten in de stengel opgeslagen. Deze worden in de korte dag weer deels uit de stengels getrokken: de stengels worden hol. Kunnen we beter grip krijgen op dit proces, waardoor we de plant slimmer gaan gebruiken als opslagmedium van assimilaten?

Selectie maatregelen door expertpanel

- De vorm van de plant wordt grotendeels door de markt bepaald. De markt in de Verenigde Staten is bijvoorbeeld anders dan in Europa en daar wordt dan ook een andere vorm gegeven aan de chrysantentak. Verandering in de takvorm zal daarom meer marktgedreven moeten zijn dan uit het oogpunt van energiebesparing en productieverhoging.
- Het remobiliseren van assimilaten zit al verweven in de maatregelen Temperatuurintegratie en Stralingsafhankelijk telen (zie 3.1.2). Hier wordt namelijk ook gebruik gemaakt van het bufferend vermogen van de plant.

3.1.7 Energievoorziening

Genoemde maatregelen

- o Lampkoeling: nuttig in sterk geïsoleerde kassen (te hoge temperatuur levert bloeivertraging op), levert tevens hoogwaardige warmte op.
- o (Semi-)Gesloten kas. Ook voor chrysant moeten hier mogelijkheden liggen. Pré's voor chrysant zijn: chrysant is stressbestendig, bij hoge instraling, hoge verdamping, chrysant maakt goed gebruik van extra CO₂ en licht, en er komen in chrysant bloemafwijkingen voor door hoge temperaturen in de zomer.
- o Vernieuwde WKK-technieken met een hogere elektra opbrengst uit een m³ aardgas.
- o Ca 10% van de energie gaat in het grondstomen zitten. Op dit moment lopen diverse oriënterende initiatieven om te kijken wat er mogelijk is om de kosten en het energieverbruik van grondstomen te beperken (stomen met de WKK, grondontsmetting met microgolven, organische stof inbrengen in plaats van stomen, Triamum etc.)

Selectie maatregelen door expertpanel

- Lampkoeling levert voor SON-T lampen een lagere lichtefficiëntie en is daarom af te raden. Bij LED-lampen wordt de efficiëntie door koeling verhoogd, maar daarbij komt geen hoogwaardige warmte vrij. Dit onderdeel zal daarom niet worden meegenomen.
- Conditioneren is volgens onderzoek niet interessant voor de chrysantenteelt [Raaphorst *et al.*, 2006; Raaphorst *et al.*, 2007] omdat de productieverhoging door koeling in de zomer te weinig oplevert en omdat de warmte-oogst goedkoper kan worden geleverd met een WKK.
- Een betere WKK is niet specifiek voor de chrysantenteelt interessant en staat los van de warmtevraag.
- + Alternatieven voor stomen zouden zeer welkom zijn. Aangezien de marge tussen verkoopprijs en kostprijs in de zomer zeer laag is, moeten daar mogelijkheden liggen om met alternatieven, die wat langer duren, de grond te ontsmetten. Stomen staat los van het energieverbruik in de rest van de teelt en zal hier ook apart worden behandeld.

3.2 Uitwerking van de selectie

Van de in de vorige paragraaf geselecteerde maatregelen worden hier een aantal apart behandeld. De maatregelen die met Kaspro en QMS kunnen worden berekend zullen worden behandeld in hoofdstuk 4.

3.2.1 Watergift van onderen

Watergift van onderen heeft als belangrijkste voordeel dat het gewas droog blijft. Bij een berekend gewas met een LAI van 4 blijft ongeveer 0,6 l/m² water aan de bladeren hangen (dit is gemeten bij een kleine steekproef van 43 bladeren met het ras 'Euro'), dan kost het verdampen ervan 0,6*2,4=1,44 MJ/m². Op jaarbasis betekent dit bij een gietfrequentie van een keer per 5 dagen een warmtebehoefte van 112 MJ/m², ofwel bijna 4 m³/m² aan aardgasequivalenten. Daar komt nog bij dat de efficiëntie van ontvochtiging nooit 100% is. Bij een efficiëntie van 50% zou de warmtebehoefte voor het verdampen van aanhangend water neerkomen op 8 m³/m². In de praktijk zal de energiebesparing door onderdoor water geven veel minder groot zijn dan deze 8 m³/m² omdat een groot deel van de verdampingswarmte wordt geleverd door de zon, welke warmte bij een droog gewas in de meeste gevallen zou worden afgelucht. Bovendien zal bij een nat gewas de directe gewasverdamping kleiner worden. Omdat niet precies bekend is wat de invloed van een nat gewas is op de gewasverdamping, zal deze besparingsoptie niet met Kaspro worden berekend. De optie van onderdoor water geven wordt in dit rapport daarom niet verder doorgerekend, maar wel als energiebesparende optie worden aanbevolen. In plaats van het onderdoor watergeven kan ook het gebruik van uitvloeier (bijv. Agral, Motto of Silwet) op het einde van de gewasberegening de hoeveelheid aanhangend water enigszins beperken.

Discussie: Omdat bij een nat gewas de directe gewasverdamping wordt beperkt, kan de plant dan minder nutriënten uit de bodem opnemen. Als dit in de praktijk geen gebreksverschijnselen blijkt te geven, zou een hoge gewasverdamping misschien niet nodig zijn voor voldoende wortelopname van nutriënten. tenzij bij gewasberegening veel opname van nutriënten via het blad (bladbemesting) plaatsvindt.

Een bijkomend voordeel van de watergift onder het gewas is dat het gewas minder ondersteuning behoeft en het gas minder hoog hoeft te worden opgehaald. Dit kan voordelen bieden tijdens de oogst.

Nadelen van watergift van onderen zijn de waterverdeling en de arbeidsbehoefte. De tot nog toe bekende systemen met watergift van onderen bleken namelijk een onvoldoende waterverdeling te geven. En aangezien bij iedere teeltwisseling (iedere 8 tot 10 weken) het onderdoorsysteem moet worden opgeruimd, kan het beschadigen en extra arbeid vragen.

3.2.2 Bodembedekking

De verdamping uit de bodem is sterk afhankelijk van de oprachtigheid van de grond, de gietfrequentie, de hoogte van het gewas, de hoogte van de gewasverwarming, de luchtvochtigheid en de mate van luchtbeweging bij de bodem. Het materiaal waarmee de bodem wordt bedekt zal bepalend zijn voor de beperking van deze bodemverdamping. De meeste beperking mag worden verwacht van een materiaal dat het gietwater doorlaat, en dat eventuele luchtbeweging langs de bodem afremt. Van bodembedekking mag worden verwacht dat het zowel licht reflecteert als de luchtvochtigheid in de kas verlaagt. Bij het jonge gewas zal dit effect het grootst zijn, want daar is meer luchtbeweging langs de bodem en kan de bodem meer licht reflecteren dan bij het volgroeide gewas. Bovendien ligt de gewasverwarming bij een jong gewas dichter bij de grond.

Geforceerde luchtbeweging in het gewas door de minimum buis of door het inblazen van lucht (zie 3.2.3) zal de verdamping vanuit de bodem kunnen versterken.

3.2.3 Inblazen van droge lucht

Het inblazen van droge lucht is vaak een efficiëntere manier van ontvochtigen dan het afvoeren van vocht door condensatie.

Voorbeeld: Kaslucht van 20°C en een RV van 90% bevat 15,6 g vocht per m³. Bij afkoeling tegen een koud oppervlak (bijvoorbeeld het kasdek) tot 15°C condenseert er 2,7 g/m³. Om deze hoeveelheid vocht af te voeren met buitenlucht van 15°C en 90% RV is slechts 0,7 m³ buitenlucht nodig. Er hoeft met deze buitenlucht dus 30% minder lucht te worden opgewarmd van 15°C naar 20°C. Dit effect wordt nog groter als de buitenlucht droger is dan 90% of als het koude oppervlak minder koud is dan 15°C.

Een tweede en misschien wel belangrijker effect van het inblazen van droge lucht is, dat het de luchtvochtigheid veel nauwkeuriger kan beheersen dan de raamregeling of de schermkierregeling in combinatie met een minimumbuisregeling. Het wegnemen van een minimumbuis (=inzet van de verwarming terwijl de temperatuur voldoende hoog is), kan veel energie besparen. Dit wordt in paragraaf 4.2 gekwantificeerd.

Over de manier waarop buitenlucht zou moeten worden ingeblazen is nog veel discussie. De eenvoudigste manier is het actief inblazen van buitenlucht door (kieren in) het scherm, dat via andere ventilatoren kan worden verdeeld door de kas. Een dergelijk systeem met nivolutoren is al eens uitgetoet bij *Matricaria* [Bontsema *et al.*, 2009]. Daar bleek weliswaar dat energiezuinig kon worden ontvochtigd, maar dat de droge lucht nauwelijks in het gewas doordringt. Omdat het *matricariagewas* vooral onderin het gewas veel ontvochtiging vraagt worden nu ook proeven gedaan met luchtslangen (CO₂-darmen) in het gewas. Het is nog niet duidelijk in hoeverre de ontvochtiging ook bij chrysant onderin moet plaatsvinden, of dat kan worden volstaan met droge lucht over het gewas uitblazen.

Discussie: Om met gebruikelijke CO₂-darmen (± 7 cm diameter) van 100 meter lang lucht tussen het gewas te blazen, zijn veel (±12/bed) darmen met een hoge overdruk (± 700 Pa) nodig om ook bij een hogere buitentemperatuur (10°C) voldoende buitenlucht (4 m³/m²) in te blazen (info: Van Dijk Heating B.V. te Bunnik). Hoewel deze hoge druk in combinatie met zo veel darmen in de praktijk moeilijk werkbaar is, moet worden onderzocht of een kleinere installatie in het gewas met aanvulling van buitenlucht van boven het gewas, de luchtvochtigheid ook goed kan beheersen.

