

Conditioneren van chrysant

Marcel Raaphorst
Arie de Gelder
Paul de Veld (DLV)

Wageningen UR Glastuinbouw.
december 2006

© 2006 Wageningen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden veeveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Praktijkonderzoek Plant & Omgeving.

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V. is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Dit project is gefinancierd door het Productschap Tuinbouw.



Projectnummer: 3242008300

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Business Unit Glastuinbouw

Adres : Kruisbroekweg 5
: Postbus 8, 2670 AA Naaldwijk
Tel. : 0174 - 636700
Fax : 0174 - 636835
E-mail : infoglastuinbouw.ppo@wur.nl
Internet : www.ppo.wur.nl

Inhoudsopgave

pagina

1	INLEIDING	6
1.1	Probleemstelling.....	6
1.2	Doelstelling(en) en afbakening.....	6
1.3	Aanpak	6
2	RESULTATEN	7
2.1	Voordelen van conditionering voor chrysantenteelt	7
2.2	Mogelijke uitvoeringen.....	7
2.2.1	Luchtbehandelingskasten	7
2.2.2	Koelvermogen	8
2.2.3	Luchtslangen.....	9
2.2.4	Productie van koude	9
2.2.5	Verneveling	10
2.2.6	Compartimentering bij mobiele teelten.....	10
2.3	Invloed op energieverbruik en de productie bij chrysant	11
2.3.1	Energieverbruik	11
2.3.2	Productie	12
2.4	Economische analyse.....	13
2.4.1	Mobiele teelten	14
2.4.2	Gevoeligheidsanalyse	16
3	DISCUSSIE, CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	17
3.1	Discussie	17
3.2	Conclusies	17
3.3	Aanbevelingen	18
	LITERATUUR.....	19

1 Inleiding

1.1 Probleemstelling

Conditionering (koelen en ontvochtigen) is een vrij nieuwe methode om de beheersing van het kasklimaat te verbeteren en ook energie te besparen. Bij enkele gewassen, zoals tomaat, paprika, phalaenopsis en roos, wordt al conditionering getest of toegepast. De vraag is of conditionering ook voor chrysant haalbaar is en kansen biedt om de productie te verhogen, de kwaliteit te verbeteren en de kostprijs te verlagen. Ook is niet bekend of conditionering de mogelijkheden van mobiele teelten (Mobysant) kan vergroten. Een door PPO uit te voeren economische evaluatie voor conditionering in chrysant, moet inzicht leveren in deze vraagstukken.

1.2 Doelstelling(en) en afbakening

Doelstelling van het project is inzicht te verkrijgen of en in welke vorm conditionering voor chrysant economisch verantwoord is.

1.3 Aanpak

Allereerst wordt een inventarisatie uitgevoerd naar de voordelen van conditionering door actieve koeling en ontvochtiging in de chrysantenteelt. Vervolgens wordt een inventarisatie gedaan naar de uitvoeringen van conditionering die mogelijk zijn voor de chrysantenteelt. Voor de meest voor de hand liggende uitvoeringen wordt de invloed berekend van conditionering op het energieverbruik en het productieverloop bij chrysant. De analyse wordt gepresenteerd aan een klankbordgroep, waarna bijgaand rapport wordt opgeleverd.

2 Resultaten

2.1 Voordelen van conditionering voor chrysantenteelt

Conditionering kent belangrijke voordelen. Door beperking van de raamstand kan een hoge CO₂-concentratie worden gehandhaafd. Hiermee kunnen de fotosynthese en de productie in de zomer en het najaar tot 20% hoger komen te liggen dan in een standaard open kas.

Door de lagere raamstand zal de luchtvochtigheid minder snel teruglopen. Dit geeft een betere groei op de momenten met zo veel verdamping dat het gewas onvoldoende water dreigt op te kunnen nemen. Door de hogere luchtvochtigheid zal het blad langer de huidmondjes open kunnen houden en langer CO₂ kunnen absorberen. Kort na het planten heeft de chrysant nog weinig wortels. Dan heeft de plant baat bij een hoge luchtvochtigheid.

Als de ramen (en het verduisteringsscherm) gesloten zijn kunnen de kastemperatuur en de luchtvochtigheid met conditionering toch goed worden beheerst. Dit geeft voordelen op zomerse avonden, wanneer onder het scherm de temperatuur snel kan worden afgekoeld naar de gewenste waarde, waardoor bloeivertraging wordt voorkomen. Zeker in de eerste weken van de korte-dag-fase is een beheerste temperatuur van groot belang voor de takopbouw.

Doordat met conditionering de luchtvochtigheid beter kan worden beheerst, daalt hiermee de kans op bovengrondse schimmelziekten, zoals Botrytis en japanse roest. Ook voor de meeste biologische bestrijders van plagen werkt een constante temperatuur en luchtvochtigheid in het voordeel. Bovendien kunnen minder vaak insecten naar binnen vliegen omdat de ramen minder vaak zijn geopend.

Een belangrijk argument voor conditionering in de tomatenteelt is de mogelijke energiebesparing. De warmte uit het opgewarmde koelwater kan in seizoensbuffers (bijv. aquifer) worden opgeslagen om later in het seizoen weer met een warmtepomp te benutten. In een chrysantenteelt is de warmtevraag echter veel lager dan in een tomatenteelt [De Gelder en Kipp, 2005], zodat het voordeel van energiebesparing voor de chrysantenteelt lager zal zijn dan voor een tomatenteelt.

2.2 Mogelijke uitvoeringen

Conditionering kan op verschillende manieren worden uitgevoerd.

- luchtbehandelingskasten met luchtslangen onder, tussen of boven het gewas
- luchtbehandelingskasten onder, tussen of boven het gewas zonder gebruik van luchtslangen.

