



# Chrysant zonder gas

Opties voor besparing en hergebruik van warmte

Marcel Raaphorst<sup>1</sup>, Frank Kempkes<sup>1</sup>, Edwin van der Knaap<sup>2</sup> en Paul de Veld<sup>2</sup>

1. Wageningen UR Glastuinbouw, 2. DLV-Plant

Rapport GTB-1382

## **Referaat**

De meest relevante opties die bij chrysant de warmtebehoefte kunnen beperken zijn doorgerekend op hun besparingspotentie. Met de gezamenlijke opties kan een gasverbruik van minder dan 10 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.jaar worden gerealiseerd. Knelpunten zijn het verhoogde risico op schimmelziekten en de lage investeringsruimte van sommige opties. Daarnaast is berekend dat bij een lage elektriciteitsprijs en een hoge gasprijs het economisch interessant wordt om de warmte te voorzien aardwarmte, of met een warmtepomp in combinatie met luchtbehandelingskasten en warmteopslag in een aquifer. Hiermee zou een klimaatneutrale kas binnen bereik liggen.

## **Abstract**

The most relevant options that can decrease the heat demand on Chrysanthemum are calculated on their saving potential. With the joint options, a gas consumption of less than 10 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.year can be realized. The main bottlenecks are the increased risk of fungal diseases and the low net present value of some options. In addition, it has been calculated that at a low electricity price level and a high gas price level, geothermal energy or the combination of a heat pump, air conditioning units and a seasonal heat storage are the most economic heat suppliers. This would make the climate neutral greenhouse within reach.

## **Rapportgegevens**

Rapport GTB-1382

Projectnummer: 3742213000

## **Disclaimer**

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

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

## **Adresgegevens**

### **Wageningen UR Glastuinbouw**

Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk

Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk

T +31 (0)317 48 56 06

F +31 (0)10 522 51 93

# Inhoud

	<b>Samenvatting</b>	<b>5</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>7</b>
	1.1 Probleemstelling	7
	1.2 Doelstelling	7
<b>2</b>	<b>Methode</b>	<b>9</b>
	2.1 Aanpak	9
	2.2 Opties voor een duurzame verwarming	9
	2.2.1 Besparing op warmtevraag zonder investeringen	9
	2.2.2 Besparing op warmtevraag met investeringen	10
	2.2.3 Inzet van duurzame warmte	10
<b>3</b>	<b>Berekeningen</b>	<b>13</b>
	3.1 Referentiebedrijf	13
	3.2 Effecten per besparingsoptie	13
	3.2.1 Zonder minimum buis	14
	3.2.2 Lager setpoint stooktemperatuur	14
	3.2.3 Meerdaagse temperatuurintegratie	15
	3.2.4 Hoger RV setpoint	15
	3.2.5 Druppelslangen	15
	3.2.6 Isolatie (Dubbel glas of 2 <sup>e</sup> scherm)	15
	3.2.7 Inblazen van droge buitenlucht	15
	3.2.8 Regain unit	15
	3.2.9 Koeling	16
	3.3 Algemene evaluatie van de besparingsopties	16
	3.4 Economische afweging besparingsopties	17
	3.4.1 Druppelslangen	17
	3.4.2 Isolatie en ontvochtiging	17
	3.4.3 Regain unit	18
	3.5 Warmtevoorziening	18
	3.5.1 Aardwarmte	18
	3.5.2 Kaskoeling+warmtepomp+aquifer	18
	3.5.3 Warmtepomp zonder aquifer of luchtbehandelingskast.	18
	3.5.4 Economische afweging warmtevoorzieningsopties	19
	3.5.5 Discussie warmtevoorzieningsopties	21
<b>4</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>23</b>
	4.1 Conclusies	23
	4.2 Aanbevelingen	23
	<b>Literatuur</b>	<b>25</b>
	<b>Bijlage 1 Referentiekas en instellingen Kaspro</b>	<b>27</b>
	<b>Bijlage 2 Multipele regressie analyse</b>	<b>29</b>



# Samenvatting

Om de chrysantenteelt klimaatneutraal te krijgen, moet deze minder afhankelijk worden van het gebruik van aardgas. Daarvoor moeten de telers de warmtebehoefte verlagen en/of op een alternatieve manier daarin voorzien. In deze studie zijn door Wageningen UR en DLV-Plant de belangrijkste opties geëvalueerd die aan dit doel kunnen bijdragen. Vervolgens zijn deze opties met het simulatieprogramma Kaspro doorgerekend.

Allereerst komen de klimaatinstellingen aan bod, zoals een selectieve inzet van de onderverwarming en het accepteren van een hogere RV en een lagere kastemperatuur. Door de klimaatinstellingen kan al fors worden bespaard op het gasverbruik (zie Tabel a), al zal een lagere temperatuur ten koste gaan van de teeltsnelheid en zal een hogere RV of het loslaten van een vaste minimum buis op het ondernet het risico op roest, smet (Botrytis) en bruin blad vergroten. Aangezien dit meer kan kosten dan wat de energiebesparing oplevert, zijn telers niet snel geneigd om dit risico te nemen.

Met alleen het inblazen van droge buitenlucht kan de teler slechts weinig besparen op het warmtegebruik, maar doordat hij het klimaat nauwkeuriger kan beheersen, wordt het risico op vochtproblemen kleiner en kan eerder een hoge RV worden geaccepteerd. En met die hogere RV kan weer worden bespaard op het warmtegebruik. Dat geldt nog meer als de kas beter wordt geïsoleerd: met een 2<sup>e</sup> schermdoek en zeker met dubbel glas kan veel warmte worden bespaard (zie Tabel a), maar in een geïsoleerde kas wordt actieve vochtafvoer nog belangrijker. Het warmteverlies van actieve vochtafvoer kan verder worden beperkt als ingeblazen lucht wordt opgewarmd met de uitgaande kaslucht in een regain unit.

De inzet van druppelslangen zorgt ervoor dat het gewas minder vaak hoeft te worden beregend en dus minder vaak hoeft te worden drooggestookt. Dit bespaart op de warmtevraag en verlaagt het risico op ziekten. Een voorwaarde voor een succesvolle toepassing van druppelslangen is het beperken van de extra arbeid bij teeltwisselingen en de gelijkmatige verdeling van het druppelwater.

Tabel a

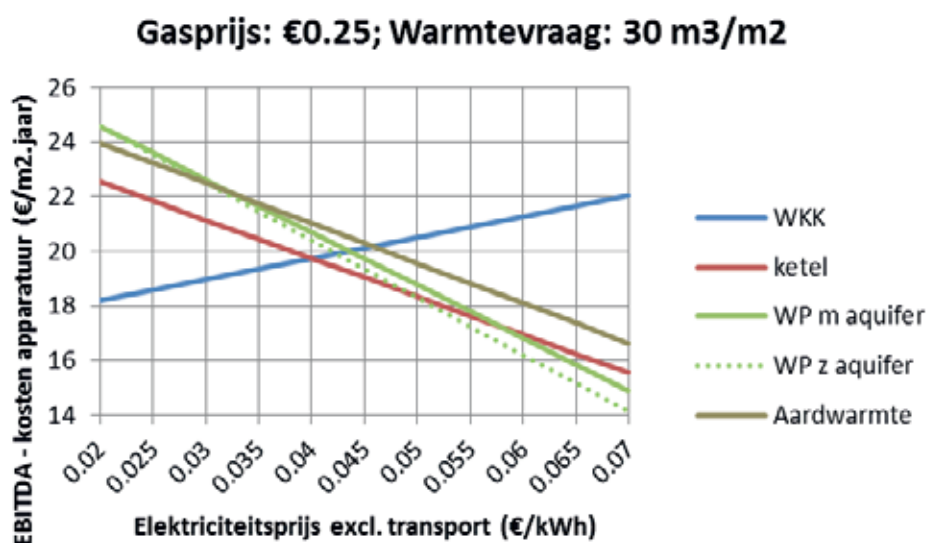
Schatting van de besparingen op het warmtegebruik ( $m^3/m^2.jaar$  a.e.) en van de bijbehorende investeringsruimte ( $€/m^2$ )

	Optie	Besparing ( $m^3/m^2.jr$ )	Investeringsruimte ( $€/m^2$ )
Zonder investering	Zonder minimum buis	2,6	
	1°C lager setpoint stooktemperatuur	3,2	
	5% hoger RV setpoint	5,3	
Met investering	Druppelslangen	1,1	1,85
	Dubbel glas	11,1	29,00
	2 <sup>e</sup> schermdoek	2,9	3,50
	Inblazen van droge buitenlucht	0,3	xx
	Regain unit	2,1	3,10

In Tabel a is ook een schatting gegeven van de investeringsruimte van de verschillende opties. Hierbij dient te worden aangetekend dat die investeringsruimte alleen is bepaald op basis van de besparingen bij een warmteprijs van 0,25 €/m<sup>3</sup>, en van de te verwachten afschrijvingstermijn, de rentekosten en de onderhoudskosten. Er is bijvoorbeeld geen rekening gehouden met bijvoorbeeld het lichtverlies bij dubbel glas of een 2<sup>e</sup> scherm. Voor het inblazen van droge buitenlucht is daarom geen investeringsruimte berekend. Deze is namelijk sterk afhankelijk van de mate waarop telers hun vochtinstelling met een inblaasinstallatie durven bij te stellen.