3.2.4 Alternatieven voor stomen

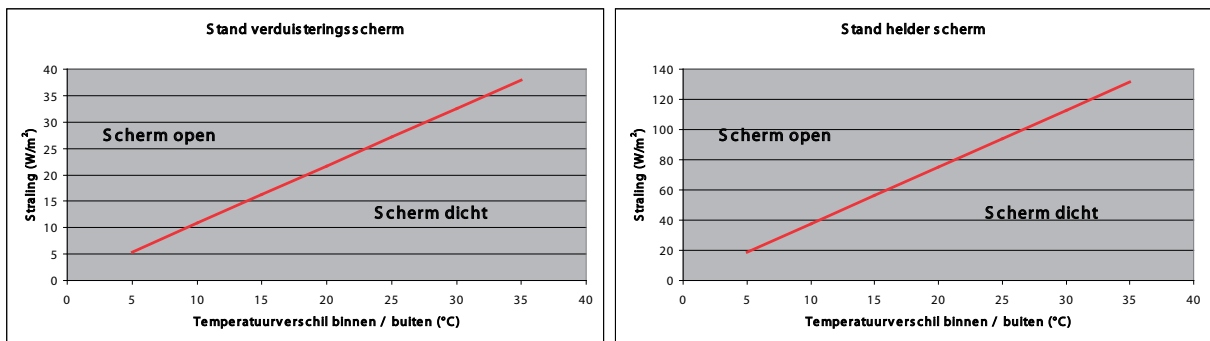
Bij chrysant wordt de grond vrijwel jaarlijks gestoomd voor de onderdrukking van onder andere wortelknobbelaaltjes (*Meloidogyne javanica*), verwelkingsziekte (*Verticillium* spp. en *Fusarium oxysporum*), wortelrot (*Pythium* spp.), wortel-duizendpoot, onkruid en voor de vernietiging van de op de grond aanwezige poppen en eieren van insecten. Bovendien wordt aan stomen een groeistimulans voor de teelt na de stoombeurt toegekend. De warmte die nodig is voor stomen is hoogwaardig en kan nauwelijks worden betrokken uit een WKK, een warmtepomp of aardwarmte. Het gaat om jaarlijks ongeveer 3 m³/m² aardgasequivalenten. Er zijn vele alternatieven voor stomen [Runia *et al.*, 2006].

1. Teelt uit de grond. Hierdoor wordt het te ontsmetten volume zeer beperkt. Hoewel veel pogingen zijn gedaan om de chrysantenteelt uit de grond te krijgen, is hiervoor nog geen economisch rendabel systeem ontworpen.
2. Cultiviet en agritron: Deze alternatieven gebruiken respectievelijk hetelucht en microgolven (straling) als energiedrager. Wellicht kan de energie hier efficiënter worden aangewend dan bij stomen. In beide gevallen is een droge grond bevorderlijk voor de efficiëntie van de systemen. Praktijktoeepassingen zijn echter nog niet bekend bij chrysant.
3. Chemische ontsmetting: Voor chrysant zijn enkele chemische middelen toegelaten tegen wortelrot, onkruid en insecten.
4. Biologische ontsmetting. Meerdere manieren van biologische ontsmetting zijn bekend.
 - a. Inundatie (het tijdelijk onder water laten lopen van de grond) is minder interessant in verband met het verlies aan bodemstructuur en de grotere emissies van drainwater.
 - b. Solarisatie (opwarmen door de zon) is minder geschikt voor gematigde klimaten.
 - c. Anaërobie (gemakkelijk afbreekbaar plantmateriaal wordt in de grond verwerkt en afgesloten met plastic).
 - d. Biofumigatie (als anaërobie, maar dan met plantmateriaal dat bij het afbreken giftige stoffen afgeeft). Dit wordt ook wel "bodem resetten" genoemd.

Van de alternatieven lijkt de biologische ontsmetting (anaërobie of biofumigatie) het meest voor de hand te liggen. Nadeel is de tijd die nodig is voor de ontsmetting. Terwijl stomen een dag tijd kost, zal het bodem resetten afhankelijk van de temperatuur 1,5 tot 3 weken nodig hebben (resultaten onderzoek project Effectieve gewasbescherming in Substraatbedden [van der Wurff *et al.*, 2010]). De maand mei is economisch gezien de meest geschikte maand om te beginnen met de biologische grondontsmetting, want het gat in de productie zal dan vallen rond juli/augustus, een periode met doorgaans lage productprijzen. Hierdoor zal bij een leegstand van 4 weken ongeveer 1 €/m² aan dekkingsbijdrage (opbrengst minus variabele kosten) worden misgelopen. Bij deze lagere dekkingsbijdrage, moeten nog de kosten voor het plantmateriaal en het afdekmaterial van de biologische ontsmetting worden opgeteld en de kosten voor het stomen worden afgetrokken. Per saldo zal dit economisch nog niet haalbaar zijn tenzij de duur en de kosten van de biologische grondontsmetting kunnen worden beperkt.

3.2.5 Schermgebruik overdag

In de praktijk wordt bij koud weer het verduisteringsscherm ook overdag dicht gelaten. Het lichtverlies dat hierbij optreedt zal leiden tot enige productiederving, tenzij het lichtverlies wordt gecompenseerd door meer belichting. In Figuur 1. is voor zowel een verduisteringsdoek als een helder doek (85% lichtdoorlaat) weergegeven bij welke buitentemperatuur en welke hoeveelheid zonlicht het scherm overdag moet worden geopend of gesloten. Hierbij is telkens de waarde van de warmtebesparing vergeleken met de waarde van het lichtverlies. Warmtebesparing heeft in de berekeningen een waarde van 0,20 €/m³ aardgasequivalenten en licht een waarde van 14 €/kmol (≈0,07 €/kWh).

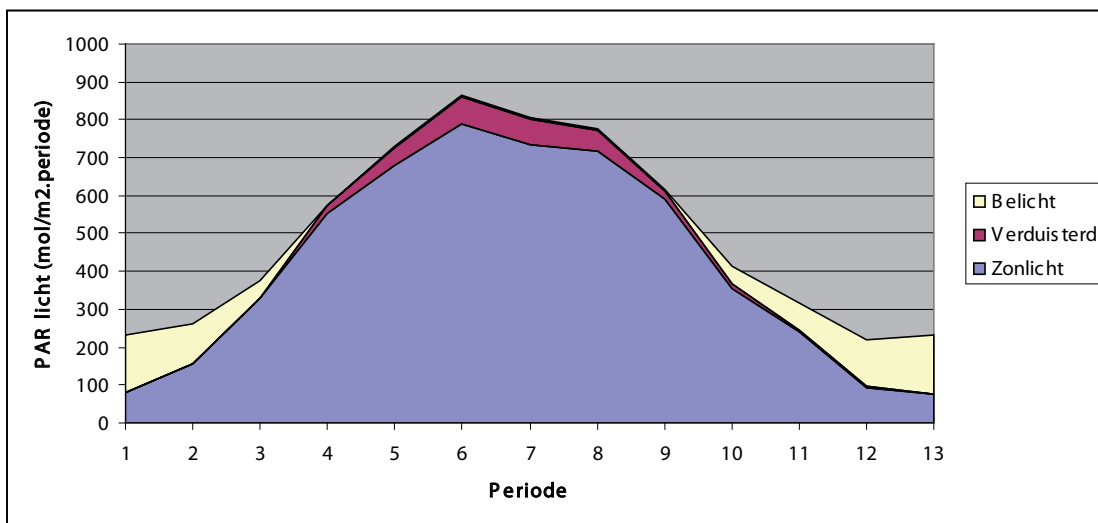


Figuur 1. Break-even lijnen voor schermgebruik van een verduisteringsscherm en een helder scherm, waarbij lichtverlies en warmtebesparing tegen elkaar worden afgewogen bij verschillende niveaus voor buitentemperatuur en globale straling.

In de praktijk zal bij kleine verschillen tussen binnen- en buitentemperatuur (<10°C) het schermdoek nauwelijks worden gesloten omdat dan de afvoer van vocht te veel kan worden bemoeilijkt. Als droge lucht kan worden ingeblazen kan het scherm wel langer dicht blijven.

3.2.6 Minder belichten

Belichting bepaalt bij chrysant het grootste deel van de energiekosten. In de winter wordt bijna twee keer zoveel kunstlicht gegeven als in de zomer door het verduisteringsdoek aan zonlicht wordt weggeschermd (zie Figuur 2.). De duur en intensiteit van belichten is bepaald door een economische afweging op basis van de elektriciteitsprijs en de te verwachten productprijzen. Deze economische afweging wordt in paragraaf 5.1 toegelicht.



Figuur 2. Jaarverloop op bedrijfsniveau van de hoeveelheid PAR-licht (mol/m².periode) die van de zon afkomstig is, door verduisteringsscherm wordt weggeschermd of die via belichting op het gewas komt.

Belichting afhankelijk van de lichtbenuttingsefficiëntie

Door minder te belichten tijdens de teelfasen dat het gewas het licht minder goed benut kan het productieverlies door minder belichten worden beperkt. Hier wordt in 4.3 een modelberekening voor gemaakt.

