

Grenswaarden voor temperatuurfluctuaties van verschillende duur bij siergewassen

Verslag van een teeltproef met modelgestuurd temperatuursverloop
Deelverslag 1: temperatuurverloop, energieverbruik en overzicht
teeltresultaten

F. Buwalda

© 2004 Wageningen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden veeleelvoudigd, 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 is een vertrouwelijk document, uitsluitend bedoeld voor intern gebruik binnen PPO dan wel met toestemming door derden. Niets uit dit document mag worden gebruikt, vermenigvuldigd of verspreid voor extern gebruik.



Dit project werd uitgevoerd in opdracht van:
NOVEM
Productschap Tuinbouw
Ministerie van LNV

Projectnummer: 41505074

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Sector Glastuinbouw

Adres : Kruisbroekweg 5
2771 KT Naaldwijk

Tel. : 0174-636700

Fax : 0174-636835

E-mail : info.ppo@wur.nl

Internet : www.ppo.dlo.nl

Inhoudsopgave

pagina

VOORWOORD	5
1 INLEIDING	6
2 MATERIAAL EN METHODEN	8
2.1 Proefopzet	8
2.2 Waarnemingen.....	9
2.3 Energieberekeningen	9
3 RESULTATEN	10
3.1 Temperatuurverloop kassen	10
3.2 Ventilatie van de afdelingen	12
3.3 Energievraag.....	13
3.4 Teeltresultaten	14
3.5 Energiebesparing.....	14
4 DISCUSSIE EN CONCLUSIES	16
5 REFERENTIES.....	17

Voorwoord

Voor u ligt het deel 1 van het vierde rapport van het project: "**Grenswaarden voor temperatuurfluctuaties bij siergewassen**".

Na de definitiestudie (Rapport 1) en de basis experimenten voor de modelvorming (Rapport 2) is in 2003-2004 een experiment uitgevoerd, waarin het kasklimaat gestuurd is op basis van een door een model (Rapport 3) berekende gewenste kastemperatuur.

Om de analyse van dit experiment overzichtelijk te houden is de rapportage opgesplitst in een aantal deelrapporten.

Deel 1 geeft het temperatuurverloop, energieverbruik en een overzicht van de teeltresultaten.

Deel 2 werkt het teeltsturingsmodel uit.

Deel 3 is de toetsing van het dynamisch gewasmodel voor groei, ontwikkeling en sierwaarde van Kalanchoe.

Deel 4 levert een analyse van verschillende scenario's die met het model zijn door te rekenen

Deel 5 beschrijft de mogelijkheden bij Potchrysant, Begonia en Saintpaulia

Aan dit project hebben diverse collega's meegewerkt. In het bijzonder worden bedankt Claudia Jillessen, Henny van Gorp, Dik Zonnenberg, Filip van Noort, Peter Korsten en Peter Lagas.

De weg van het oorspronkelijke project voorstel via experimenten en verwerking is geen rechte lijn geweest. Steeds moest worden bijgestuurd omdat zaken anders liepen dan vooraf gedacht.

Uiteindelijk schrijven de beide opstellers van het projectvoorstel uit 2000 gezamenlijk de diverse deelverslagen.

Fokke Buwalda en Arie de Gelder.

1 Inleiding

Temperatuurintegratie draagt bij aan energiezuinig stoken in de glastuinbouw. Door het tijdelijk toelaten van afwijkingen van de streeftemperatuur hoeft niet alle gratis zonnewarmte te worden afgelucht. Het warmteoverschot dat hierdoor ontstaat, kan worden gecompenseerd door op andere momenten minder te stoken. Verder kan de temperatuur tijdelijk worden verlaagd in perioden dat het extra veel energie kost om de gewenste temperatuur te handhaven, zoals bij harde wind, lage hemeltemperatuur en lage buitentemperaturen. Ook kunnen besparingsmogelijkheden van technische voorzieningen zoals een energiescherm en een warmtebuffer optimaal worden benut (Buwalda 2002).