Voor een grondteelt is het niet mogelijk om onder het gewas te komen. Tussen het gewas is bij chrysant ook weinig plaats. De enige resterende mogelijkheid om de koude over de kas te verdelen is het aanbrengen van luchtbehandelingskasten en/of luchtslangen boven het gewas. Deze mogelijkheid heeft het nadeel van lichtverlies. Bij teelten los van de grond, is het wel mogelijk om luchtbehandelingskasten of luchtslangen onder het gewas aan te brengen.

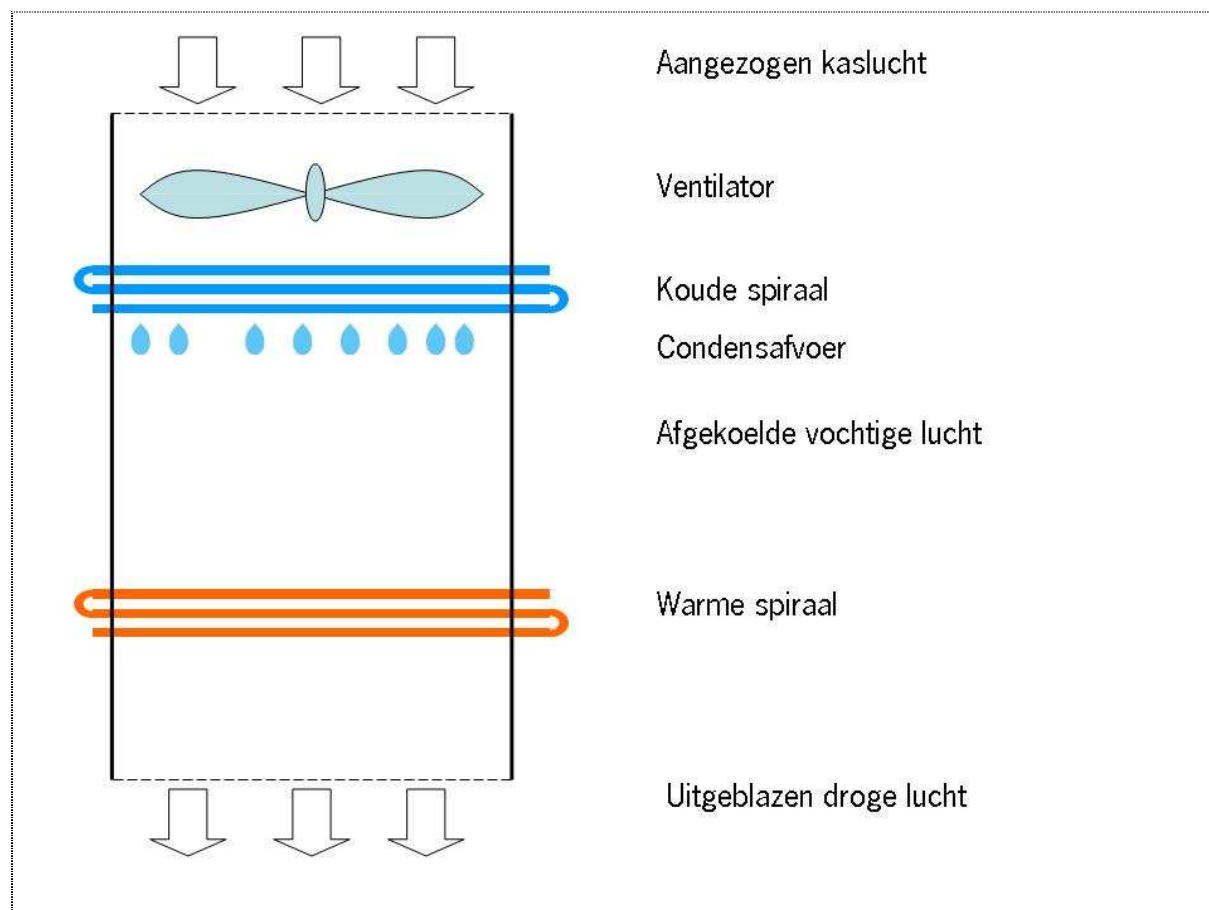
Naast luchtbehandelingskasten is het ook mogelijk om zonder ventilatoren en met een groot koelend oppervlak vocht te onttrekken aan de kaslucht en de kas te koelen, zoals kasdekkoeeling en een koudwatercircuit. De koelvermogens zijn hierbij echter beperkt [De Zwart et al., 2002], [Raaphorst et al., 2005], [www.klimrek.com] en worden hier verder niet behandeld.

2.2.1 Luchtbehandelingskasten

Het principe van een luchtbehandelingskast (LBK) is weergegeven Figuur 1. Een LBK bestaat uit een ventilator die kaslucht aanzuigt en langs een koud oppervlak blaast. Dit oppervlak wordt gekoeld met koud water. Afhankelijk van de temperatuur van dit koude oppervlak daalt de kasluchttemperatuur tot onder het dauwpunt en vindt er condensatie plaats. De koele met vocht verzadigde kaslucht kan direct in de kas worden teruggeblazen. Als deze vochtige lucht zich mengt met vochtige kaslucht bestaat echter de kans op

mistvorming. Dit kan worden voorkomen door de lucht in de LBK weer te verwarmen door het langs een warm oppervlak te leiden.

Het warme en koude oppervlak in de LBK's kunnen in verschillende vormen worden uitgevoerd. De goedkoopste vorm is die van buisjes of platen waar warm of koud water doorheen wordt gepompt en waar lucht langs wordt geblazen. Een dure uitvoering is de FiWiHeX-warmtewisselaar waarbij de buisjes zeer dun zijn en bovendien voorzien van draadweefsel, wat de warmte-overdracht zeer efficiënt maakt. Een FiWiHeX-warmtewisselaar is vooral geschikt wanneer de kas moet worden gekoeld met water van een relatief hoge temperatuur (bijvoorbeeld $>13^{\circ}\text{C}$), of verwarmd met water van een lage temperatuur (bijvoorbeeld $<30^{\circ}\text{C}$).