Geen verduisteringsscherm in de lange-dag-fase

Ten slotte is er nog de mogelijkheid om in de zomer te besparen op het elektriciteitsverbruik. In de zomer moet op veel bedrijven de lange-dag-fase toch worden belicht voor dagverlenging omdat tijdens verduistering van de korte-dag-fase de verduisteringdoeken in alle afdelingen worden gesloten. Door iedere afdeling apart te verduisteren zodat de lange dag fase niet hoeft te worden verduisterd, kan deze belichting achterwege blijven. Dit bespaart op jaarbasis 112 dagen keer 4 uur à 68 W/m^2 op 20% van het oppervlak = 6 kWh/m^2 . Mogelijk zal dit gepaard gaan met een kleine productieverhoging omdat dan in de lange-dag-fase meer (zon)licht op het gewas komt. Hier tegenover staat dat hogere eisen moeten worden gesteld aan de afdichting voor zonlicht van het tussengevelschem en het bovenscherm.

4 Modelberekeningen

In dit hoofdstuk worden enkele cases doorgerekend met het model Kaspro of het model QMS-chrysaant. Kaspro is vooral ingezet voor berekeningen op de warmtevraag. QMS is gebruikt om de invloed van belichtingsstrategieën op de productie te bepalen.

4.1 Besparing op de warmtevraag

Met Kaspro is voor 6 cases berekend wat de invloed is op het kasklimaat en het energieverbruik bij het invoeren van verschillende maatregelen die de warmtevraag moeten beperken. Vijf cases worden vergeleken met de standaard situatie (zie hoofdstuk 2)

De berekeningen zijn uitgevoerd voor zowel de LD-fase als de KD-fase. De resultaten zijn gecomprimeerd weergegeven in Tabel 4. Een uitgebreide Tabel staat in O.

Tabel 4. Berekend energieverbruik en kasklimaat bij 6 cases

case	warmte (gas) [m ³ /m ²]	warmte onttrokken via buitenluchtaanzuiging [MJ]	uren overschrijding 90% RV	Tdag [°C]	Tnacht [°C]	Tetmaal [°C]	CO ₂ gedoseerd [kg/m ²]	biomassa [kg/m ²] (drogestof)	door gewas geabsorbeerde PAR [kmol/m ²]
1. Standaard situatie	32,0	0	2179	21,6	20,6	21,1	33,6	6,0	5,24
2. Als 1. met 1°C lagere kastemp. + maximum buis bovennet	30,5	0	1670	21,1	19,6	20,3	34,8	6,0	5,24
3. Als 2. met temperatuurintegratie	30,0	0	1690	21,2	19,0	20,1	34,4	6,1	5,24
4. Als 3. zonder minimumbuis bovennet	20,5	0	2961	21,0	18,2	19,6	32,1	6,2	5,24
5. Als 4. zonder minimumbuis ondernet, met buitenluchtaanzuiging	15,3	122	2179	20,4	17,7	19,0	33,4	6,4	5,23
6. Als 5. met helder extra scherm	12,6	154	2283	20,5	18,0	19,2	34,3	6,1	5,07

4.2 Toelichting bij de cases

In deze paragraaf worden de berekeningen uit Tabel 4. toegelicht.

Case 2) met 1°C lagere kasttemperatuur + maximum buis bovennet van 45°C.

Het setpoint van de stooktemperatuur D/N zakt van 18/20 naar 17/19°C. In de zomerperiode kan de gerealiseerde temperatuur echter niet altijd zo ver dalen. Op jaarbasis zakt de gerealiseerde etmaaltemperatuur daardoor van 21.1 naar 20.3°C.

Doordat de maximum temperatuur van het bovennet daalt van 70 naar 45°C, wordt de ingestelde stooktemperatuur niet altijd gehaald. Het verwarmend oppervlak is hiervoor op die momenten te laag. Terwijl de kasluchttemperatuur bij de referentie gedurende 117 uur (op jaarbasis) meer dan 1°C onder het setpoint verwarming lag, nam dit in deze case toe tot 685 uur.

Opvallend is dat het aantal uren dat de RV hoger is dan 90%, daalt ten opzichte van referentiecasi 1. Blijkbaar zorgt de gedaalde ventilatietemperatuur voor een betere ontvochtiging en heeft een verlaagde maximumbuis temperatuur geen invloed op het aantal kritieke vochturen.

De warmtevraag daalt slechts 1,5 m³/m².jaar aan aardgasequivalenten. Blijkbaar wordt een groot deel van de warmtevraag bepaald door de minimumbuis.

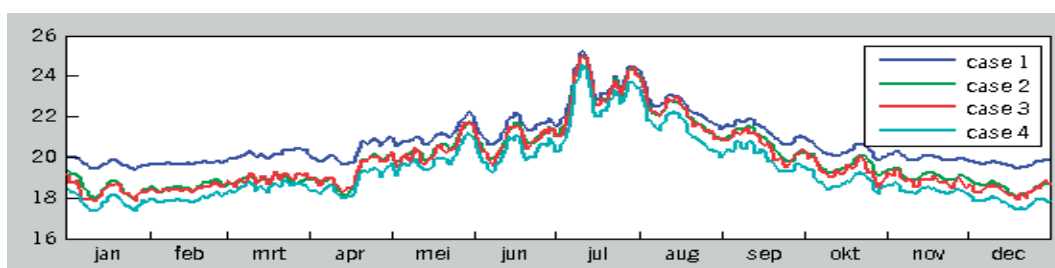
Case 3) met 3°C temperatuurintegratie (TI) en een integratieperiode van 4 dagen

De TI heeft sterke invloed op de setpoints. Jaarrond gaat setpoint verwarmen en setpoint ventilatie op een heel ander werkpunt liggen. De gerealiseerde temperatuur daalt van 20.3 naar 20.1°C. De warmtevraag daalt maar weinig (0,5 m³/m²) ten opzichte van case 2.

Case 4) met afschaffing minimum buis bovennet

Door de minimumbuis op het bovennet te laten vervallen, wordt er ook minder geventileerd, want de kasttemperatuur komt minder vaak boven het ventilatiesetpoint. Hierdoor gaat het wel wat vochtiger worden, met name overdag. De etmaaltemperatuur (jaarrond) daalt van 20.1 naar 19.6°C.

In Figuur 3. is het 7-daags voortschrijdende gemiddelde van de etmaaltemperatuur van de eerste 4 cases weergegeven. Hieruit blijkt dat vooral het verlagen van de kasttemperatuur in case 2 invloed heeft op de etmaaltemperatuur in de winterperiode. De overige aanpassingen hebben een kleine invloed op de etmaaltemperatuur.

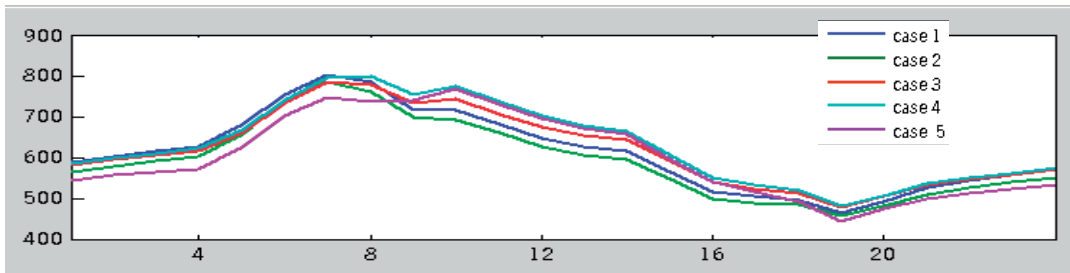


Figuur 3. Etmaaltemperatuur (°C) weergegeven als een voortschrijdend gemiddelde over 7 dagen).

Case 5) met afschaffing minimum buis ondernet + buitenluchtaanzuiging

Door het weglaten van de minimumbuizen stijgt de luchtvochtigheid. Dit is te vooral zien bij case 4, waar het aantal uren dat het setpoint van 90% wordt overschreden, oploopt van 2179 in case 1 naar 2961 uur in case 4. In case 5 wordt dit opgevangen door de buitenluchtaanzuiging, waardoor het aantal uren overschrijding weer terugloopt naar (toevallig) 2179 uren.

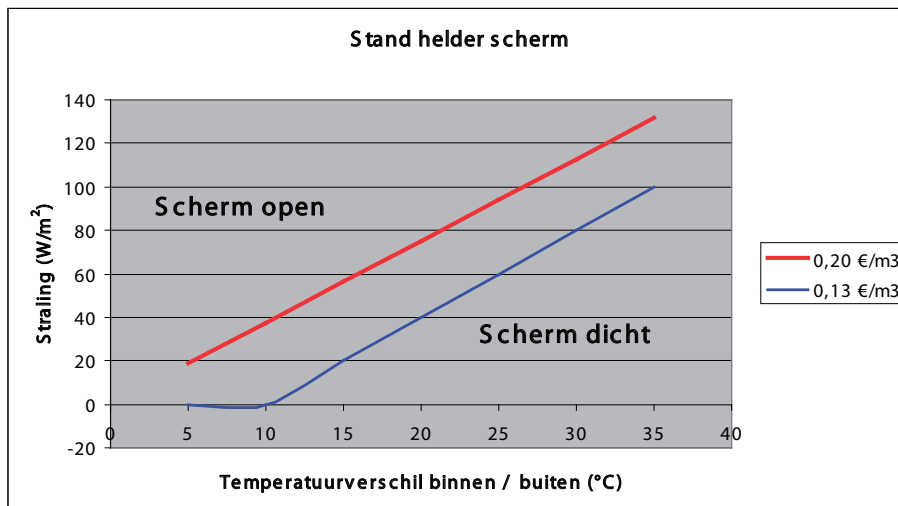
Ontvochtiging met buitenlucht gaat gepaard met verlies aan CO₂. In Figuur 4. is te zien dat de energiezuinige cases overdag een steeds hogere CO₂-concentratie realiseren omdat er minder wordt geventileerd. De buitenluchtaanzuiging van case 5 zorgt (vooral 's nachts) voor een iets lagere CO₂-concentratie. Er zijn ook verschillende hoeveelheden CO₂ gedoseerd (zie Tabel 4.), al zijn deze verschillen klein.