Verder zijn voor de chrysantenteelt de economische rendementen van vier verschillende wijzen van warmtelevering vergeleken: verwarmingsketel, WKK, warmtepomp en aardwarmte. Hierbij is met name de warmtepomp verder uitgediept, omdat deze gepaard gaat met het leveren van koude in de zomerperiode. De inzet van koude kan teeltvoordeel bieden door een hogere CO<sub>2</sub>-concentratie in de zomer aan te houden en bijvoorbeeld de temperatuur onder het gesloten verduisteringsscherm 's zomers te beheersen. Hiermee wordt de warmtevraag licht verhoogd. Daartegenover staat dat de warmteogst van een koelinstallatie van 150 W/m<sup>2</sup> voldoende warmte oplevert om een chrysantenkas voor een heel jaar van warmte te voorzien. Een investering in een warmtepomp gaat daarom gepaard met investeringen in luchtbehandelingskasten en seizoensopslag van warmte (bijvoorbeeld in een aquifer).

In Figuur a is de winstgevendheid van de vier verschillende opties weergegeven bij een gasprijs van 0,25 €/m<sup>3</sup> (exclusief energiebelasting) als functie van de elektriciteitsprijs (exclusief transportkosten). Bij de investeringskosten van de vier wijzen van warmtelevering, is uitgegaan van de uitgangspunten uit Tabel b.



**Figuur a** Winstgevendheid (EBITDA minus de investeringskosten van de verwarmingsapparatuur voor WKK, ketel, warmtepomp en aardwarmte) bij een gasprijs van 0,25 (boven) excl. 0,03 €/m<sup>3</sup> energiebelasting, bij verschillende elektriciteitsprijzen (excl. transportkosten).

Tabel b

Uitgangspunten investeringskosten WKK, ketel, warmtepomp (inclusief kaskoelers en warmtepomp) en aardwarmte.

		WKK	ketel	Warmtepomp	Aardwarmte
Investeringsprijs	€/m <sup>2</sup>	46.2	10	40.5	100
Afschrijving	%	10%	7%	7%	7%
Onderhoud	%	4%	1%	2%	1%
Jaarkosten	€/m <sup>2</sup>	7.4	1.0	4.5	10.0

Geconcludeerd wordt, dat er veel opties zijn om het warmtegebruik bij chrysant te verlagen en dat er bij een hoge gasprijs en een lage elektriciteitsprijs, de configuraties zonder gas (warmtepomp of aardwarmte) rendabeler worden dan een WKK. Dit biedt mogelijkheden om te komen tot een klimaatneutrale kas.

# 1 Inleiding

## 1.1 Probleemstelling

Een van de ambities van het programma Kas als Energiebron is, dat vanaf 2020 in nieuw te bouwen kassen op economisch rendabele wijze netto klimaatneutraal wordt geproduceerd, dus netto zonder de inzet van fossiele energie. Bij chrysant zijn voor wat betreft besparing op het warmtegebruik al flinke stappen gemaakt. Een concreet voorbeeld daarvan is Het Nieuwe Telen. In een door Kas als Energiebron gefinancierd en door WUR en DLV Plant uitgevoerd onderzoeksproject op het praktijkbedrijf van Arcadia is gebleken dat de techniek LBK en luchtslurf boven het gewas heel geschikt is voor toepassing op een chrysantenbedrijf (zie Figuur 1). Het warmtegebruik is hierbij met ongeveer 30% teruggebracht tot 20 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.jaar aardgasequivalenten. Om een volgende stap te zetten richting een chrysantenteelt zonder fossiele energie moet worden onderzocht in hoeverre de warmtevraag nog verder kan worden verkleind en of de benodigde resterende warmtevraag duurzaam kan worden opgewekt.



**Figuur 1** Proefvak met luchtbehandelingskast en slurf bij Arcadia.

## 1.2 Doelstelling

### *Energiedoelstelling*

Een concept voor de chrysantenteelt waarmee het warmtegebruik en elektriciteitsverbruik beperkt wordt tot 10 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.jaar en 100 kWh/m<sup>2</sup>.jaar, en waarmee de huidige productie en kwaliteit geborgd blijft.

### *Technische doelstelling*

Een optimale configuratie voor de levering van de benodigde elektriciteit, warmte, koude en CO<sub>2</sub>. In het bijzonder wordt hierbij gekeken in hoeverre koude en warmte kunnen worden geleverd door een warmtepomp met aquifer. Door in de zomer koeling in te zetten, kan de zomerkwaliteit worden verbeterd en warmte worden geogst. Door deze geogste warmte te benutten kan chrysant wellicht zonder inzet van gas voor warmte worden geteeld.





## 2 Methode

### 2.1 Aanpak

Met literatuuronderzoek en interviews worden verschillende opties voor besparing op de warmtevraag en levering van alternatieve warmtebronnen geïnventariseerd.

Door simulaties worden voor de verschillende (combinaties van) opties voor besparing op de warmtevraag, de warmtestromen berekend en de investeringsruimte bepaald.

### 2.2 Opties voor een duurzame verwarming

De opties zijn ingedeeld in drie categorieën: Besparing op de warmtevraag (met of zonder investeringen) en inzet van duurzame warmte.

#### 2.2.1 Besparing op warmtevraag zonder investeringen

##### **Selectieve inzet van de minimum buis op de onderverwarming**

Uit de proef bij Arcadia [Raaphorst et al., 2015b] is gebleken dat de inzet van de onderverwarming tijdens de eerste vier à vijf weken van de teelt niet nodig is om de luchtvochtigheid te beheersen. Alleen in de winter, is de onderverwarming vrijwel altijd nodig om het gewas op temperatuur te houden. Aangezien ongeveer 2/3<sup>e</sup> deel van de jaarlijkse warmte wordt ingebracht via het ondernet, kan met het uitschakelen van de onderverwarming al veel worden bespaard op het warmtegebruik.

##### **Telen bij een lagere kasttemperatuur**

Tests hebben laten zien dat met 1°C lagere kasttemperatuur nauwelijks bloeivertraging wordt verkregen [Corsten et al., 2011]. In de proef bij Arcadia is gevonden dat bij luchtbeweging of een lagere RV een kortere reactietijd wordt gerealiseerd. Dit betekent dat om een bepaalde reactietijd te krijgen, er kan worden gekozen tussen het stimuleren van luchtbeweging, het verlagen van de RV of het verhogen van de kasttemperatuur. Deze drie middelen kunnen dan worden uitgewisseld, en alleen ingezet op de momenten dat dit het meest voordelig is. Hierbij dient te worden aangetekend dat het afvoeren van vocht lastiger wordt naarmate de kasttemperatuur lager is.

##### **Telen bij een hogere RV**

Vanwege het risico op vochtgerelateerde problemen als Japanse roest (*Puccinia horiana*) en smet (*Botrytis cinerea*) wordt bij chrysant vaak een lage RV ( $\pm 88\%$ ) aangehouden. In dit onderzoek zal niet worden onderzocht wat het effect is van een hogere RV op dit risico, maar wel op het energiegebruik. De verwachting is, dat bij een hogere isolatiegraad (dubbel scherm, dubbel glas) de temperatuurverdeling in de kas beter is en er (ook bij een hogere RV) minder risico op gewascondensatie is.