Een belangrijke vraag is de keuze van de referentietemperatuur waaraan temperatuurafwijkingen kunnen worden afgemeten. Uit eerder onderzoek is een sterke interactie met licht gebleken: het lichtniveau is bepalend voor de reactie van het gewas op de heersende temperatuur (Buwalda et al., 1997, 2000). De teeltrecepten uit de gangbare praktijk, die niet systematisch rekening houden met licht, lijken dus eigenlijk niet erg geschikt om als referentie te dienen. Om deze reden is op theoretische basis een alternatief geformuleerd: de plantbalans. Deze is gedefinieerd als een vaste verhouding tussen groei (biomassaproductie) en ontwikkeling (het afsplitsen en uitgroeien van bladparen en het doorlopen van ontwikkelingsstadia).

Het kiezen van teeltcondities die resulteren in verschillende waarden van deze plantbalans blijkt effect te hebben op de teeltsnelheid (tijd van steksteken tot begin KD, tijd van begin KD tot bloei), het eindgewicht en de uitwendige kwaliteit (Buwalda et al., in press). Uitwendige kwaliteit werd in dit verband gedefinieerd als een set verhoudingsgetallen: gewicht in bloemen in relatie tot totaal plantgewicht, gewicht in zij scheuten in verhouding tot dat in de hoofdas, aantal zij scheuten ten opzichte van het aantal internodiën. Dit is uitgebreider beschreven in deelverslag 2.

De verklarende hypothese is dat binnen redelijke grenzen elke constante waarde van de plantbalans op voorspelbare wijze zal leiden tot een bepaald type plant, met kenmerkende waarden voor bovengenoemde verhoudingsgetallen. Temperatuurafwijkingen kunnen veranderingen in de plantbalans veroorzaken omdat ze invloed hebben op de ontwikkelingssnelheid. Veranderingen in de plantbalans kunnen, als ze groot genoeg zijn en lang genoeg duren, leiden tot reacties van het coördinatiemechanisme waarmee de plant besluit om zij scheuten uit te laten lopen of te laten zitten, en bloemknoppen tot ontwikkeling te brengen of juist in een vroeg stadium af te stoten. Deze reacties zullen effect hebben op de uitwendige kwaliteit van het gewas. Treden dergelijke effecten op, dan betekent dat dat er grenswaarden zijn overschreden. Kritische grenswaarden voor temperatuurintegratie hebben dus te maken met grenswaarden voor afwijkingen in de plantbalans.

Telers van potplanten in de praktijk zijn geïnteresseerd in kwaliteit, teeltkosten in termen van week.vierkante meters en planbaarheid (dus voorspelling van het oogstrijpe stadium). Wanneer plantbalans als uitgangspunt wordt genomen voor het berekenen van grenswaarden voor temperatuurafwijkingen, dan ontstaat tevens zicht op biomassaproductie, ontwikkelingssnelheid en de totstandkoming van uitwendige kwaliteit. Temperatuurintegratie en planmatig telen kunnen dus in principe heel goed samengaan; voor beide doeleinden is dezelfde gewaskundige informatie nodig.

Groeisnelheid, ontwikkelingssnelheid en het in werking treden van coördinatiereacties zijn momentane processen, die reageren op teeltcondities en worden beïnvloed door de toestand van het gewas op dat moment. Gewicht, ontwikkelingsstadium en kwaliteit zijn geïntegreerde grootheden die het resultaat zijn van die momentane processen, zoals bij fietsen de afgelegde afstand het geïntegreerde resultaat is van het rijden met een bepaalde (constante of wisselende) snelheid. Om hieraan te kunnen rekenen is een dynamisch model nodig. Een dergelijk model voor het proefgewas Kalanchoe is inderdaad in de loop van dit project ontwikkeld (Buwalda et al., in press).

Doel van het in dit verslag beschreven experiment was om met behulp van het model drie contrasterende, vaste waarden voor de plantbalans te handhaven, door afhankelijk van een berekende gewastoeestand bij elk lichtniveau het niveau van de etmaaltemperatuur te berekenen dat hoort bij de betreffende streefwaarde voor de plantbalans. Deze etmaaltemperatuur werd vervolgens gebruikt als streefwaarde voor een niet-optimaliserende, meerdaagse temperatuurintegrator (MTI). De MTI-routine was gelijk aan die welke in een eerder project is getoetst (Buwalda et al, 1999a, 1999b).

In dit eerste deelverslag wordt gekeken naar het energieverbruik in relatie tot het temperatuurverloop in de kas en effecten op productie, teeltsnelheid en plantgewicht.