Figuur 4. Cyclisch verloop van de CO₂-concentratie (ppm) in de kas over een gemiddeld etmaal

Case 6) met helder extra scherm (bijv. LS10). Gesloten bij buitentemperatuur van minder dan 10°C en 0 W/m² globale straling. Voor iedere extra 4 W/m² globale straling gaat 1°C van de buitentemperatuur af

Voor het gebruik van een helder extra scherm is eerst een schermstrategie opgesteld. Deze schermstrategie (blauwe lijn in Figuur 5.) is gehanteerd als rekening wordt gehouden met warmtekosten van 0,13 €/m³, terwijl de rode lijn overeenkomt met de schermstrategie uit Figuur 1., waarbij is uitgegaan van een warmtekosten van 0,20 €/m³ aardgasequivalenten.



Figuur 5. Gehanteerde schermstrategie (bij 0,13 €/m³) ten opzichte van een schermstrategie bij een warmteprijs van 0,20 €/m³ aardgasequivalenten.

In de KD-fase is het scherm op jaarbasis meer dan 3000 uur meer dan 90% gesloten geweest (voor het verduisterscherm is dit 4950 uur). Van deze 3000 uur valt ca. 1000 uur overdag.

Hierdoor wordt het door het gewas geabsorbeerde PAR-licht iets verminderd. Bij Case 1 t/m 5 lag dit op ongeveer 5,24 kmol/m².jaar, nu is dit enkele procenten afgenomen tot 5,07 kmol/m².jaar. Dit lijkt een kleine afname, maar deze afname valt wel in de lichtarme winterperiode.

4.3 Belichting en productie

Met het teeltplannings- en prognoseprogramma QMS Chrysant is berekend wat de invloed van minder belichten is op de productie. Hiervoor zijn een drietal scenario's doorgerekend:

- Standaard belichtingsstrategie
- Belichtingsstrategie met 50% minder belichting in teeltfasen met lagere lichtbenuttingsefficiëntie (LBE)
- 50% belichting ten opzichte van de standaard belichtingsstrategie gedurende de gehele teelt.

Het idee om toe te kunnen met 50% minder belichten is analoog aan de proeven die met Het Nieuwe Telen Gerbera [de Gelder, in uitvoering] zijn uitgevoerd, Hoewel de praktijk hier sceptisch over was [Sleegers, 2008] is in een kasproef toch ingezet om fors minder te belichten. Voorlopig is in de proef 20% minder belichten met slechts geringe productiederving gerealiseerd.

De standaard belichtingsstrategie

Bij de standaard strategie is uitgegaan van vrijwel dezelfde uitgangspunten als in hoofdstuk 2. Er zijn een paar kleine verschillen:

- Tijdens de KD is maximaal 11 uur en 50 minuten ipv 12 uur belicht
- Belichting gaat uit boven de 250 ipv 200 Watt/m² instraling buiten gemeten.
-

Het teeltschema is dusdanig vastgesteld, dat het gemiddelde gewicht tijdens het belichtingsseizoen tussen de 70 en 75 gram uit komt.

Belichtingsstrategie met 50% minder belichting in teeltfasen met lagere LBE

De lichtbenuttingsefficiëntie (LBE) is niet de gehele teelt hetzelfde. Deze is afhankelijk van het teeltstadium. In QMS chrysant wordt gerekend met een LBE curve. Deze houdt rekening met een lagere LBE tijdens de start van de teelt, als gevolg van een lage LAI en de geringe hoeveelheid wortels. Halverwege de teelt is de LBE maximaal, om aan het einde van de teelt weer te dalen.

Er kan energie worden bespaard door minder te belichten in de teeltfasen waarin het gewas minder efficiënt met het licht omgaat. Er is een berekening gemaakt voor de volgende belichtingsstrategie:

- tijdens de lange-dag-fase (LD) 50% belichten
- Vanaf start korte-dag-fase (KD) tot 3 weken voor oogst 100% belichten
- Laatste 3 weken teelt 50% belichten

De belichtingsintensiteit bij 50% belichten bedraagt 55 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$. Uitgangspunt is om uiteindelijk dezelfde gewichten te realiseren als bij de standaard belichting. Hiervoor moet de plantdichtheid en de dagen LD aangepast worden om te voorkomen dat het takgewicht te laag wordt.

50% belichten ten opzichte van standaard gedurende de gehele teelt

Doelstelling is om 50% energie te besparen. Door alleen rekening te houden met het gewasstadium lukt dit niet. Een andere manier is om de gehele teelt de helft van de normale belichting te gebruiken. De vraag is dan hoeveel productie dit kost. Om aan hetzelfde gewicht te komen als in de standaard situatie zijn ook hier de plantdichtheden en dagen LD aangepast.

Resultaat QMS berekeningen

Na doorrekening van de 3 scenario's zijn de producties en elektriciteitsverbruiken weergegeven in Tabel 5. Minder belichten blijkt productie te kosten. Bij minder belichten in teeltfases met een lagere LBE is de productie 12 tak/m² lager. Bij het gebruik van de halve belichtingscapaciteit is dit 26 tak/m² lager. De besparing op elektra is bij minder belichten in teeltfases met lagere LBE 27 kWh/m² en bij de gehele teelt 50% belichten is de besparing 63 kWh/m².

Hierbij is niet meegenomen het extra gasverbruik wat nodig zal zijn bij de twee alternatieve scenario's als gevolg van minder stralingswarmte van de lampen. Met Kaspro is berekend dat het hierbij gaat om 2 m³/m² aan aardgas bij het 50-100-50% scenario en om 4 m³/m² bij het 50% scenario indien er geen minimumbuis zou worden aangehouden (zie case 5 in paragraaf 4.2). Bij gebruik van een minimumbuis draagt belichting minder vaak nuttig bij aan de verwarming van de kas.

Tabel 5. Productie en elektriciteitsverbruik bij drie belichtingsstrategieën

Belichtingsstrategie	PAR licht (kmol/m ² .jaar)	PAR tov stand. (%)	Jaarproductie (tak/m ²)	Productie tov stand. (%)	Jaarverbruik (kWh/m ²)	Verbruik tov stand. (%)
Standaard	6,05		294		125	
50-100-50%	5,91	-2,3%	282	-4,1%	98	-21,6%
50%	5,72	-5,5%	268	-8,8%	63	-50,0%

Een halvering van de belichting betekent een teruggang van 6,05 naar 5,72 kmol/PAR. Ervan uitgaande dat een geproduceerde tak een gewicht heeft van 75 gram betekent dit dat 0.33 kmol belichting $75 \cdot 26 = 1950$ gram productie oplevert. Dit is een rendement van ongeveer 6 gram/mol.

5 Economische haalbaarheid

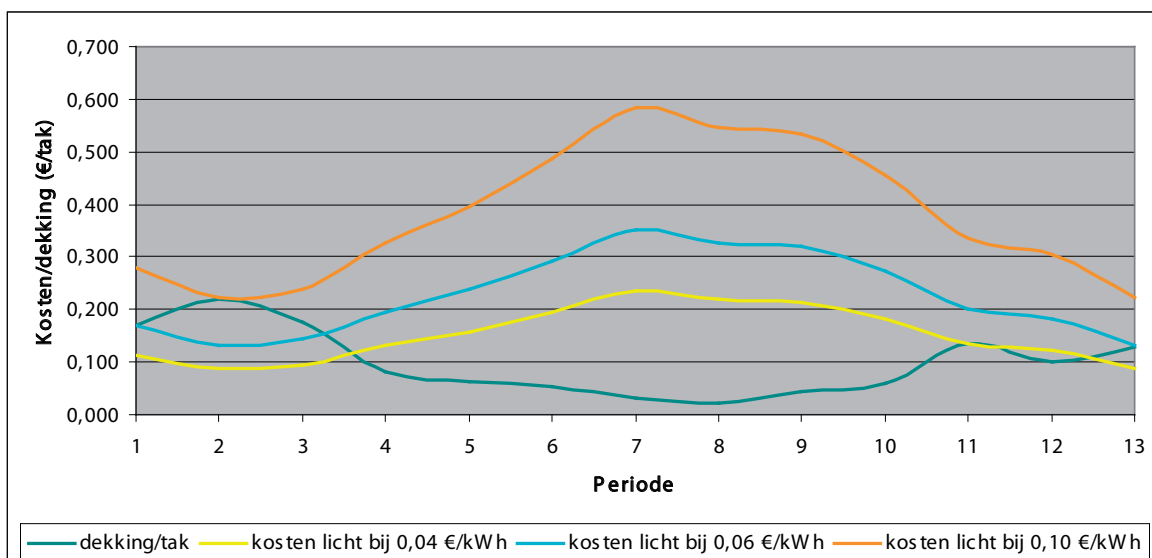
De belangrijkste resultaten uit de energieberekeningen uit hoofdstuk 4 zijn voorgelegd aan een klankbordgroep met onder andere 3 telers (zie Bijlage III). De telers uit de klankbordgroep gaven aan dat voorgestelde besparingen waarschijnlijk niet zouden leiden tot een beter rendement. In dit hoofdstuk zal een economische analyse worden uitgevoerd van de economische haalbaarheid van zowel minder belichten als een lagere warmtevraag. Bij minder belichten wordt de dekkingsbijdrage van belichten berekend. De dekkingsbijdrage (=contributiemarge) per tak geeft aan hoeveel het mag kosten om 1 tak/m² extra te produceren. De dekkingsbijdrage is het verschil tussen de opbrengsten en de variabele kosten. Met variabele kosten worden de kosten bedoeld die (vrijwel) evenredig stijgen met de productie. Dit zijn bij chrysant de kosten van stek, arbeid, verpakking en afzet. Ook de kosten van mest en gewasbescherming zijn hier als variabel beschouwd, hoewel hier ook een vaste component in zit. De dekkingsbijdrage dient dan voor de dekking van de vaste kosten (afschrijving, rente, onderhoud, maar ook energie). In Tabel 6. wordt de dekkingsbijdrage per periode weergegeven per chrysantentak. Hieruit blijkt dat de dekkingsbijdrage in de winterperiode veel hoger is dan in de zomer.