Figuur 1 - Bovenaanzicht van een doorsnede van een luchtbehandelingskast (LBK)

2.2.2 Koelvermogen

Hoe hoger het benodigde koelvermogen is, hoe meer of hoe krachtiger luchtbehandelingskasten nodig zijn. Om in een luchtbehandelingskast (LBK zie Figuur 1) kaslucht met een temperatuur van 28°C en een RV van 85% af te koelen naar een temperatuur van 12°C en een RV van 100% moet hier 48 kJ/m^3 warmte aan worden onttrokken. Om een kas zelfs op de meest zonnige dag van het jaar (meestal eind juni) 100% gesloten te kunnen houden is ongeveer 600 W/m^2 koelvermogen nodig. De hoeveelheid lucht die een LBK bij 600 W/m^2 moet verwerken is $600/48000 = 0,013 \text{ m}^3/\text{s}$ voor iedere m^2 kas die wordt gekoeld. Als een LBK 500 m^2 moet koelen betekent dit dat deze kast $500 \cdot 0,013$ ofwel ruim $6 \text{ m}^3/\text{sec}$ kaslucht moet verwerken. Bij een uitblaasopening van $0,5 \text{ m}^2$ is dit gelijk aan krachtige wind (ruim 12 m/s , ofwel windkracht 6). Vaak zal moeten worden gekozen voor meer LBK's, of een lager koelvermogen (zie Tabel 1). Om de windsnelheid bij de uitblaasopening niet hoger te laten worden dan $3,1 \text{ m/s}$, moet voor een koelvermogen van 150 W/m^2 op maximaal iedere 500 m^2 een LBK met een uitblaasopening van $0,5 \text{ m}^2$ worden geplaatst.

Tabel 1 - Benodigde windsnelheid (m/s) bij luchtbehandelingskasten (LBK) met een uitblaasopening van 0,5 m² door het afkoelen van kaslucht van 28°C en een RV van 85% naar verzadigde lucht van 12°C, afhankelijk van het aantal LBK's en het gewenste koelvermogen.

		Koelvermogen (W/m ²)			
		50	150	300	600
Aantal	100	0,2	0,6	1,3	2,5
m ² per	300	0,6	1,9	3,8	7,5
LBK	500	1,0	3,1	6,3	12,5
	1000	2,1	6,3	12,5	25,0

2.2.3 Luchtslangen

Als het aantal LBK's moet worden beperkt, bijvoorbeeld omdat er geen ruimte voor is, kan dit ten koste gaan van de temperatuurverdeling. De werp van de ventilator in een LBK is namelijk beperkt. Dit kan door luchtslangen worden opgevangen. Luchtslangen boven het gewas nemen echter licht weg en tussen het chrysantengewas is niet veel plaats. Hooguit zou met darmen met een diameter van ±6 cm kunnen worden gewerkt. Om over een afstand van bijvoorbeeld 100 meter het drukverlies in de darmen acceptabel te houden mag de luchtsnelheid door de dunne darmen niet veel hoger worden dan 1 m/s. Bij 11 slangen per bed van 12 mazen (150 cm) betekent dit een maximale luchtverversing van $1 \cdot \pi \cdot 0,06^2 / 4 \cdot 11 / 1,5 / 100 \cdot 3600 = 1,5 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{uur}$. Hiermee kun je hooguit 20 Watt/m² aan koude inbrengen, wat veel lager is dan de 600 Watt/m², die moet worden ingebracht in een gesloten kas. Bovendien zullen de darmen bij iedere teeltwisseling voor extra arbeid zorgen. Als een teler toch besluit om darmen te gebruiken voor koeling, moet hij zorgen voor voldoende druk in de darmen of voor een aangepast gaatjespatroon om te voorkomen dat aan het begin van de darm meer wordt gekoeld dan aan het einde van de darm.

Bij een teelt los van de grond kunnen wel grote luchtslangen onder het gewas worden aangebracht. Overigens zijn bij chrysant nog geen proeven gedaan met conditionering van onderaf. Waarschijnlijk geeft een verlaagde worteltemperatuur minder worteldruk, wat voordelen biedt (bijvoorbeeld minder guttatie), maar ook nadelen (bijvoorbeeld minder opname voedingsstoffen) [Kaarsemaker en Van Telgen, 2006]. Bij tomaat is nauwelijks verandering van de bladkwaliteit door luchtbeweging tussen het gewas aangetoond [De Gelder et. al., 2006]. Of dit ook voor chrysant geldt, is niet bekend.

2.2.4 Productie van koude

Koude kan op verschillende manieren worden geproduceerd. In de meeste huidige geconditioneerde kassen wordt gebruik gemaakt van elektrische warmtepompen en/of koeltorens. In deze paragraaf worden de voor en nadelen van de verschillende koudeproductiesystemen genoemd [Campen, 2006].

- Een *elektrische warmtepomp* maakt uit 1 kWh elektriciteit ongeveer 3 kWh koude en 4 kWh warmte. De beschikbare warmte heeft dan een temperatuur van ongeveer 45°C en de beschikbare koude een temperatuur van 6°C.
- Een *absorptiewarmtepomp* maakt uit 1 kWh warmte in de vorm van heet water van 90°C ongeveer 0,6 kWh koude en 1,6 kWh warmte. De beschikbare warmte heeft dan een temperatuur van ongeveer 40°C en de beschikbare koude een temperatuur van 8°C. Een absorptiewarmtepomp komt het best tot zijn recht als er veel hoogwaardige warmte beschikbaar is, terwijl er maar met 40°C hoeft te worden verwarmd.
- Een *koelmachine* is vergelijkbaar met een elektrische warmtepomp. Alleen wordt de warmte uit de koelmachine niet benut. Het is mogelijk om uit 1 kWh elektriciteit ongeveer 4 kWh koude te produceren. De warmte moet hierbij worden afgestaan aan de buitenlucht.
- Een *natte koeltoren* zorgt door verdamping van water voor koelwater. Een koeltoren heeft de hoogste koudeproductie bij een lage buitentemperatuur (<10°C). Een koeltoren is een relatief voordelige koudeproducent voor bedrijven die geen warmte nodig hebben.
- Door *warmtewisselaars* in te brengen bij koude oppervlakken in de winter (bassin, parkeerterrein) kan hier ook koude worden gewonnen. Voor de meeste bedrijven kan met deze zeer goedkope vorm van