##### **Meerdaagse temperatuurintegratie**

Meerdaagse temperatuurintegratie houdt in de praktijk vooral in dat op dagen met veel wind en weinig zon een lagere temperatuur wordt geaccepteerd, terwijl deze lagere temperatuur binnen enkele dagen wordt gecompenseerd als er minder wind en meer zon is. Hiermee wordt de teeltduur niet verkort en wordt de warmte efficiënter ingezet.

## 2.2.2 Besparing op warmtevraag met investeringen

### **Thermische isolatie**

De meest gebruikte toepassing van thermische isolatie in de glastuinbouw is de installatie van een of meerdere beweegbare schermdoeken. Daarnaast zijn in Nederland ook enkele kassen uitgevoerd met een dubbelwandig kasdek zoals dubbel glas of polycarbonaat. Momenteel loopt bij Wageningen UR glastuinbouw ook een proef met een dubbelwandig kasdek met aan de buitenkant een laag glas en aan de binnenzijde een laag helder folie (zie Figuur 2). In dit onderzoek zal een kasdek met dubbel glas worden vergeleken met enkel glas en een extra schermdoek.



**Figuur 2** Dubbelwandig kasdek met glas en folie [Bron: 2SaveEnergy.nl].

### **Inzet van druppelsslangen voor irrigatie**

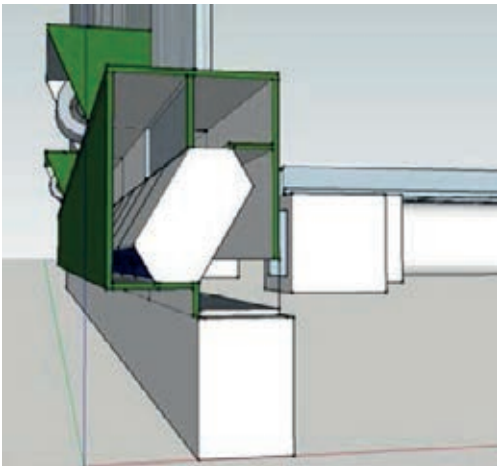
In [Raaphorst et al., 2010] is een schatting gemaakt van de benodigde verdampingsenergie om het gewas na berekening weer droog te krijgen. Bij deze schatting was het lastig te bepalen of voor deze extra verdamping extra warmte moet worden ingezet, of dat de meeste warmte door de zon of door de lampen wordt geleverd. Door een simulatie met Kaspro uit te voeren, wordt in deze studie een nauwkeuriger schatting gegeven.

## 2.2.3 Inzet van duurzame warmte

### **Terugwinnen van (latente) warmte tijdens ontvochtiging**

Een belangrijk onderdeel van Het Nieuwe Telen is het afvoeren van vochtige lucht uit een geïsoleerde kas. Door de latente warmte uit deze vochtige lucht terug te winnen kan duurzame warmte worden verkregen.

Een voor de hand liggende toepassing hiervan is de regain unit (zie Figuur 3). Hierbij wordt de binnenkomende koele droge lucht in een lucht-luchtwarmtewisselaar opgewarmd door warme en vochtige kaslucht. De binnenkomende buitenlucht kan hiermee 60 à 80% tot de temperatuur van de kaslucht worden opgewarmd.



**Figuur 3** Doorsnede van een regain unit in de gevel [Kempkes en Janse, 2013].

### **Koeling en seizoensopslag van geogste warmte (bijvoorbeeld warmtepompen en aquifer)**

Een andere vorm van terugwinning van latente warmte is luchtkoeling tot onder de dauwpuntstemperatuur. Hierbij wordt de kaslucht gekoeld met een water-lucht warmtewisselaar, waar vocht op condenseert. In verband met gebrek aan ruimte tussen het chrysantengewas, zullen luchtbehandelingskasten boven het gewas moeten worden geplaatst.

Bij deze vorm van warmteterugwinning is een warmtepomp en een seizoensbuffer nodig. De warmtepomp levert koude voor de luchtkoeling en kan de geogste warmte opwaarderen naar een temperatuur die hoog genoeg is om een kas mee te verwarmen. De seizoensbuffer is nodig omdat het zelden voorkomt dat tegelijkertijd warmte en koude nodig is. Met een seizoensbuffer (meestal een aquifer) kan in de zomer koude worden geleverd en in de winter warmte.



**Figuur 4** Voorbeeld van luchtbehandelingskasten boven het gewas, met koelfunctie of LT verwarmingsfunctie [foto: [www.lekhabo.nl](http://www.lekhabo.nl)].

**Inzet van aardwarmte**

Aardwarmte krijgt een steeds groter aandeel in de warmtevoorziening van de glastuinbouw. De toepassing ervan is afhankelijk van de beschikbaarheid van aardwarmte en van het patroon in de warmtevraag. Voor bedrijven met een vlak gebruikspatroon voor warmte, is aardwarmte sneller een interessante optie. Om iedere m<sup>3</sup> opgepompt warm water zo goed mogelijk te benutten, is een apart laag temperatuur net aan te bevelen.

## 3 Berekeningen

### 3.1 Referentiebedrijf

Van het referentiebedrijf waarmee met Kaspro is gerekend, staan de eigenschappen en instellingen vermeld in Bijlage 1. Samengevat komt het neer op een Venlokas met een 70 W/m<sup>2</sup> belichtingsinstallatie en een verduisteringsscherm. De D/N stooktemperatuur is 20/19 °C bij een vochtafhankelijke minimum buistemperatuur van 35 °C op het ondernet. De streefwaarde van de RV is gesteld op 88% en voor CO<sub>2</sub> op 800 ppm met een maximum doseercapaciteit van 180 kg/m<sup>2</sup>.uur. Voor het buitenklimaatbestand is een willekeurig jaar (2011) van het weerstation in Bleiswijk gebruikt.

Voor dit referentiebedrijf zou een ketel ruim 26,3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.jaar aan aardgas moeten verstoken (zie Tabel 1) bij een gewasverdamping van 658 l/m<sup>2</sup>.jaar. Uit de rookgassen van de ketel kan 24,9 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.jaar worden gedoseerd. Om aan de CO<sub>2</sub>-vraag van 46 kg/m<sup>2</sup>.jaar te voldoen, moet dus nog 21 kg/m<sup>2</sup>.jaar aan zuivere CO<sub>2</sub> worden ingekocht. Als dat niet gebeurt, zullen er 72 dagen per jaar zijn, waarbij de CO<sub>2</sub>-concentratie in de kas lager wordt dan 500 ppm.

De temperatuursetpoints (D/N: 20/19) worden gemiddeld ruim behaald (D/N: 21,4/19,6), maar het RV-setpoint van 88% wordt met 90,1% in de nacht ruim overschreden.

Als alle warmte met een ketel wordt opgewekt, moet nog 140 kWh/m<sup>2</sup>.jaar aan elektriciteit worden ingekocht voor de belichting.

### 3.2 Effecten per besparingsoptie

Een aantal combinaties van besparingsopties is doorgerekend en weergegeven in Tabel 1. In deze paragraaf wordt uitgezet wat de invloed is van de individuele opties op het gasverbruik, de gewasverdamping en de luchtvochtigheid.