2 Materiaal en methoden

2.1 Proefopzet

In drie verschillende afdelingen van 250 m² werd de ruimtetemperatuur via een door Priva gebouwde interface (module I-791) aangestuurd door een stuurmodel in Matlab dat speciaal voor dit doel werd ontwikkeld. Het stuurcriterium was de plantbalans; op basis van de berekende actuele toestand van het gewas werden afhankelijk van het lichtniveau etmaaltemperaturen berekend die overeenstemden met drie zo constant mogelijk aangehouden waarden voor de plantbalans: zwaar, normaal en licht.

Het principe van de plantbalans is voor deze praktische toepassing uitgewerkt tot de volgende definitie: “de verhouding tussen actuele groeikracht van de gehele plant en de dagelijkse potentiële groei van de hoofdscheut”. Het is dus een maat voor de hoeveelheid groeikracht per dag die over is om in de groei van zijstelen te investeren. In dit experiment is gekozen voor 1.8, 1.3 en 0.8 als instellingen voor de na te streven plantbalans voor respectievelijk zwaar, middel en licht (dit is uitgebreider beschreven in deelverslag 3).

De etmaaltemperaturen werden gerealiseerd door een MTI-module, geprogrammeerd volgens het principe dat eerder werd beschreven (Buwalda et al., 1999a, b). De module werd ingesteld met een temperatuurbandbreedte van 12°C (van 14 tot 28°C), en een bandbreedte voor de temperatuursom van 200 graaduren (van -100 tot +100). Deze module haalde elke 5 minuten actuele klimaatgegevens op uit de Priva Integro klimaatcomputer en berekende aan de hand van de ingestelde bandbreedte voor temperatuur en afwijking in de temperatuursom de actuele setpoints voor de stooktemperatuur en de luchttemperatuur. Deze setpoints werden elke 5 minuten doorgegeven aan de Integro. In een vierde afdeling (zogenaamde standaard afdeling) werd een temperatuur ingesteld conform het advies van enkele telers die regelmatig de proef bezochten. In deze afdeling had het stuurmodel geen invloed op stoken en luchten.

De Integro klimaatcomputer kreeg gegevens van de weertoren (straling, windrichting, windsnelheid, buitentemperatuur, regenmeter) en van een meetbox per afdeling voor temperatuur en RV, die in het midden van elke kas was opgehangen. Daarnaast werd per afdeling CO₂ gemeten.

Per kas waren twintig tabletten aanwezig met elk een oppervlak van 9,75 m². In alle afdelingen was assimilatiebelichting aanwezig met een geïnstalleerd vermogen van 32 W/m² (20 lampen van 400 W per afdeling). Voor een teveel aan zonnestraling was een zonnenscherm (schermingspercentage 40%) aanwezig. Om een te lage luchtvochtigheid te voorkomen werd een hoge druk nevelinstallatie gebruikt. CO₂ werd overdag gedoseerd tot 800 ppm bij gesloten luchtramen.

Voor verwarming had elke afdeling een ondernet en een bovennet. Het ondernet bestond uit 3 buizen van 4.5 m lengte en 3.2 cm diameter onder elk van de 20 tabletten. Het bovennet bestond uit 12 buizen van 20 m lengte en 5.1 cm diameter.

In deze proef werden twee verschillende soorten bloeiende potplanten onderzocht te weten potchrysant cv. “Springtime” en Kalanchoe cv. “Tenorio”. Het stuurmodel berekende de temperatuur op basis van de teelt van Kalanchoe. In dit deelverslag worden de resultaten voor Kalanchoe beschreven.

De korte dag behandeling werd ingezet zodra de Kalanchoes een bepaald ontwikkelingsstadium hadden bereikt (bladeren raken elkaar bij een plantverband van 60 potten per m²). De helft van de planten werd naar behoefte geremd (inzicht van de teeltchef, geadviseerd door enkele telers die regelmatig de proef bezochten). Er is twee keer wijder gezet: de eerste keer naar 42 potten per m² bij aanvang van de KD-behandeling, de tweede keer naar 36 potten per m² zodra de planten elkaar raakten. De proef werd in 2 herhalingen uitgevoerd.

Tabel 1 - Tijdschema voor de 4 behandelingen.