Tabel 6. Bepaling van de dekkingsbijdrage per tak per periode.

Periode	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Prijs	0,31	0,36	0,31	0,21	0,19	0,18	0,15	0,14	0,17	0,18	0,27	0,23	0,26
Stek	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
Arbeid	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Mest en gwb	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Verpakking	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Veilkosten	0,03	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03
Dekking	0,17	0,22	0,18	0,08	0,06	0,05	0,03	0,02	0,04	0,06	0,13	0,10	0,13

5.1 Minder belichten

Een belangrijk voordeel van belichten is de hoge kwaliteit in donkere jaargetijden en het gelijkmatige productieniveau. In de winter gaat chrysant veel efficiënter met licht om. Zo wordt 1 mol PAR-licht in de zomer omgezet in 2,5 gram verkoopbaar product, terwijl in de winter wel 6 gram productie uit een mol PAR-licht wordt gehaald (zie ook paragraaf 4.3). PAR licht van assimilatiebelichting heeft bij een elektriciteitsprijs van 0,06 €/kWh een variabele kostprijs van ongeveer 0,0115 €/mol, ofwel 11,5 €/kmol. Als in de winter de chrysanten dus minder dan $11,5/6 = 1,9$ €/kg opleveren is het voordelig om de lampen minder te laten branden. Bij een taggewicht van 75 gram betekent dit een prijs van $1,9/(1000/75) = 0,142$ €/tak. In Figuur 6. is de kostprijs van de door belichting extra geproduceerde takken weergegeven en vergeleken met de dekkingsbijdrage van een tak. . Uit Figuur 6. blijkt dat bij een elektriciteitsprijs van 0,06 €/kWh het alleen interessant is om te belichten voor de takken die geoogst worden in perioden 13, 1, 2 en 3. Voor de takken die geoogst worden in de overige perioden is belichting niet rendabel en kan economischer worden geteeld door een langere lange-dag-periode aan te houden en/of ruimer te planten dan door te belichten. Bij een elektriciteitsprijs van 0,04 €/kWh is het ook interessant voor chrysanten die geoogst worden in de periode 11 en 12. Dit komt redelijk overeen met hoeveel in de praktijk wordt belicht (zie Bijlage II). Bij een elektriciteitsprijs van 0,1 €/kWh is belichting het hele jaar door niet meer interessant bij de huidige chrysanteprijzen.



Figuur 6. Jaarverloop van de belichtingskosten en de dekkingsbijdrage per tak (€/tak) bij een elektriciteitsprijs van 0,04, 0,06 of 0,1 €/kWh en een takgewicht van 75 g.

Discussie: Bij Figuur 6. is gerekend dat belichting alleen het aantal takken per m^2 verhoogt, en is aangenomen dat dezelfde kwaliteit zonder belichting kan worden verkregen door ruimer te planten of een langere lange-dag-periode aan te houden. Sommige rassen kunnen echter moeilijk worden geteeld onder lichtarme perioden en zullen door belichting een hogere kwaliteit en daardoor een hogere prijs per tak krijgen. Een hogere prijs per tak zal de dekkingsbijdrage per tak doen stijgen en belichting daardoor interessant maken. Bovendien kunnen bedrijven met een hoge takkwaliteit bij het uitgiftebeleid van nieuwe (economisch interessante) rassen voorrang krijgen boven telers die deze hoge kwaliteit (in de winter) niet kunnen leveren.

5.2 Lagere warmtevraag

Voor de economische gevolgen van een lagere warmtevraag wordt vaak gerekend alsof de warmte wordt opgewekt met een verwarmingsketel en wordt uitgegaan van een gasprijs tussen 0,15 of 0,25 €/m³. Aangezien de meeste chrysantentelers een WKK gebruiken voor de warmtevoorziening en in de ketel hooguit 3 m³/m².jaar gebruiken voor het opvangen van de warmtepieken, moet dit uitgangspunt enigszins worden gewijzigd. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van een rekentool, ontwikkeld voor de rentabiliteitsberekening van geconditioneerde teelten [Ruijs *et al.*, 2010]. De resultaten ervan zijn sterk afhankelijk van de energieprijzen die worden gehanteerd. In deze paragraaf wordt uitgegaan van de prijzen genoemd in Tabel 7. Bij een hogere gasprijs of een lagere elektriciteitsprijs wordt besparing op de warmtevraag interessanter.

Tabel 7. Gehanteerde prijzen voor aardgas en elektriciteit.

	eenheid	prijs
Gasprijs (commodity)	€/m ³	0,20
Gasprijs (transport)	€/m ³ .uur	150
Elektriciteitsprijs, inkoop peak	€/kWh	0,085
Elektriciteitsprijs, inkoop dal	€/kWh	0,055
Elektriciteitsprijs, verkoop peak	€/kWh	0,060
Elektriciteitsprijs, verkoop dal	€/kWh	0,030

5.2.1 Verschuiving van kosten door HNT

Door de warmtevraag te verlagen verschuiven de kosten van energie-inkoop en van de investeringen in energiebesparende middelen. In Tabel 8. is berekend wat er allemaal verandert als alle maatregelen uit paragraaf 4.1 worden doorgevoerd. De warmtevraag daalt van $32 \text{ m}^3/\text{m}^2$ naar $12,6 \text{ m}^3/\text{m}^2$, ofwel van 1011 naar $400 \text{ MJ}/\text{m}^2$.jaar. De behoefte aan CO_2 blijft gelijk. Omdat veel minder warmte nodig is zal de WKK ook minder uren kunnen draaien. Gesteld is dat het aantal draaiuren per jaar teruggaat van 4500 naar 3000 uren. Het benodigde WKK-vermogen daalt dan van $47 \text{ We}/\text{m}^2$ naar $24 \text{ We}/\text{m}^2$. Hoewel de kleinere WKK ook een kleiner thermisch vermogen per m^2 geeft, wordt toch aangenomen dat extra vraag van ketelgas voor de piekvraag dankzij het dubbele scherm niet nodig is. De kleinere WKK betekent ook een kleinere peakload voor de gasaansluiting (van 159 naar $94 \text{ m}^3/\text{ha.uur}$). Het totale gasverbruik daalt van 61 naar $22 \text{ m}^3/\text{m}^2$.jaar. De hoeveelheid belichting blijft in de betreffende cases gelijk ($1900 \text{ uur} \cdot 68 \text{ W}/\text{m}^2$). De luchtinblaas gebeurt met een debiet van $4 \text{ m}^3/\text{m}^2$.uur waarvoor deels slangen worden gebruikt. Hiervoor is $3 \text{ kWh}/\text{m}^2$.jaar meer elektriciteit nodig. Door het 3 kWh hogere verbruik en de veel lagere productie van elektriciteit kan er per saldo geen elektriciteit meer worden geleverd en moet er meer elektriciteit worden ingekocht. Bovendien zal, ondanks dat er meer CO_2 nuttig kan worden aangewend, toch $3 \text{ kg}/\text{m}^2 \text{ CO}_2$ moeten worden ingekocht om aan de CO_2 behoefte van $34 \text{ kg}/\text{m}^2$ te voldoen. De extra kosten voor elektriciteit en CO_2 wegen zwaarder dan de verlaging van de gaskosten, zodat de totale energiekosten stijgen van $9,82$ naar $10,88 \text{ €/m}^2$.

De behoefte aan een kleinere WKK verlaagt de investeringskosten, maar daar staat tegenover dat wel een extra scherm moet worden aangeschaft, en een installatie om buitenlucht in te blazen. Hierdoor vallen ook de totale investeringskosten $0,03 \text{ €/m}^2$.jaar hoger uit dan bij de referentiesituatie. In totaal komt bij de gehanteerde energieprijzen van Tabel 7. besparing op de warmtevraag door Het Nieuwe Telen voor chrysant $1,08 \text{ €/m}^2$ negatief uit.

Ter vergelijking is in Tabel 8. ook een kolom toegevoegd waarbij zowel HNT als 50% minder belichten wordt toegepast. Het lampvermogen is hierbij gesteld op $43 \text{ W}/\text{m}^2$ en het aantal draaiuren op 1500 uur per jaar. De warmtebehoefte wordt hiermee iets hoger ($525 \text{ MJ}/\text{m}^2$). Daardoor kan ook een grotere WKK worden gebruikt. Doordat de lampen minder warmte afgeven, moet de ketel iets vaker worden ingezet om de warmtepiekvraag op te vangen. Doordat er minder lampen zijn en de WKK groter is, kan tijdens peak-uren per saldo weer elektriciteit worden geleverd ($32 \text{ kWh}/\text{m}^2$).