koudewinning slechts een beperkt volume aan koude worden geoogst. Met uitzondering van de koelmachine wordt de koude bij alle systemen in de winter geproduceerd. Daarom moet de koude worden opgeslagen in een seizoensbuffer. De meest geschikte seizoensbuffer is de aquifer (watervoerende ondergrondse zandlaag). Het is niet overal mogelijk om een doublet (een warme bron en een koude bron in de aquifer) aan te leggen. Ook kunnen de kosten per plaats verschillen. Een overzicht van de investeringskosten van doubletten is te vinden in www.warmtepompenindeglastuinbouw.nl. Voor de chrysantenteelt lijkt een warmtepomp geschikt. Omdat warmtepompen vrij duur zijn mogen ze niet te groot worden gedimensioneerd. Het is zinloos om een grote warmtepomp aan te schaffen die de geproduceerde warmte niet volledig kan benutten. Bij een lage warmtevraag kan beter het koelvermogen worden beperkt of moet een koeltoren het bedrijf van koude voorzien.

2.2.5 Verneveling

Bij een beperkt koelvermogen moet soms gebruik worden gemaakt van de luchtramen. Hierdoor kan de luchtvochtigheid alsnog sterk dalen. Verneveling kan dan worden toegepast. Dit heeft twee voordelen:

1. De luchtvochtigheid wordt verhoogd, zodat het gewas minder hoeft te verdampen. Hierdoor hoeft de plant zich niet te beschermen tegen uitdroging en blijven de huidmondjes geopend. Geopende huidmondjes zijn van groot belang voor de fotosynthese, omdat alleen via de huidmondjes CO₂ kan worden opgenomen.
2. De verneveling, die verdampt in de kaslucht, zorgt voor afkoeling. Hierdoor hoeven de luchtramen minder ver te worden geopend en verdwijnt er minder CO₂ door de luchtramen naar buiten.

Verneveling komt al jaren voor in de glastuinbouw. De combinatie met kaskoeling wordt anno 2006 nog maar toegepast bij twee glasgroentebedrijven (www.aircokas.nl).

2.2.6 Compartimentering bij mobiele teelten

Met compartimentering wordt bedoeld dat een glastuinbouwbedrijf wordt opgedeeld in verschillende afdelingen, waarbij iedere afdeling geschikt is gemaakt voor een bepaalde groeifase. Wanneer het gewas overgaat van de ene groeifase naar de andere groeifase wordt het ook verplaatst naar een andere afdeling. Bij een standaard chrysantenbedrijf is het niet mogelijk om het gewas van de ene naar de andere afdeling te verplaatsen. Hierdoor moeten alle afdelingen beschikken over een verduisteringsdoek, terwijl die alleen in de korte-dag-fase nodig is, en moet ook in iedere afdeling een oogstmachine kunnen worden geplaatst, terwijl dat alleen in de oogstfase nodig is. Bij mobiele teelten (teelt los van de grond) kan wel worden gecompartmenteerd. Naast het voordeel dat hierbij voor iedere groeifase de ideale groeiomstandigheden kunnen worden gecreëerd, kan het ook enige besparing geven in de investeringen. Zo hoeft in de lange-dag-fase geen verduisteringsdoek te worden geplaatst en hoeft niet in de hele kas een rail boven het gewas te hangen voor de oogsttransportband.

In paragraaf 2.1 is beschreven dat chrysant twee groeifasen kent waarbij kasconditionering het best tot zijn recht komt:

- net na het planten door de luchtvochtigheid te verhogen en de verdampingsbehoefte te beperken
- tijdens de eerste weken vanaf het moment dat het gewas in de korte-dag-fase gaat om de etmaaltemperatuur te beheersen.

In een gecompartmenteerde mobiele teelt kun je besparen op het aantal te plaatsen LBK's en nevelinstallaties door alleen die afdelingen te conditioneren die hier het meeste baat bij hebben. Zo zou een nevelinstallatie kunnen worden opgehangen boven het gewas dat nog onvoldoende wortels heeft en LBK's in de afdeling waar de planten net de korte-dag-fase ingaan.

2.3 Invloed op energieverbruik en de productie bij chrysant

2.3.1 Energieverbruik

In een geconditioneerde chrysantenkas wordt het energieverbruik bepaald door:

- de elektriciteitsvraag van de standaard al aanwezige apparatuur en eventuele belichting
- de elektriciteitsvraag van de warmtepomp
- de elektriciteitsvraag van de ventilatoren in de LBK's en de pompen van en naar de aquifer.
- de mate waarin een WKK in de elektriciteitsvraag voorziet
- de inzet van de ketel voor zover de warmtevraag niet door de warmtepomp en de WKK kan worden voldaan.

Standaard

De elektriciteitsvraag in een standaard chrysantenbedrijf ligt rond de 80 kWh/m² voor belichting en 8 kWh voor ventilatoren, ketel, pompen, koelcel, machines et cetera. In een geconditioneerde kas zal dit verbruik niet veranderen.

Warmtepomp

De elektriciteitsvraag van de elektrische warmtepomp ligt aan het vermogen en de inzet van de koeling. Bij een 50 Watt/m² koelvermogen heeft de warmtepomp minstens 64 kWh/m² nodig. Bij een vermogen van 300 is dat zelfs 167 kWh/m² en bij een vermogen van 600 Watt/m² (vrijwel geheel gesloten) is dit nog 177 kWh/m². Opvallend is het relatieve kleine verschil in elektriciteitsverbruik tussen 300 en 600 Watt/m². Dit komt door het geringe aantal uren dat meer dan 300 Watt/m² koeling nodig is.