De berekeningen van Tabel 1 dienen als volgt te worden geïnterpreteerd:

1. Verdamping geeft aan hoeveel l/m<sup>2</sup> het gewas in een jaar verdampt. Dit is exclusief de damp die vrijkomt bij het drogen van het gewas na een gietbeurt. Een hoge verdamping wordt door telers vaak gewaardeerd omdat makkelijker nutriënten kunnen worden opgenomen en hiermee bladkwaliteit beter zou worden.
2. Het gasverbruik geeft aan hoeveel gas moet worden gebruikt om de kas te verwarmen. Er is niet van uitgegaan dat er apart gas wordt verstoekt voor de dosering van CO<sub>2</sub>. Ook is het gasverbruik voor het stomen niet meegenomen.
3. De CO<sub>2</sub>-dosering ketel is de hoeveelheid die beschikbaar komt bij het berekende gasverbruik uit de ketel als maximaal 180 kg/ha.uur kan worden gedoseerd en gestreefd wordt naar een CO<sub>2</sub>-concentratie van 800 ppm. Hierbij is uitgegaan van een warmtebuffer van 120 m<sup>3</sup>/ha. Hoe minder gas er gebruikt is, hoe minder CO<sub>2</sub> er kan worden gedoseerd.
4. De CO<sub>2</sub>-vraag is de hoeveelheid CO<sub>2</sub> die wordt ingezet als altijd 180 kg CO<sub>2</sub>/ha.uur voorradig is. Deze vraag wordt lager als er minder wordt geventileerd met de luchtramen.
5. De CO<sub>2</sub>-inkoop is het verschil tussen de CO<sub>2</sub>-vraag en de CO<sub>2</sub>-dosering met de ketel.
6. Het aantal dagen dat de gemiddelde CO<sub>2</sub>-concentratie lager ligt dan 500 ppm, is een indicatie voor productiederving door CO<sub>2</sub>-tekort.
7. De gemiddelde nachttemperatuur is een grove indicatie voor de reactiesnelheid. Hoe hoger de nachttemperatuur, hoe korter de reactietijd is.
8. De gemiddelde nachtRV is een indicatie voor het risico op ziekten.
9. De gemiddelde dagtemperatuur is een grove indicatie voor de groeikracht en de reactiesnelheid.

Bij al deze berekende waarden dient te worden aangetekend dat het jaargemiddelden of jaarsommen betreft. Ten behoeve van de overzichtelijkheid zijn de minimum en maximum waarden niet weergegeven.

Tabel 1

Verdamping, gasverbruik, CO<sub>2</sub>-dosering met de verwarmingsketel, aantal dagen met gemiddeld minder dan 500 ppm CO<sub>2</sub>, gemiddelde dag- en nachttemperatuur, en de gemiddelde nacht-RV, bij verschillende configuraties en klimaatinstellingen.

	Ref	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Geen minbuis			x	x	x	x	x	x	x	x	x		
Temp. 19/18°C						x	x	x	x	x			
TI 72 uur		x		x	x	x	x	x	x	x	x		
RV 93%					x	x	x	x	x	x			
Druppelslangen				x	x	x			x	x	x	x	
Dubbel Glas									x	x			
2e Scherm								x				x	
Inblazen lucht			x				x	x	x	x	x		
Regain unit			x				x	x		x			
Koeling												x	x
gasverbruik	32.6	32.4	26.5	29.2	23.4	19.2	19.0	15.8	9.0	8.2	25.8	31.3	32.7
CO <sub>2</sub> dos ketel	30.5	30.2	24.7	26.3	19.8	17.2	17.3	17.0	12.0	11.2	25.3	27.7	29.2
CO <sub>2</sub> vraag	46.7	46.3	44.1	45.6	38.0	40.3	39.6	39.8	46.9	46.8	44.5	37.1	38.2
CO <sub>2</sub> inkoop	16.2	16.1	19.4	19.3	18.2	23.1	22.3	22.8	34.9	35.6	19.2	9.4	9.0
dagT>25	21.5	21.5	21.6	21.4	21.8	21.1	21.2	21.3	21.8	21.9	21.5	21.5	21.5
nachtT<19	19.3	19.3	19.1	19.1	19.1	18.2	18.1	18.1	18.3	18.3	19.1	19.3	19.3
nachtRV>93	84.5	84.6	84.8	84.0	85.6	86.3	87.3	88.2	89.7	89.8	84.8	83.9	84.6
verdamping	704	703	693	704	674	663	651	646	688	689	697	685	675

### 3.2.1 Zonder minimum buis

Het loslaten van de minimum buistemperatuur van 35°C van de onderverwarming (Case 2-10) betekent dat de luchtvochtigheid direct wordt gestuurd door ventilatie (luchtramen, schermkieren of eventueel buitenlucht inblazen). Pas als de temperatuur wegzakt onder de stooktemperatuur, wordt de buistemperatuur verhoogd. Dit heeft als gevolg dat bij een hoge buitentemperatuur nauwelijks warmte wordt ingezet. Dit leidt dan tot een iets lagere etmaaltemperatuur, minder gewasverdamping en minder vochtafvoer.

Als case 1 en 3 met elkaar worden vergeleken, dan blijkt dat de minimum buis in combinatie met druppelslangen een besparing van 3,2 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.jaar oplevert. Uitgaande van een besparing van ± 1,4 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> voor de druppelslangen (zie paragraaf 3.2.5), resteert een besparing van 1,8 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.jaar door het loslaten van de minimum buis. Het loslaten van de vaste minimum buistemperatuur zal meer effect hebben als een hogere RV dan 88% wordt geaccepteerd.

### 3.2.2 Lager setpoint stooktemperatuur

In de cases 5-9 van Tabel 1 wordt in plaats van een D/N temperatuur van 20/19 een D/N temperatuur van 19/18 °C aangehouden. Als cases 4 en 5 met elkaar worden vergeleken, dan blijkt dat 1°C lagere etmaaltemperatuur 4,2 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.jaar kan besparen. Doordat de ventilatielijn is gekoppeld aan de stooklijn, wordt vaker geventileerd is 2,3 kg/m<sup>2</sup>.jaar meer CO<sub>2</sub> nodig.

### 3.2.3 Meerdaagse temperatuurintegratie

Door het verhogen van de integratietijd van 24 naar 72 uren wordt slechts weinig bespaard op de warmtevraag. Als Case 1 wordt vergeleken met de referentie, dan blijkt het verschil in warmtevraag zeer gering te zijn.

### 3.2.4 Hoger RV setpoint

Door het RV setpoint te verhogen van 88% naar 93% (Case 4-9), wordt er veel minder geventileerd. Dit blijkt een groot effect te hebben op het energiegebruik. Als Case 3 en 4 met elkaar worden vergeleken, dan blijkt hieruit een verlaagd gasgebruik van 5,8 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.jaar. Het gevolg is wel dat de gemiddelde nacht-RV stijgt van 84,0 naar 85,6% en de gewasverdamping op jaarbasis daalt van 704 naar 674 l/m<sup>2</sup>.jaar, wat een daling van ruim 4% is.

### 3.2.5 Druppelslangen

Door druppelslangen in te zetten in plaats van gewasberegening (Case 3-5, 10 tot 11), is minder warmte nodig voor de opdroging van het gewas, wordt een lagere RV gerealiseerd en kan het gewas meer verdampen. Als case 11 en 12 met elkaar worden vergeleken, dan blijkt de besparing op het gasverbruik 1,4 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.jaar te zijn, terwijl de gemiddelde nacht RV met 0,7% daalt en de gewasverdamping met 10 l/m<sup>2</sup>.jaar stijgt.

### 3.2.6 Isolatie (Dubbel glas of 2<sup>e</sup> scherm)

Door de kas beter te isoleren met dubbel glas (Case 8 en 9) of een tweede scherm (Case 7 en 10) verliest de kas minder warmte, maar kan er minder vocht condenseren tegen koude kasdelen en stijgt de RV. Het gebruik van schermkieren kan die hoge RV voorkomen en zelfs gebruik maken van condensatie tegen het extra koude kasdek. Omdat schermkieren vaak gepaard gaat met horizontale temperatuurverschillen, is voor alle cases met isolatie gerekend met het inblazen van buitenlucht. Als case 6 en 9 met elkaar worden vergeleken, dan blijkt dat het dubbel glas plus druppelslangen 10,8 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.jaar besparen. Hiervan is verreweg het grootste deel ( $\pm 9,4$  m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.jaar) toe te schrijven aan het dubbele glas. Opvallend is, dat de verdamping onder dubbel glas hoger is. Dat is te verklaren door het warmere kasdek, waardoor het gewas (met name bij zonnig weer) minder afkoelt door uitstraling en meer warmte overhoudt voor verdamping.

Vergelijking van case 6 en 7 laat zien dat het tweede scherm 3,2 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.jaar bespaart. Dat is fors minder dan dubbel glas.

### 3.2.7 Inblazen van droge buitenlucht

Het inblazen van droge buitenlucht geeft een lichte verlaging van het gasverbruik, maar belangrijkste doel is om de luchtvochtigheid in een goed geïsoleerde kas nauwkeuriger te beheersen. In Cases 2 en 6-10 is gerekend met maximaal 5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> buitenlucht die kan worden ingeblazen. De besparing loopt uiteen van 0,4 tot 1 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.jaar (niet in tabel opgenomen).