Doordat 50% minder wordt belicht daalt de productie (zie ook Tabel 5. in paragraaf 4.3). Omdat de productiedaling vooral in de winter plaatsvindt, daalt de gemiddelde takprijs met 1 cent/tak. De lagere investeringskosten, de lagere energiekosten en de lagere opbrengsten geven per saldo een iets lager saldo te zien dan de referentie.

Tabel 8. Berekening van het rendement op beperking van de warmtevraag door Het Nieuwe Telen.

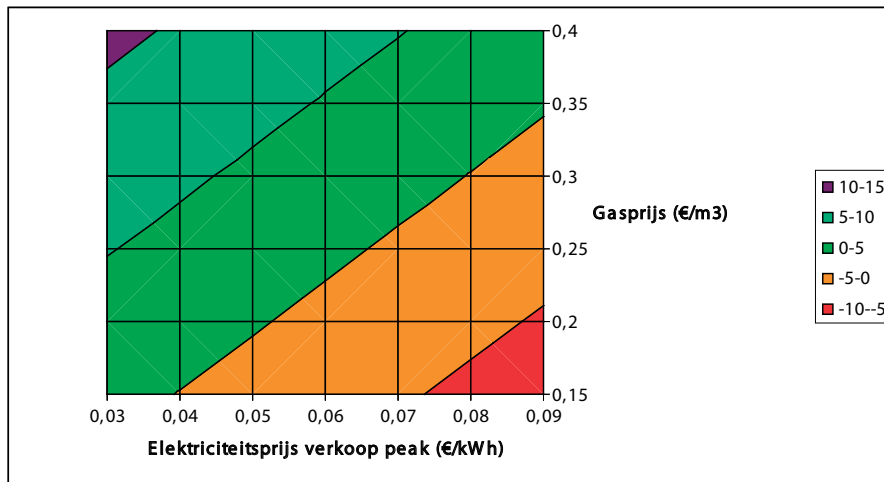
	eenheid	referentie	HNT	HNT 50% belicht
Warmtebehoefte	MJ/m ²	1011	400	525
CO ₂ behoefte	kg/m ²	34	34	33
Draaiuren WKK	uur jaar	4500	3000	3000
Vermogen WKK	We/m ²	47	24	31
Capaciteit WKK	Wth/m ²	57	28	37
Gasverbruik ketel	m ³ /m ²	3	3	4
Gasverbruik	m ³ /m ²	61	22	29
Peakload gas	m ³ /ha.uur	159	94	124
Vermogen belichting	We/m ²	68	68	43
Uren belichting	uur/jaar	1900	1900	1500
Luchtdebiet LBK's\ventilatoren	m ³ /m ² .uur	0	4	4
Luchtslangen	J/N	N	J	J
Elektriciteit ventilatoren	kWh/m ²	0	3	3
Totale elektriciteitsbehoefte	kWh/m ²	136	139	74
Levering elektriciteit peak	kWh/m ²	93	-34	32
Levering elektriciteit dal	kWh/m ²	-16	-33	-13
Aandeel doseerbare CO ₂	%	38%	77%	72%
CO ₂ productie (doseerbaar)	kg/m ²	42	31	38
Inkoop CO ₂	kg/m ²	0	3	0
Totaal energiekosten	€/m ²	9,82	10,88	6,51
Productie	tak/m ² .jaar	294	294	268
Dekkingsbijdrage	€/tak	0,220	0,220	0,210
Dekkingsbijdrage	€/m ² .jaar	35,28	35,28	29,43

Investeringskosten				
WKK + RGR	€/m ² .jaar	4,30	2,73	3,21
Buitenlucht inblazen en licht verw.	€/m ² .jaar		0,70	0,70
Schermen	€/m ² .jaar	0,89	1,78	1,78
Belichting	€/m ² .jaar	4,35	4,35	2,76
Totaal investeringskosten	€/m ² .jaar	9,54	9,57	8,45

extra investeringskosten	€/m ² .jaar		0,03	-1,12
extra energiekosten	€/m ² .jaar		1,06	-4,38
extra opbrengsten	€/m ² .jaar		0,00	-5,85
saldo tov referentie	€/m ² .jaar		-1,08	-0,36

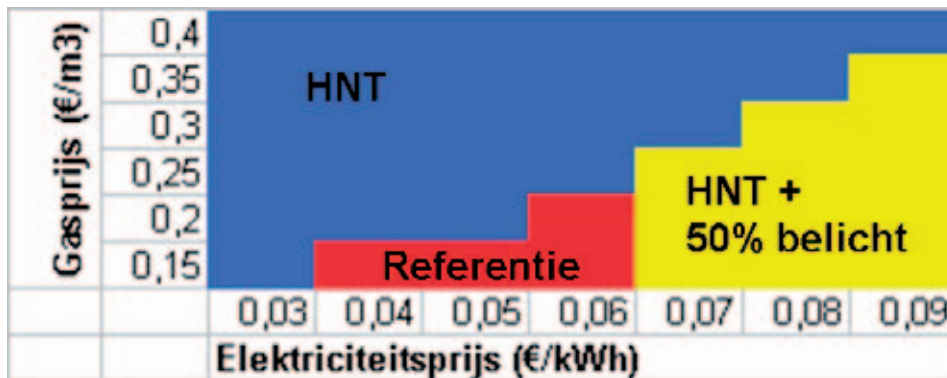
5.2.2 Gevoeligheid voor energieprijzen

Het resultaat dat is getoond in Tabel 8. is vooral gevoelig voor de energieprijzen. Als de gasprijs stijgt ten opzichte van de verkoopprijs van elektriciteit, dan wordt besparing op de warmtevraag aantrekkelijker. Dit wordt getoond in Figuur 7. Het oranje en rode gebied rechtsonder geven aan bij welke prijzen van elektriciteit en aardgas het niet interessant is om met HNT te besparen op de warmtevraag. De gele ster in het gebied geeft hierbij het voorbeeld van paragraaf 5.2.1. Het groene gebied linksboven geeft aan wanneer HNT wel winstgevend is. De blauwe ster geeft aan dat bij een elektriciteitsprijs voor levering van 0,045 €/kWh en een gasprijs van 0,30 €/m³ de besparing door het nieuwe telen een voordeel geeft van 5 €/m².jaar.



Figuur 7. Het financiële resultaat van HNT ten opzichte van de referentie bij verschillende gas- en elektriciteitsprijzen

In Figuur 8. is voor de drie opties uit Tabel 8. bepaald welke optie het hoogste saldo heeft bij verschillende prijzen voor elektriciteit en aardgas. Hieruit blijkt ook dat net als in Figuur 7. bij een lage elektriciteitsprijs en een hoge gasprijs HNT snel rendabel is. Bij een elektriciteitsprijs van meer dan 0,06 €/kWh is het dan ook interessant om bij nieuwbouw minder te investeren in belichting.



Figuur 8. De meest economische optie bij verschillende gas- en elektriciteitsprijzen

5.3 Discussie

De economische berekeningen in dit hoofdstuk zijn gebaseerd op cijfers die relatief eenvoudig te achterhalen zijn, zoals de invloed van belichting op productie en de invloed van energieprijzen op de energiekosten. Er is geen rekening gehouden met de wat zachtere cijfers, zoals de invloed van Het Nieuwe Telen op de kwaliteit en de prijs van de chrysanten. Ook is verondersteld dat de kwaliteit van de chrysanten niet beïnvloed wordt bij teelten die minder belichten en langzamer telen bij een lagere plantdichtheid. De invloed van een hoge kwaliteit wordt versterkt doordat veredelaars bij het uitgiftebeleid van nieuwe, lucratieve cultivars vaak voorrang geven aan bedrijven met een goede naam.

Ook de invloed op de teeltplanning is niet meegenomen. Als de teeltduur in de winter veel langer wordt dan in de zomer, betekent dat een grotere aanvoerpiek in het voorjaar omdat de snellere voorjaarsteelten inlopen op de langzamere winter-teelten. In het najaar zal een dieper dal vallen in de aanvoer. Deze schommelingen in de oogstdruk zal voor een sterk geautomatiseerd chrysantenbedrijf een grotere verwerkingscapaciteit vergen.

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

Besparing op de warmtevraag

De warmtevraag bij chrysant kan worden teruggedrongen van 32,0 naar 12,6 m³/m².jaar door de stooktemperatuur 1°C te verlagen, temperatuurintegratie toe te passen, de minimum buis te vervangen door het inblazen van droge buitenlucht, en een helder extra scherm aan te leggen. Deze maatregelen worden samen Het Nieuwe Telen chrysant (HNT) genoemd. Van al deze maatregelen verkleint het afschaffen van de minimumbuis de warmtevraag verreweg het meest.

Omdat warmte zeer voordelig kan worden opgewekt bij de productie van elektriciteit met een WKK is HNT echter niet rendabel en wordt het resultaat ±1 €/m².jaar negatief. Bij een verkoopprijs van elektriciteit van 0,045 €/kWh en een gasprijs van 0,30 €/m³ biedt HNT jaarlijks een positief resultaat van 5 €/m².jaar.

Overige manieren om te besparen op de warmtevraag zijn:

- o watergift van onderen in plaats van beregening,
- o bodembedekking om de verdamping uit de bodem af te remmen en
- o alternatieven voor stomen.

Besparing op belichting

Minder belichten gaat altijd ten koste van de productie. Het economisch rendement van belichten is echter sterk afhankelijk van de elektriciteitsprijs. Met de huidige prijzen van elektriciteit rond 0,04 €/kWh en chrysanten van rond 0,35 €/tak is belichting rendabel van periode 10 tot periode 3. In de zomer wordt minder meerproductie uit extra belichting gehaald en zijn bovendien de takprijzen lager. Bij een elektriciteitsprijs van meer dan 0,10 €/kWh is belichting bij de huidige chrysanteprijzen het hele jaar niet meer rendabel en is het voordeliger om in de winter wijder te planten en langer een LD-fase aan te houden. Niet alle rassen die wijder geplant en met een langere LD-fase worden geteeld kunnen echter in de winter dezelfde kwaliteit behalen als belichte gewassen. Voor deze rassen zal belichten ook bij een hogere elektriciteitsprijs rendabel zijn.