Een absorptiewarmtepomp in plaats van een elektrische (compressie)warmtepomp vraagt nauwelijks elektriciteit en onttrekt zijn energie uit heet water. Aangezien absorptiewarmtepompen nog nauwelijks in de glastuinbouw worden toegepast wordt deze mogelijkheid in deze energieberekeningen verder niet behandeld.

Pompen en ventilatoren

De elektriciteitsvraag van de ventilatoren en de pompen voor de conditionering zijn (uiteraard) afhankelijk van het koelvermogen en de uitvoering. Hoe meer luchtbehandelingskasten geplaatst zijn, hoe kleiner het gezamenlijk elektrisch vermogen van de ventilatoren hoeft te zijn. Luchtsslagen vergen vanwege de grotere luchtweerstand een hoger elektriciteitsverbruik. Op basis van de installatie zoals Innogrow die heeft geïnstalleerd bij Themato wordt geschat dat voor een koelvermogen van 50, 300 en 600 Watt/m² de ventilatoren respectievelijk 25, 65 en 70 kWh nodig hebben.

De elektriciteitsvraag voor de pompen van en naar de aquifer is geschat op 1 MJ/m³ [De Zwart en Knies, 2002]. Gemiddeld betekent dit voor 50, 300 en 600 Watt/m² respectievelijk 6, 15 en 17 kWh/m².

Voor de overige pompen wordt een verbruik van respectievelijk 2, 5 en 6 kWh geschat.

WKK

Als een WKK de belichting, warmtepompen, de circulatiepompen en de ventilatoren van elektriciteit voorziet, komt daar veel warmte bij vrij. Dit betekent dat de warmte die door de warmtepompen is geproduceerd lang niet altijd nodig is, zoals blijkt uit Tabel 2.

Tabel 2 - Energiehuishouding bij volledige eigen elektriciteitsproductie met WKK, afhankelijk van het koelvermogen ten opzichte van een standaard bedrijf met ketelverwarming en elektriciteit van het net.

	Eenheid	Standaard met ketel	Standaard met WKK	50 W/m ² koeling	300 W/m ² koeling	600 W/m ² koeling
Standaard verbruik	kWh/m ²	8	8	8	8	8
Belichting	kWh/m ²	80	80	80	80	80
Warmtepomp (WP)	kWh/m ²	0	0	64	167	177
Ventilatoren	kWh/m ²	0	0	25	65	70
Pompen	kWh/m ²	0	0	8	20	23
Elektriciteitsvraag	kWh/m ²	88	88	185	340	358
Gasverbruik WKK	m ³ /m ²	0	26	54	99	104
WKK warmteproductie	MJ/m ²	0	396	832	1530	1611
WP warmteproductie	MJ/m ²	0	0	922	2405	2549
Warmtevraag	MJ/m ²	1085	1085	1085	1085	1085
Van ketel	MJ/m ²	1085	689	-669	-2850	-3075
Gasverbruik ketel	m ³ /m ²	22	35	-22	-92	-99

Als in een belicht standaard bedrijf zonder WKK 35 m³/m² aardgas uit de ketel nodig is, dan reduceert een WKK deze behoefte tot 22 m³/m². Als deze WKK ook nog wordt ingezet voor de warmtepomp en deze warmtepomp ook nog warmte produceert, wordt de warmtebehoefte uit de ketel zelfs negatief. Als het bedrijf volledig voorziet in de eigen elektriciteitsbehoefte en verder geen elektriciteit levert aan het net dan zou volgens Tabel 2 een warmte-overschot kunnen worden voorkomen door naast een hectare 50 W/m² geconditioneerde kas 22/22=1 hectare standaard kas te hebben, waarin de geproduceerde warmte kan worden benut. Naast een hectare 300 W/m² geconditioneerde kas zou dan 92/22=4,2 hectare standaard kas warmte kunnen afnemen en naast een gesloten kas (600 W/m²) zou dat 99/22=4,5 hectare zijn.

Naast het leveren van warmte aan een standaard kas kan ook warmte worden afgevoerd met een koeltoren. Hierdoor hoeft de warmtepomp minder vaak te draaien om koude te maken, wat elektriciteit bespaart. Het gasverbruik van de WKK bij toepassing van een koeltoren is weergegeven in Tabel 3.

Tabel 3 - Elektriciteitsvraag en gasverbruik als een koeltoren wordt toegepast om warmte-overschot te beperken.

	Eenheid	50 W/m ² koeling	300 W/m ² koeling	600 W/m ² koeling
Elektriciteitsvraag	kWh/m ²	156	204	213
Gasverbruik WKK	m ³ /m ²	45	59	62

Piekverbruik

In Tabel 2 en Tabel 3 is er van uitgegaan dat de warmtepomp en de WKK groot genoeg zijn om ook op de koudste winterdagen aan de warmtevraag te voldoen. Aangezien warmtepompen vrij duur zijn, wordt vaak gekozen voor een kleinere warmtepomp, waarbij de ketel in de piekvraag moet voorzien. Hoe meer de ketel moet worden ingezet, hoe minder warmte de warmtepomp kan afzetten. Hierdoor is een nog grotere standaard kas nodig om de warmte van de warmtepomp nuttig af te kunnen zetten, of er moet nog meer gebruik worden gemaakt van de koeltoren.

2.3.2 Productie

Doordat in een geconditioneerde kas minder hoeft te worden geventileerd kan met geringere CO₂-dosering toch een hoger CO₂-niveau worden aangehouden. Omdat nog geen proeven zijn gedaan waarin de productie van chrysanten is gemeten onder condities met een continu hoog CO₂-niveau (±1000 ppm) in de zomerperiode, wordt in Tabel 4 schattingen gegeven van de mogelijke productieverhoging op basis van het verhoogde CO₂-niveau. De geschatte productieverhogingen zijn voorzichtig te noemen omdat ze minder

hoog zijn dan wat is bereikt bij tomaat en paprika (15-20% productieverhoging) in een gesloten kas [Raaphorst, 2005]. De reden voor deze voorzichtigheid is, dat de productieverhoging bij chrysanthe moet komen uit een verhoogde plantdichtheid en nauwelijks uit een verhoogde teeltsnelheid. Als luchtbehandelingskasten boven het gewas moeten worden geïnstalleerd dan leidt dit tot lichtverlies en hiermee ook tot productieverlies. Anderzijds kan een meer beheerste temperatuur bloeivertraging en hiermee productiederving voorkomen.