### 3.2.8 Regain unit

De regain unit (Case 2 en 9) zorgt ervoor dat het warmteverlies door ontvochtiging met ingeblazen buitenlucht beperkt blijft. Afhankelijk van het type warmtewisselaar (kruisstroom of tegenstroom; groot of klein oppervlak), kan een rendement van 60% tot 95% worden gerealiseerd. Gerekend is met een rendement van 80%, ofwel de buitenlucht wordt door de regainunit voor 80% opgewarmd tot de kastemperatuur. Als de energiezuinige Cases 8 en 9 met elkaar worden vergeleken, dan blijkt de regain unit nog steeds 0,8 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.jaar te besparen, wat een relatieve besparing van 10% is.

De besparingspotentie van de regain unit is afhankelijk van de hoeveelheid buitenlucht die wordt ingeblazen. Als een lagere RV wordt aangehouden, wordt er meer ontvochtigd en kan de regain unit het hieruit volgende energieverlies beperken. Wel zal er rekening mee moeten worden gehouden dat het rendement (dat in de berekeningen is gesteld op 80%) lager zal worden bij een lage kas-RV. Bij een lage kas-RV zal immers minder condensatie plaatsvinden en dus minder warmte worden overgedragen aan de ingeblazen buitenlucht. Ook als het gewas wordt beregend en er dus vaker moet worden ontvochtigd dan bij gebruik van druppelslangen, heeft een regain unit meer effect.

### 3.2.9 Koeling

Door de kas te koelen (Case 11 en 12) met maximaal 150 W/m<sup>2</sup> komt er een zeer lichte stijging van de warmtevraag. Vergelijking van Case 12 met de referentie laat zien dat er 0,1 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.jaar meer aardgas nodig is. Ook de benodigde CO<sub>2</sub> inkoop is berekend alsof de verwarmingsketel wordt ingezet voor de levering van warmte en CO<sub>2</sub>. Hierbij is er geen rekening mee gehouden dat door koeling ook warmte kan worden geoogst (zie paragraaf 3.5.2) die na opslag in een aquifer met een warmtepomp kan worden ingezet. Aangezien met deze koeling ±23 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.jaar aan aardgasequivalenten is te oogsten en de benodigde elektriciteit voor de warmtepomp (55 kWh/m<sup>2</sup>) ±6 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.jaar aan warmte geeft, is er nauwelijks aardgas nodig, maar moet wel CO<sub>2</sub> worden ingekocht.

## 3.3 Algemene evaluatie van de besparingsopties

Met alle genoemde opties is een gasverbruik van minder dan 10 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.jaar mogelijk. Het toelaten van een hogere luchtvochtigheid en het isoleren van de kas geven de grootste verlaging van het warmtegebruik. Het toelaten van een hogere luchtvochtigheid is voor telers echter moeilijk te accepteren omdat bij condensatie op het gewas, schade door roest of smet meer kan kosten dan wat energiebesparing kan opleveren. Het toelaten van een hogere RV zal dan gepaard moeten gaan met maatregelen die de luchtvochtigheid beheersen, zoals isolatie (in combinatie met ontvochtiging) en druppelslangen.

Vrijwel alle energiebesparende opties beperken de beschikbare hoeveelheid te doseren CO<sub>2</sub>, waardoor de hoeveelheid in te kopen CO<sub>2</sub> hoger wordt. Koeling beperkt het CO<sub>2</sub>-verlies, maar door vervanging van gasverbranding door de inzet van een warmtepomp, stijgt dan ook de benodigde CO<sub>2</sub>-inkoop. Wel is het met koeling mogelijk om ook in de zomer met minder dosering relatief hoge CO<sub>2</sub>-concentraties te bereiken. Bij de opties is geen rekening gehouden met besparing op belichting. In een vorige studie [Raaphorst et al., 2015a] zijn vele besparingsopties genoemd die kunnen leiden tot een verlaging van de belichtingsbehoefte tot minder dan 100 kWh/m<sup>2</sup>.jaar. Afhankelijk van de toe te passen opties, zal een besparing op de hoeveelheid elektriciteit voor belichting de warmtevraag verhogen met ongeveer 2 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.

De mate van besparing per optie is afhankelijk van de volgorde waarin de opties worden ingezet. Zo heeft bijvoorbeeld het loslaten van de minimumbuis meer invloed ten opzichte van een kas met een hoge ingestelde RV en dubbel glas dan ten opzichte van de referentie. Om toch inzicht te bieden in de besparingspotentie per optie, is in Bijlage 2 een multi-pele regressieanalyse van 47 verschillende combinaties weergegeven. Op basis van deze multi-pele regressieanalyse wordt in Tabel 2 de besparingspotentie per optie weergegeven.



Tabel 2  
*Schatting besparingen op warmtegebruik (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.jaar a.e.)*

Optie	Besparing
Zonder minimum buis	2,6
1°C lager setpoint stooktemperatuur	3,2
5% hoger RV setpoint	5,3
Druppelslangen	1,1
Dubbel glas	11,1
2 <sup>e</sup> schermdoek	2,9
Inblazen van droge buitenlucht	0,3
Regain unit	2,1
Koeling <sup>1</sup>	-0,1

### 3.4 Economische afweging besparingsopties

In deze paragraaf wordt voor de verschillende besparingsopties berekend wat de investeringsruimte zou zijn, uitgaande van een gasprijs van 0,25 €/m<sup>3</sup> en een rentepercentage van 4% (gerekend over de helft van de investering).

#### 3.4.1 Druppelslangen

Druppelslangen geven een directe besparing op de warmtevraag van 1,1 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.jaar en omdat met druppelslangen eerder een hoge RV mag worden geaccepteerd kan de totale besparing nog verder oplopen naar bijvoorbeeld 2 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.jaar. Deze besparing levert bij een afschrijvingstermijn van 5 jaar, en een onderhoudspercentage van 5%, een investeringsruimte van 1,85 €/m<sup>2</sup>. Voorwaarde hierbij is, dat de druppelslangen een gelijkmatige verdeling kunnen realiseren (en dus niet verstopt raken). Ook moet rekening worden gehouden met extra arbeid tijdens teeltwisselingen. Mogelijk biedt het gebruik van druppelslangen een teeltverbetering doordat bij een nat gewas de gewastemperatuur tijdelijk lager wordt dan de streefwaarde en bovendien de opname van CO<sub>2</sub> moeilijker is.

#### 3.4.2 Isolatie en ontvochtiging

Met dubbel glas wordt ruim 11 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.jaar bespaard. Bij een afschrijvingstermijn van 15 jaar en 0,5% onderhoud, is de investeringsruimte ongeveer 29 €/m<sup>2</sup>. Hierbij is geen rekening gehouden met een potentieel productieverlies door een lagere lichttransmissie, of door het accepteren van een hogere RV doordat er minder waterdamp tegen het kasdek condenseert.

Een tweede schermdoek bespaart 2,9 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.jaar. Bij een afschrijvingstermijn van 7 jaar en 5% onderhoud komt dit neer op een investeringsruimte van 3,50 €/m<sup>2</sup>. Hierbij is geen rekening gehouden met ongeveer 2-3% lichtverlies vanwege het extra scherpakket.

Een installatie die droge buitenlucht kan inblazen, bespaart op zich vrijwel geen energie. Vaak wordt de installatie aangeschaft als een voorwaarde voor intensievere isolatie. De investeringsruimte kan pas worden bepaald als alle voordelen (zoals vaker schermen, betere vochtbeheersing) kunnen worden gekwantificeerd.

<sup>1</sup> Door koeling stijgt warmtevraag licht. In de tabel is geen rekening gehouden met een elektriciteitsverbruik voor de warmtepomp (55kWh/jaar) en bruikbare geogste warmte (± 29 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> jaar a.e.)

### 3.4.3 Regain unit

De regain unit is alleen mogelijk in combinatie met een installatie die buitenlucht inblaast. Het bespaart 2,1 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.jaar. Bij een afschrijvingstermijn van 10 jaar en 5% onderhoud, is de investeringsruimte 3,10 €/m<sup>2</sup>. Bij een hoge efficiency van de regain unit is het wellicht mogelijk om zonder naverwarming te werken wat de investeringen in het systeem sterk kan beperken.