Als 50% minder wordt belicht dan zal de warmtevraag bij HNT met 4 m³/m² aardgasequivalenten worden verhoogd van 12,6 naar 16,6 m³/m².

Door iedere afdeling apart te verduisteren kan op jaarbasis 6 kWh/m² worden bespaard als in de zomerperiode tijdens de LD-fase niet wordt verduisterd en dus ook niet hoeft te worden belicht. Als niet wordt verduisterd, krijgt het gewas ook meer PAR dan als met verduistering wordt belicht. Hier tegenover staat wel een extra investering in extra schermgroepen en goed afgedichte tussengevelschermen.

Strategisch ontwerp

Voor de lange termijn wordt door het expertpanel niet verwacht dat naast de hierboven genoemde korte-termijn besparingen grote sprongen kunnen worden verwacht naar een efficiëntere chrysantenteelt. Vergeleken met enkele decennia geleden worden nu per m² twee keer zo veel chrysanten geteeld. Naar verwachting zal de productieverhoging zich voor de komende decennia (in verminderd tempo) voortzetten.

6.2 Aanbevelingen

In de bespreking met de klankbordgroep is de suggestie gedaan, om eerst in experimentele proeven onderdelen van het teeltconcept te beproeven. Drie belangrijke onderdelen zijn de tolerantie voor temperatuursverlaging, het voorkomen van Botrytis in de bloem en de toepassing van buitenluchtaanzuiging onder in het gewas. Ten aanzien van de eerste 2 punten zijn reeds acties gestart.

Met de huidige energieprijzen zal Het Nieuwe Telen alleen rendabel kunnen zijn als het gepaard gaat met productieverhoging of kwaliteitsverbetering. Een vermindering van de warmtevraag alleen, levert te weinig op. Als kan worden aangetoond dat het inblazen van droge buitenlucht kan leiden tot een hogere productie of een betere kwaliteit, zal Het Nieuwe Telen voor chrysant eerder worden geaccepteerd door de teeltbedrijven.

Bij hogere prijzen voor aardgas zal het voor telers belangrijker worden om de warmtevraag te verlagen. De belangrijkste eerste stap die leidt naar een lagere warmtevraag betreft de klimaatinstellingen. Voorbeelden hierbij zijn het afschaffen van de minimumbuis, temperatuurintegratie en het tolereren van een lagere teelttemperatuur. Voor de momenten dat de luchtvochtigheid dan te hoog wordt, moeten eerst kieren worden getrokken in de luchtramen en de schermen om direct vocht af te voeren. Hierbij worden de buizen alleen ingezet om het optredende warmteverlies op te vangen. Bij lage buitentemperaturen wordt het moeilijker om nauwkeurig op vocht te regelen met scherm en raamkieren. Bovendien geven schermkieren dan al snel kouval op de laagste plekken van de kas. Om bij die gelegenheid ook energiezuinig te kunnen ontvochtigen moet worden geïnvesteerd in het inblazen van buitenlucht. Hierbij is met een beperkte capaciteit ($\pm 4 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{uur}$) voldoende. Ten slotte kan met de aanschaf van een helder tweede scherm nog meer energie worden bespaard, al is de $2,7 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{jaar}$ besparing zelfs bij hogere gasprijzen te weinig om de investering in een beweegbaar scherm terug te verdienen. Als overdag niet meer wordt belicht dan kan een helder scherm wel rendabel zijn om de grotere warmtevraag overdag te verkleinen.

Het is nog onbekend of het voor het gewas beter is dat bij HNT alle buitenlucht tussen het gewas wordt ingeblazen, of dat dit ook (deels) van bovenaf kan. Ook is nog weinig ervaring met de praktische inpassing van lucht in het gewas blazen. Kasproeven zullen hier meer duidelijkheid in moeten geven.

Referenties

- Bontsema, J., Voogt, J.O., van Weel, P.A., van den Beukel, J., Zuidervijk, A., Labrie, C.W., van Noort, F.R., en Raaphorst, M.G.M. (2009)
Energiezuinige optimalisatie van het microklimaat door luchtbeweging. Rapport / Wageningen UR Glastuinbouw;269. Wageningen UR Glastuinbouw. Wageningen.
- de Gelder, A. (in uitvoering): Het Nieuwe Telen Gerbera, Wageningen UR Glastuinbouw, Wageningen.
- Meinen, E., Marcelis, L., Steenhuizen, J., en Dueck, T. (2009)
Is een μmol een μmol ? : groei en ontwikkeling van chrysanthe geteeld onder SON-T belichting en onder LED verlichting. Rapport / Wageningen UR Glastuinbouw;315. Wageningen UR Glastuinbouw. Wageningen.
- Nederhoff, E.M., de Boer-Tersteeg, P.M., Schapendonk, A.H.C.M., Pot, S., Dueck, T.A., Bruins, M.A., Steenhuizen, J.W., Kempkes, F.L.K., Sapounas, A., Driever, S., Verkerke, W., Warmenhoven, M.G., Janssen, H.J.J., Snel, J.F.H., en Marcelis, L.F.M. (2010)
Tomaten telen onder LED belichting in de praktijk : vergelijking belichtingssystemen bij RedStar Trading, Wageningen UR Glastuinbouw.
- Poot, E., de Zwart, F., Bakker, S., Bot, G., Dieleman, A., de Gelder, A., Marcelis, L., en Kuiper, D. (2008)
Richtinggevende beelden voor energiezuinig telen in semigesloten kassen. Nota / Wageningen UR Glastuinbouw;568. Wageningen UR Glastuinbouw. Bleiswijk.
- Raaphorst, M., de Gelder, A., en de Veld, P. (2006)
Conditioneren van chrysanthe. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Business Unit Glastuinbouw. Naaldwijk.
- Raaphorst, M., Maaswinkel, R., en de Gelder, A. (2007)
Koeling en verneveling bij chrysanthe : onderzoek naar de invloed van verneveling overdag en koeling in de nacht op de groeisnelheid en kwaliteit van chrysanthe. Wageningen UR Glastuinbouw. Wageningen.
- Ruijs, M.N.A., Raaphorst, M.G.M., en Dijkshoorn, Y. (2010)
Meer mogelijkheden voor energiezuinige teeltconditionering : economische perspectieven. Rapport / LEI. LEI Wageningen UR. Den Haag.
- Runia, W.T., van Beers, T.G., Brommer, E., Kok, C.J., en Molendijk, L.P.G. (2006)
Resultaten van het HPA project inventarisatie bestrijdingsmethoden. Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, Sector Akkerbouw, Groene ruimte en Vollegrondsgroenten [etc.]. Lelystad [etc.].
- Sleegers, J. (2008)
'Minder belichten is geen optie': thema-avond 'Met gerbera de winter door'. Vakblad voor de bloemisterij 63, 39, p. 64-65.
- Vermeulen, P. (2008)
Kwantitatieve Informatie voor de Glastuinbouw 2008 (KWIN), Wageningen UR Glastuinbouw, Bleiswijk.
- van der Wurff, A.W.G., Messelink, G.J., van Wensveen, W., Vermeulen, P.C.M., van Slooten, M.A., de Groot, E.B., Labrie, C.W., Raaphorst, M.G.M., Vermeulen, T., en Blok, C. (2010)
Effectieve gewasbescherming in substraatbedden, pp. 1, Wageningen UR Glastuinbouw, Bleiswijk.
- de Zwart, H.F., Stanghellini, C., en van der Knaap, L.P.M. (2010)
Hoog isolerende en lichtdoorlatende schermconfiguraties, nr. 13733, Wageningen UR Glastuinbouw, Wageningen.

Bijlage I Seizoensafhankelijke instellingen

	Periode:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
LD Fase (= 20% van oppervlakte)														
max belichtingsduur	uur/etmaal	22	22	8	6	4	4	4	4	6	13	20	20	20
Tijdstip belichting aan	hh:mm	20:00	21:00	23:00	23:00	23:00	23:00	23:00	23:00	22:00	21:00	21:00	20:00	20:00
Tijdstip belichting uit	hh:mm	16:00	17:00	7:00	5:00	3:00	3:00	3:00	3:00	4:00	10:00	17:00	16:00	16:00
KD Fase (= 80% van oppervlakte)														
max belichtingsduur	uur/etmaal	12	11:30	11:00	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	12:00	12:00	12:00	12:00
Tijdstip belichting aan	hh:mm	4:00	5:30	7:00							6:00	5:00	4:00	4:00
Tijdstip belichting uit	hh:mm	16:00	17:00	18:00							18:00	17:00	16:00	16:00
Schermregeling														
Tijdstip Verduistering/Energie dicht	hh:mm	16:00	17:00	18:00	19:00	19:00	19:00	19:00	19:00	19:00	18:00	17:00	16:00	16:00
Tijdstip Verduistering/Energie open	hh:mm	9:00	9:00	8:30	8:00	8:00	8:00	8:00	8:00	8:00	7:30	8:00	8:30	9:00
Berekening														
Tijd tussen 2 gietbeurten	dagen	6	6	5	4	3	3	3	3	3	4	5	7	7
Hoeveelheid water per gietbeurt	l/m ²	12	12	15	15	15	15	15	15	15	15	12	12	12