In Tabel 4 is ook weergegeven wat de middenprijs en de totale omzet zouden kunnen worden voor de geconditioneerde kas. Aangezien de grootste productieverhoging van de geconditioneerde kas plaatsvindt in de zomer en het najaar daalt de middenprijs ten opzichte van de standaard kas. De totale omzet stijgt in een gesloten kas met bijna 5 €/m² ten opzichte van een standaard kas.

Tabel 4 - Geschatte productieverhoging en productie/m², middenprijs en omzet.

	<i>Productieverhoging (%)</i>	<i>Productie (tak/m²)</i>	<i>Middenprijs (€/tak)</i>	<i>Omzet (€/m²)</i>
Standaard	0,0%	266	0,208	55,33
50 W/m ²	2,3%	272	0,208	56,58
300 W/m ²	6,0%	282	0,207	58,37
600 W/m ²	10,5%	294	0,205	60,27

2.4 Economische analyse

Voor de chrysanthe teelt worden in deze paragraaf vier cases doorgerekend:

1. Een bedrijf dat gericht is op energiebesparing. De warmte die normaal van de ketel afkomstig zou zijn wordt nu geproduceerd door de warmtepomp. Omdat de ketel normaal slechts weinig wordt gebruikt kan de warmtepomp ook weinig koude produceren en moet het koelvermogen beperkt blijven (50 W/m²). Hierbij wordt de helft van de kas geconditioneerd (zie berekeningen bij Tabel 2 in paragraaf 2.3.1)
2. Idem. Alleen wordt gekoeld met een hoger vermogen (300 W/m²) op ±20% van het kasoppervlak.
3. Een bedrijf dat gericht is op een hoge productie. De warmtepomp wordt maar zelden ingezet. De meeste koude wordt geproduceerd door een koeltoren. Het koelvermogen is hoog (300 W/m²) gedurende de gehele teelt.
4. Idem, maar dan met een koelvermogen van 600 W/m².

In alle cases wordt gebruik gemaakt van een elektrische warmtepomp. De elektriciteitsvoorziening wordt verzorgd door een WKK. Deze WKK levert geen elektriciteit aan het net, en de rookgassen worden gereinigd voor CO₂-dosering. Conditionering vindt plaats met luchtbehandelingskasten boven het gewas. Er vindt geen verneveling plaats en er wordt geen rekening gehouden met eventuele voordelen van compartimentering.

In de economische evaluatie worden de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- De elektriciteitsprijs is 0,09 €/kWh voor de standaardteelt met ketel. In de andere cases wordt geen elektriciteit ingekocht.
- De gasprijs (commodity) is 0,24 €/m³.
- De omzet is gebaseerd op de resultaten uit Tabel 4
- De plantkosten zijn 0,058 €/stek inclusief licentie. Het uitvalpercentage is 1,5%.
- De arbeidskosten zijn 0,033 €/tak.
- De investeringskosten in een standaard kas zijn 10 €/m² per jaar (afschrijving, rente en onderhoud).
- De grootte van de WKK is onafhankelijk van het koelvermogen (omdat de WKK ook de belichting van elektriciteit voorziet heeft het ook voldoende vermogen om de warmtepomp van elektriciteit te voorzien).
- De grootte van de warmtepomp is onafhankelijk van het koelvermogen [Raaphorst et.al, 2006]. Er is

van uitgegaan dat de warmtepomp voorziet in de warmtebehoefte. Bij een groter koelvermogen wordt een koeltoren ingeschakeld.

- De kosten van de aquifer (doublet) en de luchtbehandelingskasten zijn vrijwel recht evenredig met het koelvermogen.
- Het doublet naar de aquifer wordt afgeschreven in 15 jaar. De WKK, WP en LBK in 7 jaar.
- De overige kosten (stomen, werk door derden, gewasbeschermingsmiddelen, meststoffen, vrachtkosten, verpakking, heffingen, veilingkosten, rente omlopend vermogen) worden beïnvloed door conditionering, maar deze invloed is klein ten opzichte van de andere factoren.

De evaluatie wordt weergegeven in Tabel 5.

Uit Tabel 5 blijkt ten eerste dat het netto bedrijfsresultaat in de standaard situatie (zowel met ketel als met WKK) negatief is. Dat chrysantentelers desondanks het hoofd boven water kunnen houden kan worden verklaard doordat de telers mogelijk efficiënter werken en voordeliger inkopen dan volgens KWIN [Van Woerden, 2005].

Een WKK lijkt het negatieve resultaat iets te verkleinen doordat de geproduceerde elektriciteit uit de WKK voordeliger is dan elektriciteit ingekocht via het net (inkoopprijs gesteld op 0,09 €/kWh).

Tabel 5 - Netto bedrijfsresultaat bij uitvoeringen met een ketel, met een WKK, met het halve bedrijf gekoeld met 50 W/m², met het hele bedrijf gekoeld met 300 W/m², met 1/5^e deel van het bedrijf gekoeld met 300 W/m² en met het hele bedrijf gekoeld met 600 W/m².

	ketel	WKK	50W/2	300W/5	300W	600W
Opbrengst	55,33	55,33	55,95	55,99	58,37	60,27
Plantkosten	15,66	15,66	15,84	15,85	16,60	17,31
Elektriciteit	7,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Gas (excl. stomen)	9,98	13,10	11,18	11,32	15,74	16,46
Overig ¹	8,04	8,04	8,10	8,10	8,32	8,49
Arbeid	8,88	8,88	8,98	8,99	9,41	9,81
ARO dpm ²	10,00	13,05	15,85	16,08	19,61	24,11
Bedrijfsresultaat	-4,88	-3,39	-3,99	-4,34	-11,30	-15,91