## 3.5 Warmtevoorziening

De warmtevoorziening bij de huidige chrysantenbedrijven bestaat meestal uit een combinatie van een verwarmingsketel en een WKK. In deze paragraaf worden daarnaast aardwarmte en warmtepomp geëvalueerd.

### 3.5.1 Aardwarmte

Uitgaande van een investering van ± € 10 M€ en een verwarmend vermogen van 7,5 MW<sub>th</sub> (150 m<sup>3</sup>/h met een uitkoeling van 40°C) is in studies [Vermeulen, 2013] berekend, dat aardwarmte kan concurreren met een WKK bij een aardgasprijs hoger dan 0,25 tot 0,41 €/m<sup>3</sup>. Dit is met name afhankelijk van de hoeveelheid CO<sub>2</sub> die moet worden gedoseerd (60 respectievelijk 200 kg/ha.uur). In Tabel 3 worden de investeringskosten van aardwarmte vergeleken met die van andere mogelijkheden om aan warmte te komen. Hierbij is voor aardwarmte uitgegaan van een verwarmend vermogen van 7,5 MW<sub>th</sub> per doublet voor een kasoppervlak van 13,3 hectare (± 100 W/m<sup>2</sup>). Dit komt neer op een investeringsprijs van 10 M€ per 13,3 ha, ofwel 75 €/m<sup>2</sup>.

### 3.5.2 Kaskoeling+warmtepomp+aquifer

Een warmtepomp kan aan een bron met een lage temperatuur warmte onttrekken en deze warmte bij een hogere temperatuur afgeven. Hierdoor kan een warmtepomp geschikt worden gemaakt voor zowel koeling als verwarming.

Door koeling van de kas stijgt de warmtevraag een klein beetje, maar bij een koelcapaciteit van 150 W/m<sup>2</sup> is de geogste warmte ruim voldoende om 29 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.jaar op het gasverbruik te besparen. Als koeling alleen wordt ingezet op warmte te oogsten, kan worden overwogen om met een lagere koelcapaciteit te werken. Met een koelcapaciteit van 100 W/m<sup>2</sup> kan op jaarbasis 19 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> aan aardgasequivalenten worden geogst en met een koelcapaciteit van 50 W/m<sup>2</sup> is dat nog 12 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.jaar. Indien de warmtevraag kan worden teruggedrongen naar 15 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.jaar, kan worden overwogen om met een lagere koelcapaciteit de investeringskosten (4,5 €/m<sup>2</sup>.jaar volgens Tabel 3) te beperken.

### 3.5.3 Warmtepomp zonder aquifer of luchtbehandelingskast.

In voorgaand onderzoek [de Zwart et al., 2011] is ook een optie met een warmtepomp geëvalueerd waarbij geen aquifer noch luchtbehandelingskasten worden gebruikt. De warmte wordt dan direct onttrokken uit de buitenlucht of uit (stromend) oppervlaktewater. Het voordeel van deze optie is dat de investeringskosten laag zijn. Het belangrijkste nadeel is de hogere elektriciteitsinput en capaciteit voor de warmtepomp. Zonder aquifer moet namelijk de warmte in de winter worden onttrokken uit koudere bronnen, en zonder luchtbehandelingskast moet een hogere temperatuur voor het verwarmingswater worden geleverd. Beide gevolgen verlagen de COP van de warmtepomp. Bij de economische afweging (paragraaf 3.5.4) wordt ervan uitgegaan dat het elektriciteitsgebruik van de warmtepomp zonder aquifer of LBK 30% hoger ligt dan met aquifer en LBK.

### 3.5.4 Economische afweging warmtevoorzieningsopties

Een warmtepomp kan de aanschaf van een WKK overbodig maken. Dit is vooral interessant als de elektriciteitsprijs laag is en de gasprijs hoog, want een WKK gebruikt gas en levert elektriciteit, terwijl een warmtepomp elektriciteit gebruikt. Om een vergelijking te maken tussen de WKK, de verwarmingsketel en de warmtepomp (inclusief kaskoeling en aquifer) zijn in Figuur 6 de EBITDA weergegeven voor verschillende energieprijzen. EBITDA betekent Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization. Deze is berekend door van de jaaropbrengst de variabele kosten af te trekken, zoals die van:

- Stekmateriaal.
- Bemesting.
- Energie.
- Arbeid.
- Transport.
- Veiling.

Door van de EBITDA de rente, afschrijving en onderhoud van de ketel, de WKK of de warmtepomp-configuratie af te trekken (zie Tabel 3), kan de winstgevendheid van de drie systemen met elkaar worden vergeleken. Als de warmtevraag daalt tot 67% van 30 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.jaar (=20 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.jaar), wordt gerekend dat de investeringsprijzen per meter voor warmtepomp en aardwarmte minder dan lineair (tot 74% van de prijs bij een warmtevraag van 30 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.jaar) dalen. Met deze minder dan lineair afname van de investeringsprijs ten opzichte van de warmtevraag wordt rekening gehouden met gemiste schaalvoordelen. Bij de aardwarmte optie bijvoorbeeld, zal hetzelfde doublet een groter oppervlak kunnen bedienen, wat wel een groter leidingennet met meer warmteverliezen tot gevolg zal hebben.

Tabel 3

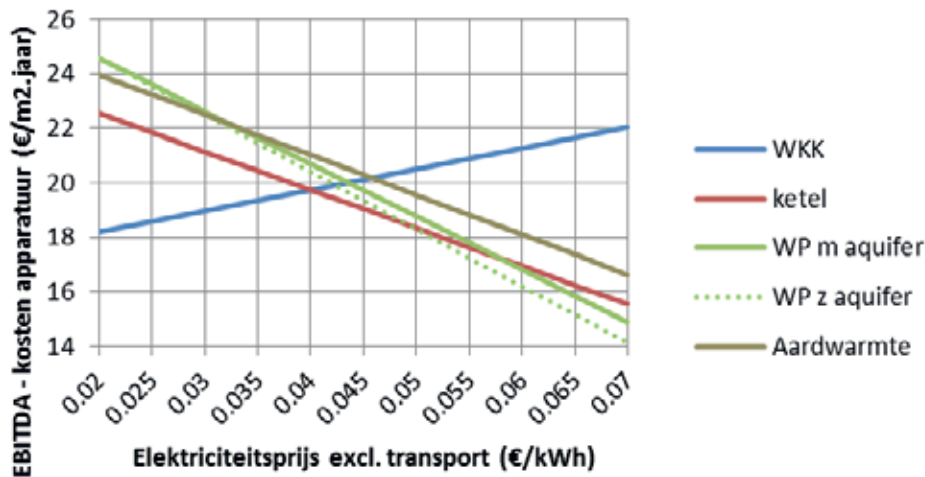
*Uitgangspunten investeringskosten WKK, ketel, warmtepomp en aardwarmte.*

		WKK	ketel	Warmtepomp incl. LBK en aquifer	Warmtepomp excl. LBK en aquifer	Aardwarmte
Investeringsprijs bij 30 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .jr	€/m <sup>2</sup>	46.2	10.0	40.5	20.3	75.0
Investeringsprijs bij 20 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .jr	€/m <sup>2</sup>	37.7	8.2	29.9	14.9	55.3
Afschrijving	%	10%	7%	7%	7%	7%
Onderhoud	%	4%	1%	2%	2%	1%
Jaarkosten bij 30 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .jr	€/m <sup>2</sup>	7.4	1.0	4.5	2.2	7.5
Jaarkosten bij 20 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .jr	€/m <sup>2</sup>	6.0	0.8	3.3	1.6	5.5

Bij het berekenen van de EBITDA in Figuur 5, Figuur 6 en Figuur 7 is meegenomen dat bij een warmtepomp met luchtbehandelingskasten productievoordeel kan worden behaald door een hogere CO<sub>2</sub>-concentratie in de kas met behulp van koeling. Ook is rekening gehouden met 12 kg lagere CO<sub>2</sub>-behoefte doordat de ramen meer gesloten kunnen blijven. Er is *geen* rekening gehouden met een hogere verkoopprijs omdat door koeling 's zomers de bloemkwaliteit beter kan worden gegarandeerd. Indien een hogere bloemkwaliteit zou leiden tot bijvoorbeeld 1 €/m<sup>2</sup>.jaar hogere opbrengst, dan dient in Figuur 5, Figuur 6 en Figuur 7 de lijn "Warmtepomp met aquifer" met 1 €/m<sup>2</sup>.jaar te worden opgehoogd. Ook is geen rekening gehouden met productieverlies vanwege lichtonderschepping van de koelinstallatie boven het gewas.