Bijlage II Warmtebalans en begroting referentieteelt chryasant

oppervlakte		41.280 m ²	dekkinggraad												
Totaal	2.000 kWc	538	67%												
Bedrijfsstroom	150 kWc														
Netto beschikbaar vermogen	1.850 kWc														
Gasverbruik stomen:	3 m ³ /m ²														
Periode		Totaal	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Gasvraag voor warmte	m ³ /m ²	30,3	3,5	3,4	3	2,4	2	1,4	1,4	1,4	1,7	2	2,4	2,7	3
Draaiuren WKK 1	uur/dag		20	20	18	12	10	10	10	10	10	12	13	14	20
waarvan voor terugleveren per dag	uur/dag		8,4	12,6	16,0	12,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	12,0	13,0	14,5	20
ma t/m vr	uur/dag		3580	400	400	360	240	200	200	200	200	240	260	280	400
productie WKK kwh/m ²	uur/dag		173,4	19,4	19,4	17,4	11,6	9,7	9,7	9,7	9,7	11,6	12,6	13,6	19,4
waarvan draaiuren terugleveren	uur/dag		2638	168	251	320	240	200	200	200	200	240	165	90	164
in deze uren terugleveren kwh/m ²	uur/dag		127,8	8,1	12,2	15,5	11,6	9,7	9,7	9,7	9,7	11,6	8,0	4,4	7,9
terugleveren naast eigen gebruik	uur/dag		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Totaal terugleveren ma-vr	uur/dag		127,8	8,1	12,2	15,5	11,6	9,7	9,7	9,7	9,7	11,6	8,0	4,4	7,9
waarvan voor terugleveren per dag	uur/dag		17	12	10	6	6	6	6	6	6	6	10	12	12
weekend draaiuren	uur/dag		5,4	4,6	8,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	3,5	5,3	2,5	0,2
productie WKK kwh/m ²	uur/dag		920	136	96	80	48	48	48	48	48	48	48	96	96
waarvan draaiuren terugleveren	uur/dag		44,6	6,6	4,7	3,9	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	3,9	4,7	4,7
in deze uren terugleveren kwh/m ²	uur/dag		523	43	36	64	48	48	48	48	48	48	28	42	20
terugleveren naast eigen gebruik	uur/dag		25	2,1	1,8	3,1	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	1,4	2,0	1,0	0,1
Totaal terugleveren weekend kwh/m ²	uur/dag		25,3	2,1	1,8	3,1	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	1,4	2,0	1,0	0,1
Draaiuren totaal	uur/dag		4500	536	496	440	288	248	248	248	248	288	340	376	496
Productie kWh/m ² totaal	uur/dag		2180	26,0	24,0	21,3	14,0	12,0	12,0	12,0	12,0	14,0	16,5	18,2	24,0
Terugleveren kWh/m ² totaal	uur/dag		153,2	10,2	13,9	18,6	14,0	12,0	12,0	12,0	12,0	13,0	10,0	5,3	8,0
Gasverbruik WKK 1	m ³ /m ²	58,6	7,0	6,5	5,7	3,8	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,8	4,4	4,9	6,5
Warmteproductie WKK 1	m ³ /m ²	277	3,3	3,1	2,7	1,8	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,8	2,1	2,3	3,1
Warmteproductie van WKK	m ³ /m ²	27,7	3,3	3,1	2,7	1,8	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,8	2,1	2,3	3,1
Warmtebenutting	%	98%	100%	100%	100%	100%	92%	92%	92%	92%	92%	100%	100%	100%	98%
Benodigde gasverbruik ketel	m ³ /m ²	3,0	0,2	0,3	0,3	0,6	0,5	-	-	-	-	0,2	0,3	0,4	-
Toegerekend gasverbruik voor stomen	m ³ /m ²	3,0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Totaal gasverbruik	m ³ /m ²	64,6	7,4	7,0	6,3	4,6	3,9	3,5	3,5	3,5	3,6	4,2	5,0	5,5	6,7
Productie Kwh Electrisch WKK	kWh/m ²	2180	26,0	24,0	21,3	14,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	14,0	16,5	18,2	24,0
Totaal Teruggeleverde stroom WKK	kWh/m ²	153,2	10,2	13,9	18,6	14,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	13,0	10,0	5,3	8,0
Stroom nodig voor gewas + bedrijf	kWh/m ²	65	12,1	9,6	5,1	0,3	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,3	4,3	7,0	10,8
AB Lichstroom	dal plateau	59	13,7	8,4	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,8	5,8	10,4
Totaal	dal plateau	124	25,7	18,0	7,8	0,3	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,3	8,1	12,8	21,1
Stroom inkoop	kWh/m ²	45,5	7,6	6,7	4,3	0,3	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,3	3,3	5,1	7,1
maximum jaarpeik	kW	13,4	2,4	1,2	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,8	1,2	2,9
laagste maandpeik	kW	507													
hoogste maandpeik	kW	965													
Totaal		590	10,0	7,8	5,1	0,3	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,3	7,1	6,3	8,2

Bijlage III Geraadpleegde deskundigen

Expertpanel

Helma Verberkt (DLV-Plant)

René Corsten (DLV-Plant)

Paul de Veld (DLV-Plant)

Theo Roelofs (DLV-Plant)

Ruud Maaswinkel (Wageningen UR Glastuinbouw)

Eric Poot (Wageningen UR Glastuinbouw)

Peter van Weel (Wageningen UR Glastuinbouw)

Marcel Raaphorst (Wageningen UR Glastuinbouw)

Klankbord

John van der Knaap (LTO Groeiservice)

Harry Wubben (teler)

Leo Middelburg (teler)

Bert van Ruijven (teler)

Leo Oprel (Ministerie van LNV)

Aat Dijkshoorn (Productschap Tuinbouw)

Bijlage IV Energieberekeningen met Kaspro

case	ketel [m ³ /m ²]	wkk [m ³ /m ²]	warmteoverschot wkk [m ³ /m ²]	el. Prod wkk [kWh/m ²]	el. Gebruik lampen [kWh/m ²]	uren RV setpoint overschreiding [uur/jaar]	gas (warmte) in ondernet [m ³ /m ²]	gas (warmte) in bovennet [m ³ /m ²]	biomassa [kg/m ²] (drogestof)	door gewas geabsorbeerde PAR [MJ/m ²]	CO ₂ gedoseerd [kg/m ²]	el gebruik buitenkluchtaanzuiging [kWh/m ²]	Tdag [°C]	Tnacht [°C]	warmte onttrokken via buitenlucht aanzuiging [MJ/m ²]
1 KD	24,2	21,9	0,0	81	115	2666	16,1	17,3	5,7	1164	31,4	0,0	21,4	20,2	0
1 LD	8,1	42,7	1,2	158	223	230	13,8	12,7	7,4	1068	42,3	0,0	22,8	22,0	0
teelt 1	21,0	26,1	0,2	96	136	2179	15,6	16,4	6,0	1145	33,6	0,0	21,6	20,6	0
2 KD	22,2	21,9	0,0	81	115	2035	17,0	14,4	5,7	1164	32,3	0,0	20,8	19,2	0
2 LD	8,4	42,7	1,0	158	223	208	14,4	12,5	7,4	1069	45,2	0,0	22,2	21,2	0
teelt 2	19,4	26,1	0,2	96	136	1670	16,5	14,0	6,0	1145	34,8	0,0	21,1	19,6	0
3 KD	21,4	21,9	0,0	81	115	2059	16,8	13,8	5,8	1165	31,2	0,0	21,0	18,7	0
3 LD	8,8	42,7	0,6	158	223	215	15,0	12,8	7,3	1070	47,0	0,0	22,0	20,3	0
teelt 3	18,9	26,1	0,1	96	136	1690	16,4	13,6	6,1	1146	34,4	0,0	21,2	19,0	0
4 KD	12,1	21,9	0,0	81	115	3602	17,8	3,8	6,0	1165	29,3	0,0	20,8	17,8	0
4 LD	2,4	42,7	5,9	158	223	396	15,6	0,5	7,4	1070	43,2	0,0	21,7	19,8	0
teelt 4	10,1	26,1	1,2	96	136	2961	17,3	3,2	6,2	1146	32,1	0,0	21,0	18,2	0
5 KD	8,4	21,9	0,0	81	115	2590	10,6	7,4	6,1	1163	32,2	4,3	20,1	17,3	146
5 LD	0,0	42,7	15,1	158	223	536	2,8	1,7	7,6	1068	38,4	0,8	21,3	19,1	27
teelt 5	6,7	26,1	3,0	96	136	2179	9,0	6,2	6,4	1144	33,4	3,6	20,4	17,7	122
6 KD	6,0	21,9	0,3	81	115	2721	9,3	5,9	5,8	1125	32,9	4,8	20,2	17,6	184
6 LD	0,0	42,7	17,5	158	223	529	1,3	0,7	7,4	1036	39,6	0,8	21,6	19,3	34
teelt 6	4,8	26,1	3,8	96	136	2283	7,7	4,9	6,1	1107	34,3	4,0	20,5	18,0	154

- 1 Bij Kaspro is de buisdiameter van het ondernet gesteld op 38 ipv 40 mm. Hierdoor zal voor het ondernet bij Kaspro een 5% lagere capaciteit worden berekend dan bij QMS.
- 2 Bij Kaspro worden beide minimumbuisinstellingen afgebouwd in het stralingstraject van 200-400 W/m²
- 3 Bij Kaspro wordt alleen een schermkier getrokken (max 10%) als de minimumbuis een te hoge kasttemperatuur (3°C boven stooktemperatuur) realiseert.