Conditionering van de kas geeft een hogere opbrengst. Energiebesparing wordt alleen gerealiseerd als slechts een deel van het bedrijf wordt geconditioneerd. Bij hogere koelvermogens blijft te veel geproduceerde warmte onbenut. De grootste lasten van conditionering liggen bij afschrijving, rente en onderhoud (ARO) van de investeringen. Deze kosten lopen vrijwel proportioneel op met het benodigde koelvermogen. Zo zijn de kosten van het doublet (pomp en leidingen van en naar de aquifer) afhankelijk van de snelheid waarmee koelwater naar boven moet kunnen worden gepompt. Ook de kosten van de luchtbehandelingskasten worden bepaald door het maximale koelvermogen dat zij moeten kunnen leveren. De kosten van de warmtepomp en/of de koeltorens zijn niet afhankelijk van het vermogen, maar van het totale volume dat aan koud water moet worden geproduceerd.

2.4.1 Mobiele teelten

Een mobiele teelt los van de ondergrond kent twee voordelen ten opzichte van een grondteelt: compartimentering en de ruimte voor luchtbehandelingskasten

Het eerste voordeel dat er ruimte is onder het gewas zodat daar luchtbehandelingskasten en/of slangen kunnen worden geplaatst en daar geen licht wegnemen. De planten onder de luchtbehandelingskasten hoeven dan niet ruimer te worden geplant of te worden bijbelicht. Dit voordeel levert per jaar naar schatting

¹ Overig: Stomen, werk door derden, gewasbeschermingsmiddelen, meststoffen, vrachtkosten, verpakking, heffingen, veilingkosten, rente omlopend vermogen.

² ARO dpm: Afschrijving, Rente en Onderhoud van de duurzame productiemiddelen

een hoger bedrijfsresultaat op van 0,20 €/m².

Het tweede voordeel is de mogelijkheid van compartimentering zodat alleen de meeste kritische teeltfase (bijvoorbeeld de eerste weken van de korte-dag-fase) kan worden geconditioneerd. Uit Tabel 5 blijkt dat vooral een gedeeltelijk geconditioneerde kas (de helft met 50 W/m² of een vijfde deel met 300 W/m²) enigszins positief uit de bus komen. Hierbij is nog geen rekening gehouden met de specialisatie voor een teeltfase. Mocht deze specialisatie leiden tot vier dagen teeltduurverkorting per jaar dan wordt het netto bedrijfsresultaat 0,25 €/m² per jaar hoger. Of gecompartmenteerde conditionering ook leidt tot een meeropbrengst door een hogere kwaliteit is moeilijk te zeggen en is ook cultivarafhankelijk. Zo zullen temperatuurgevoelige cultivars meer voordeel hebben bij conditionering dan temperatuurtolerante cultivars.

2.4.2 Gevoeligheidsanalyse

In Tabel 5 is uitgegaan van een gasprijs van 0,24 €/m³ en een voorzichtige schatting van de productieverhoging door conditionering. In Tabel 6 worden de resultaten uit Tabel 5 weergegeven voor het geval dat de gasprijs 0,30 €/m³ en de productieverhoging door conditionering twee maal zo hoog zou zijn.

Tabel 6 - Netto bedrijfsresultaat zoals in Tabel 5, maar dan met een gasprijs van 0,30 in plaats van 0,24 €/m³ en een twee maal zo hoge productieverhoging door conditionering.

	<i>ketel</i>	<i>WKK</i>	<i>50W/2</i>	<i>300W/5</i>	<i>300W</i>	<i>600W</i>
Opbrengst	55,33	55,33	56,58	56,66	61,69	66,01
Plantkosten	15,66	15,66	16,01	16,04	17,54	18,96
Elektriciteit	7,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Gas (excl. stomen)	12,08	15,98	13,58	13,76	19,28	20,18
Overig	8,22	8,22	8,33	8,34	8,79	9,18
Arbeid	8,88	8,88	9,08	9,09	9,95	10,75
ARO dpm	10,00	13,05	15,85	16,08	19,61	24,11
Bedrijfsresultaat	-7,16	-6,45	-6,27	-6,64	-13,48	-17,16

Uit Tabel 6 blijkt dat de verhoogde gasprijs een verdere verslechtering geeft van de bedrijfsresultaten. Dit wordt bij de geconditioneerde cases door de verhoogde productie deels gecompenseerd. De case waarbij de helft van de kas met 50 W/m² wordt gekoeld haalt het minst negatieve bedrijfsresultaat en scoort nu beter dan het bedrijf met een WKK.

3 Discussie, conclusies en aanbevelingen

3.1 Discussie

Uit de economische berekeningen blijkt dat een verhoging van de gasprijs leidt tot een verslechtering van het bedrijfsresultaat. Dit moet vooral worden gecompenseerd door hogere takprijzen of lagere kosten voor arbeid, planten en duurzame productiemiddelen om het chrysantenteeltbedrijf rendabel te houden. Indien de takprijzen hoger worden en de niet aan de gasprijs gebonden kosten omlaag gaan, zal conditionering (laag energieverbruik, hoge productie) betere resultaten geven dan berekend in dit rapport.

Bij de economische berekeningen is er niet van uitgegaan dat de WKK elektriciteit aan het net levert. Bedrijven die dit wel doen hebben over het algemeen weinig behoefte aan extra warmte en zullen weinig baat hebben van de warmteproductie van conditionering. Deze afweging tussen elektriciteitslevering door de WKK enerzijds en conditionering anderzijds is in de economische berekeningen niet meegenomen.

Het bedrijfsresultaat bij conditionering is sterk afhankelijk van de toegenomen kosten van afschrijving, rente en onderhoud. Deze kosten zijn bepaald op basis van een robuuste uitvoering, zoals bij Themato. Indien deze kosten kunnen worden beperkt door een eenvoudiger uitvoering kan het bedrijfsresultaat veel positiever uitvallen.