Uit Figuur 5 blijkt dat bij een gasprijs van 0,25 €/m<sup>3</sup> de warmtepomp-configuratie met aquifer en LBK winstgevender is dan de WKK-configuratie als de elektriciteitsprijs (excl. transport en belasting) lager ligt dan 0,043 €/kWh. Boven die prijs is de WKK-configuratie winstgevender. Tussen een elektriciteitsprijs van 0.032 en 0.046 €/kWh is aardwarmte het meest winstgevend. De warmtepomp-configuratie zonder aquifer en LBK ligt ondanks de lagere investeringskosten iets lager dan met aquifer en LBK. Dit is doordat zonder koeling meer CO<sub>2</sub> moet worden ingekocht en doordat de lagere COP leidt tot meer inkoop van elektriciteit.

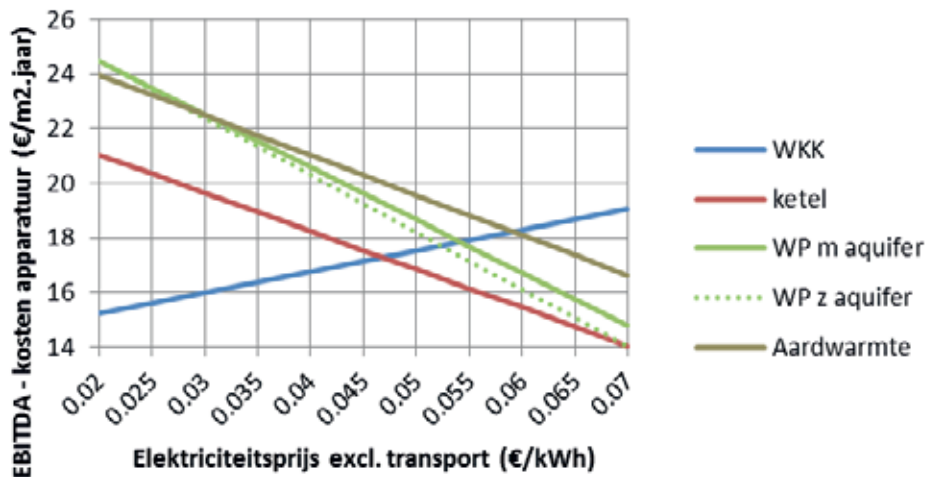
**Gasprijs: €0.25; Warmtevraag: 30 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>**



**Figuur 5** EBITDA minus de investeringskosten van de verwarmingsapparatuur voor WKK, ketel, warmtepomp en aardwarmte bij een gasprijs van 0,25 €/m<sup>3</sup> excl. 0,03 €/m<sup>3</sup> energiebelasting, bij verschillende elektriciteitsprijzen (excl. transportkosten).

Uit Figuur 6 blijkt dat bij een gasprijs van 0,30 €/m<sup>3</sup> de warmtepomp-configuratie met aquifer en LBK winstgevender is dan de WKK-configuratie als de elektriciteitsprijs (excl. transport en belasting) lager ligt dan 0,054 €/kWh. Boven die prijs is de WKK-configuratie winstgevender. Tussen een elektriciteitsprijs van 0.032 en 0.059 €/kWh is aardwarmte het meest winstgevend.

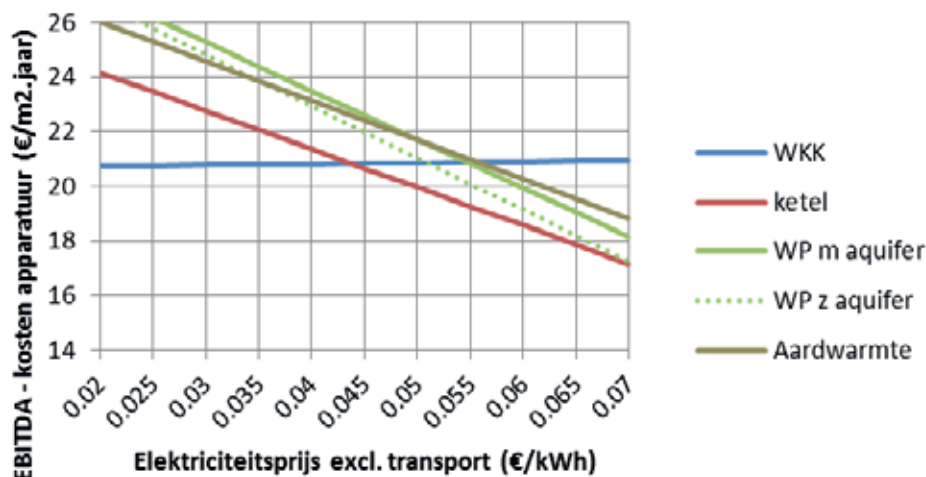
**Gasprijs: €0.3; Warmtevraag: 30 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>**



**Figuur 6** EBITDA minus de investeringskosten van de verwarmingsapparatuur voor WKK, ketel, warmtepomp en aardwarmte bij een gasprijs van 0,30 €/m<sup>3</sup> excl. 0,03 €/m<sup>3</sup> energiebelasting, bij verschillende elektriciteitsprijzen (excl. transportkosten).

Uit Figuur 7 blijkt dat bij een lagere warmtevraag en een gasprijs van 0,30 €/m<sup>3</sup> de warmtepomp-configuratie met aquifer en LBK winstgevender is dan de WKK-configuratie als de elektriciteitsprijs (excl. transport en belasting) lager ligt dan 0,054 €/kWh. Boven die prijs is de WKK-configuratie winstgevender. Tussen een elektriciteitsprijs van 0.051 en 0.055 €/kWh is aardwarmte het meest winstgevend.

### Gasprijs: €0.3; Warmtevraag: 20 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>



**Figuur 7** EBITDA minus de investeringskosten van de verwarmingsapparatuur voor WKK, ketel, warmtepomp en aardwarmte bij een lagere warmtevraag en een gasprijs van 0,30 €/m<sup>3</sup> excl. 0,03 €/m<sup>3</sup> energiebelasting, bij verschillende elektriciteitsprijzen (excl. transportkosten).

#### 3.5.5 Discussie warmtevoorzieningsopties

De winstgevendheid die in de vorige paragrafen voor verschillende opties van warmtevoorziening is berekend, is afhankelijk van veel onbekende factoren, en dient daarom als indicatief te worden beschouwd. Zo zijn bijvoorbeeld de investeringskosten (gerekend met 10 M€/doublet), het te bereiken debiet (gerekend met 150 m<sup>3</sup>/h) en uitkoeling (gerekend met 40°C) van aardwarmte zeer onzeker. Datzelfde geldt voor het gebruik van een warmtepomp, waarbij met name de te realiseren COP (gerekend met 4,5) grote invloed heeft op de winstgevendheid. Ook is geen rekening gehouden met de mogelijkheid om meerdere opties te mixen, bijvoorbeeld het gebruik van aardwarmte of een warmtepomp voor de basislast en een ketel voor de piekcapaciteit.



## 4 Conclusies en aanbevelingen

### 4.1 Conclusies

Met een combinatie van meerdere warmtebesparende opties is de warmtevraag terug te brengen naar minder dan 10 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.jaar aan aardgasequivalenten. De belangrijkste besparing wordt bereikt door het gebruik van dubbel glas, gevolgd door het accepteren van een hoger RV setpoint.

Om te komen tot een chrysantenkas zonder gebruik van aardgas zijn verschillende opties doorgerekend. Een van die opties is aardwarmte. Uitgaande van een investeringsprijs van 75 €/m<sup>2</sup> kan aardwarmte concurreren met een WKK bij een hoge gasprijs en een lage elektriciteitsprijs. Aardwarmte kent echter nog wel investeringsrisico's. Ook kan een kas zonder gas gerealiseerd worden door gebruik te maken van een combinatie met kaskoeling/ontvochtiging, warmtepomp en aquifer. Op jaarbasis kan met een koelcapaciteit van 150 W/m<sup>2</sup> voldoende warmte worden geoogst om aan een warmtevraag van 29 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.jaar te voldoen.