Aangenomen wordt de conditionering de kwaliteit van chrysanten kan verbeteren (minder ziektedruk, beheerste temperatuur). In welke mate de prijs van de chrysanten hierdoor verbetert is echter niet gekwantificeerd.

3.2 Conclusies

Met de huidige prijzen die betaald moeten worden voor o.a. energie en de prijzen die ontvangen worden voor de producten, haalt de gemiddelde chrysantenteler een negatief bedrijfsresultaat. De inzet van een WKK voor de productie van elektriciteit brengt hierin enige verlichting.

Om er voor te zorgen dat conditionering het bedrijfsresultaat bij chrysant verhoogt, moet de geogste warmte geheel worden benut met een warmtepomp. De inzet van een koeltoren is niet rendabel voor de chrysantenteelt. Aangezien de warmtevraag bij chrysant niet hoog is kan alleen rendabel worden gewerkt als het koelvermogen beperkt blijft. Hierbij verdient het de voorkeur om de gehele kas met een klein vermogen (bijvoorbeeld 20 W/m²) te koelen, of de helft van de kas met een iets hoger vermogen (bijvoorbeeld 50 W/m²) dan een klein deel van de kas met een hoog vermogen (>300 W/m²) te koelen. Pas als bewezen is dat bepaalde teeltfasen beter reageren op conditionering dan andere teeltfasen, is gedeeltelijke conditionering voor die teeltfasen te overwegen. Hiervoor is wel compartimentering van het bedrijf nodig (in de geconditioneerde afdeling staat dan altijd dezelfde teeltfase). Alleen bij mobiele teelten is compartimentering mogelijk. Het voordeel van compartimentering bij conditionering is in dit rapport geschat op maximaal 0,45 €/m².jaar.

Een chrysantenbedrijf dat voor de helft met 50 W/m² kan worden gekoeld heeft een hoger bedrijfsresultaat dan een bedrijf dat met een ketel wordt gestookt, maar scoort minder goed dan een chrysantenbedrijf met een WKK. Als de gasprijs stijgt naar 0,30 €/m³ en de productieverhoging bij 50 W/m² conditionering 4,6% wordt in plaats van 2,3%, dan wordt het bedrijfsresultaat wel hoger dan van een bedrijf met een WKK.

3.3 Aanbevelingen

Aangezien de kosten van afschrijving, rente en onderhoud van de investering in conditionering hoog zijn, verdient het aanbeveling om eenvoudiger installaties voor chrysant te onderzoeken. Hierbij valt te denken aan verneveling of een beperkt aantal luchtbehandelingskasten. Bij een beperkt koelvermogen zouden voordeliger alternatieven voor de aquifer kunnen worden overwogen, zoals de klimrekbuffer of andere bovengrondse buffers. Ook zouden systemen zonder luchtbehandelingskasten (bijvoorbeeld kasdekkoeling) verder kunnen worden onderzocht.

Aangezien onder een gesloten scherm de temperatuur al met een beperkt koelvermogen kan worden beheerst, kan met een relatief kleine investering de temperatuur in zomeravonden sneller worden verlaagd. Hoe groot het voordeel van een verlaagde temperatuur onder het scherm is en of dit voordeel meer oplevert dan dat het kost, moet nog worden onderzocht.

Door de beschikbaarheid van hoogwaardige warmte ($\pm 90^{\circ}\text{C}$) uit de WKK en de behoefte aan laagwaardige warmte ($\pm 40^{\circ}\text{C}$) voor de gewasverwarming lijkt een absorptiewarmtepomp geschikt om voor extra koude en voor extra warmte te zorgen. Onder welke voorwaarden dit economisch rendabel is, is nog niet bekend.

De plantkundige resultaten uit dit onderzoeksproject zijn gebaseerd op simulaties. Om de productieverbetering en de kwaliteitsverbetering door conditionering in de praktijk te kunnen achterhalen zijn proeven nodig. Met name de reactie van het gewas op verneveling en op lichte koeling zouden hierin moeten worden meegenomen.

Literatuur

Bakker, Sjaak, Feije de Zwart en Jouke Campen, (2006) Goedkope koudeproductie. Powerpoint presentatie.

Kaarsemaker, Ruud, Hendrik-Jan van Telgen (2006) Stuurmogelijkheden van bladoppervlak en nutriëntenopname tomaat in gesloten kas met behulp van matverwarming. PPO Naaldwijk

Gelder, A. de, J. Kipp (2005) Perspectiefstudie voor (semi)gesloten kassystemen. PPO Naaldwijk

Gelder, Arie de, Jouke Campen, Anne Elings, Cecilia Stanghellini, Esther Meinen (2006) Luchtcirculatie en productie. PPO Naaldwijk.

Raaphorst, Marcel (2005) Optimale teelt in de gesloten kas, PPO Naaldwijk

Raaphorst, Marcel, Frank Kempkes, Jouke Campen en Ep Heuvelink (2005) Biologische en overige grondgebonden teelten in een (semi) gesloten kas. PPO Naaldwijk.

Raaphorst, Marcel, Frank Kempkes, Ep Heuvelink, Ruud Kaarsemaker, Menno Bakker (2006) Teeltconcept voor de geconditioneerde kas. PPO Naaldwijk.

Woerden, S.C. van, (red.) (2005) Kwantitatieve Informatie voor de Glastuinbouw (KWIN). PPO Naaldwijk

Zwart, H.F. de, P. Knies (2002) Kostenberekeningsschema voor warmte- en koudeopslagssystemen ten behoeve van de inzet van warmtepompen in de Nederlandse glastuinbouw. IMAG, Wageningen.

Zwart, H.F. de, E.G.O.N. Jansen, H. Loeffen (2002) Kaskoeling en aquiferlading door middel van een dakbevoeiingssysteem. Agrotechnology and Food Innovations, Wageningen, rapport 082.

Websites

www.aircokas.nl

www.klimrek.com

www.warmtepompenindeglastuinbouw.nl