Evenals aardwarmte, wordt de configuratie met kaskoeling, warmtepomp en aquifer economisch interessanter dan een WKK als de gasprijs hoog is en de elektriciteitsprijs laag. Bij een gasprijs van meer dan 0,25 €/m<sup>3</sup> excl. belasting en een elektriciteitsprijs van 0,042 €/kWh excl. transportkosten, wordt deze optie de voordeligste warmtebron. Dat is ook het geval bij een gasprijs van meer dan 0,30 €/m<sup>3</sup> excl. belasting en een elektriciteitsprijs van 0,054 €/kWh excl. transportkosten.

### 4.2 Aanbevelingen

Om energiebesparende maatregelen zoals een hoger setpoint in de praktijk toegepast te krijgen moet worden onderzocht bij welke luchtvochtigheid een chrysantengewas zonder problemen is te telen. Naar verwachting ligt deze grens hoger als de uitstraling wordt beperkt in een geïsoleerde kas en als het gewas niet bovenlangs wordt beregend.

Indien in een koelinstallatie wordt geïnvesteerd, dient te worden afgewogen wat het belangrijkste doel is. Voor warmteoogst alleen kan bij een energiezuinige chrysantenteelt worden volstaan met een kleinere capaciteit dan als men een hoge warmtebehoefte heeft voor een droog kasklimaat en voor de zomerkwaliteit voldoende koelcapaciteit nodig is.





# Literatuur

Corsten, R., Dankers, P., Roelofs, T. en de Veld, P. (2011):

*Onderzoek lage temperatuur tolerantie bij snijchrysant*, DLV Plant, Wageningen.

Kempkes, F.L.K. en Janse, J. (2013):

*Praktijkervaringen met de Venlow energy kas 2010-2012*, Wageningen UR Glastuinbouw, Wageningen.

Raaphorst, M., Dueck, T., Kempkes, F., Veld, P.d. en Corsten, R. (2015a):

*Efficiënt omgaan met elektriciteit bij chrysant*, Wageningen UR Glastuinbouw.

Raaphorst, M., Kempkes, F., Corsten, R., Roelofs, T. en de Veld, P. (2010):

*Het Nieuwe Telen bij chrysant : verkenning van energiebesparingsopties voor de chrysantenteelt*.

Wageningen UR Glastuinbouw. Bleiswijk.

Raaphorst, M., van Weel, P. en Roelofs, T. (2015b):

*Praktijkproef HNT Chrysant : inblazen van buitenlucht boven het chrysantengewas van Arcadia*. Rapport GTB;1355. Wageningen UR Glastuinbouw. Bleiswijk.

Vermeulen, P.C.M. (2013): *Aardwarmte, WKK en CO2*:

*Innovatie Netwerk Energie Systemen glastuinbouw Oost Brabant (INES)*, Wageningen UR Glastuinbouw.

de Zwart, H.F., Hemming, S., Ruijs, M.N.A. en Gieling, T.H. (2011):

*Benutting van zonne-energie in de tuinbouw: een strategische verkenning*, Wageningen UR Glastuinbouw, Wageningen.



# Bijlage 1 Referentiekas en instellingen Kaspro

Akas: 10000  
Padbreedte: 3  
hGutter: 5  
Roofslope: 22  
Kapbreedte: 9.6  
Vakmaat: 5  
Dekmateriaal: enkel\_bom480\_old  
InclusiefGevel: Nee  
Leakage: 0.8e-4  
Windowlength: 2.5  
Windowheight: 1.25  
fr\_Window: 0.07  
CO2Out 400  
PrimNet: low  
Ondernettype: 28-er  
nLowPerKap: 12  
Bovennettype: 51-er  
nUppPerKap: 6  
Vloerverwarming: nee  
nSlangPerKap: 5  
Slangdiameter: 32  
EbVloed: ja  
Pketel: 150  
Ketelverlies: 0  
TrookgasKetel: 140  
Ketelcondensor: combi  
Buffervolume: 120  
Vultemp: 90  
AlsBufVol: stoppen  
Gewas: chrysan  
Plantdatum: 01-01  
Ruimdatum: 01-01  
LAIfile: none  
StookTemp: 20#19  
StookTempTijdstip: 18#07  
DodeZone: 1

## Vocht

SpVocht: 88  
SpVochtTijdstip: 0  
PBandVocht: (0,#20);(10,#10)  
Vochtmetbuis: (70,20);(80,25);(90,37)  
VochtmetbuisOp: low

## Temperatuurintegratie

Bandbreedte: 2  
IntegratiePeriode: 1  
maxGraaduren: 20  
SpCO2: 800  
SpCO2Tijdstip: 0  
CO2bron: ketel  
kgCO2: 180

## Luchtramen

Vorstgrens: -2  
StartWhet: 50  
WinLeeMin: 0  
WinLeeMax: 100  
WinWhetMax: 100  
MaxWin: 30

## Buizen

MinBuisLow: 35  
MinBuisLowTijdstip: 0  
MinBuisUpp: 0  
MinBuisUppTijdstip: 0  
MinBuisBeg: 200  
MinBuisEnd: 500  
MaxBuisLow: 38  
MaxBuisLowTijdstip: 0  
MaxBuisUpp: 90  
MaxBuisUppTijdstip: 0  
T2ndAcc: 37  
Fogging: nee  
FoggingDose: 200  
MinTempFogging: 27  
MinVocht: 60  
MinVochtTijdstip: 0  
Belichting: Ja  
Lampvermogen: 70  
MaxIGlob: {01-10}#300#200#{01-02}#250#150#{15-03}##-1#-1#{15-09}#250#150  
MaxLichtsom: 1000  
UitPerEtmaal: 12  
BlokUitBegin: {01-11}#18#{01-12}#17#{01-02}#18#{01-03}#19

## Lampeigenschappen

FracPAR: 0.4  
FracNIR: 0.15  
FracSens: 0.45  
Gevelscherm: beweegbaar

## Scherm1

ScreenInUse1: 1  
Screensystem1: Blackout  
Screentype1: Obscura  
MaxToutScreen1: 20  
ScrCloseBelow1: (-10#200);(-5#80);(10#10)#  
ChinkOnTempExc1: (2#5);#(5#10)##  
ChinkOnHumExc1: (0,1);(2,2);(5,5)  
DaylControl1: {01-11}#18#6#{01-12}#17#5#{01-02}#18#6#{01-03}#19#7

**Scherm2**

ScreenInUse2: 0

Screensystem2: Energie-en-Schaduwscherm

Screentype2: SLS10ultraPlus

MaxToutScreen2: 12

ScrCloseBelow2: (-10#200);(-5#125);(10#15)#

ChinkOnTempExc2: (2#3);#(5#10)##

ChinkOnHumExc2: (1#10);(2#13)

Krijten: 0

Krijtfactor: 0

Koeling: none

Aquifer: 0

## Bijlage 2    Multipele regressie analyse

Regression Statistics	
Multiple R	0.996
R Square	0.993
Adjusted R Square	0.990
Standard Error	0.741
Observations	47

### ANOVA

	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	11	2616.8	237.9	433.7	5.418E-34
Residual	35	19.2	0.5		
Total	46	2636.0			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%
Intercept	32.3	0.4	90.2	0.000	31.6	33.1
Geen minbuis	-2.6	0.4	-5.9	0.000	-3.5	-1.7
Temp. 19°C	-3.2	0.4	-8.1	0.000	-4.0	-2.4
TI	0.1	0.4	0.2	0.816	-0.6	0.8
RV 93%	-5.4	0.3	-16.1	0.000	-6.0	-4.7
Druppelslangen	-1.1	0.3	-3.2	0.003	-1.7	-0.4
Dubbel Glas	-11.1	0.3	-34.9	0.000	-11.7	-10.4
2e Scherm	-2.9	0.3	-9.7	0.000	-3.5	-2.3
Inblazen lucht	-0.3	0.4	-0.9	0.394	-1.0	0.4
Regain unit	-2.1	0.3	-6.6	0.000	-2.7	-1.5
Koeling	0.1	0.6	0.3	0.795	-1.0	1.3
Geen vochtkier	0.2	0.4	0.5	0.604	-0.5	0.9





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



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

Glastuinbouw Rapport GTB-1382

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.