Gebeurtenis of Bijzonderheid	Behandeling			
	Licht	Middel	Zwaar	Controle
Steksteken	18-09-2003	18-09-2003	18-09-2003	18-09-2003
Start behandelingen	07-10-2003	07-10-2003	07-10-2003	07-10-2003
Plantverband (potten m ²)	60	60	60	60
Start KD	16-10-2003	21-10-2003	28-10-2003	21-10-2003
1 ^e keer wijderzetten	16-10-2003	21-10-2003	28-10-2003	21-10-2003
Plantverband (potten m ²)	42	42	42	42
2 ^e keer wijderzetten	27-10-2003	12-11-2003	25-11-2003	12-11-2003
Plantverband (potten m ²)	36	36	36	36
Eindwaarneming	02-01-2004	13-01-2003	27-01-2004	09-01-2004

2.2 Waarnemingen

Gedurende de teelt werden regelmatig gewaswaarnemingen uitgevoerd. Van de planten die volgens praktijkadvies werden geremd en die continu aan dezelfde temperatuurbehandeling waren blootgesteld werden wekelijks 10 planten genomen welke werden beoordeeld op verschillende kwantitatieve factoren. Aan de overige planten zijn waarnemingen uitgevoerd bij begin korte dag, bij het bereiken van het eerste generatieve stadium, en aan het einde van de teelt. Om het einde van de teelt vast te stellen werd bij alle gewassen vanaf de eerste bloei op vaste tijdstippen aan 30 planten bepaald hoeveel van deze planten een vooraf bepaald bloeistadium hadden bereikt. Als 80% of meer dit stadium had bereikt werd een kwalitatieve eindbeoordeling uitgevoerd.

Bij het gewas Kalanchoe werden de volgende zaken waargenomen:

- Lengte van de hoofdscheut (centimeter);
- Bloeistadium (bloeistadia Lets Grow);
- Aantal nodia aan de hoofdscheut;
- Aantal zijscheuten op de hoofdscheut;
- Vers- en drooggewicht hoofdscheut;
- Vers- en drooggewicht zijscheuten;
- Vers- en drooggewicht generatieve delen.

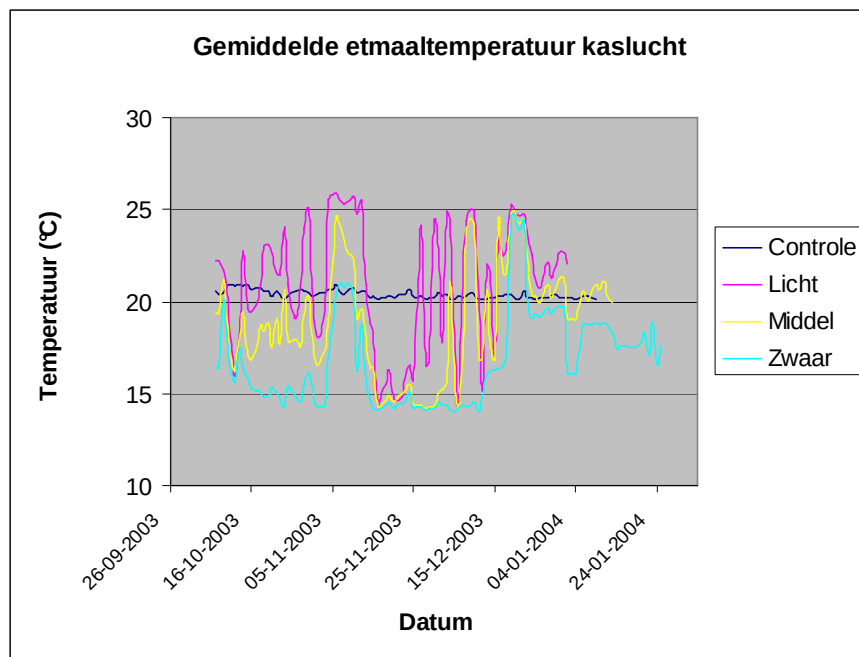
Aan het einde van de teelt werd een extra kwalitatieve beoordeling uitgevoerd waarbij van 6 planten per behandeling een foto werd genomen (boven- en zij aanzicht) om de plantvorm visueel vast te leggen. Verder werden eventuele blad- en bloemafwijkingen vastgelegd (kleur, verbranding, vorm, grootte) zowel op foto als een telling van het aantal planten met een dergelijke afwijking.

2.3 Energieberekeningen

Energieafgifte van de verwarmingsbuizen werd berekend op basis van ruimtetemperatuur en buistemperatuur volgens de methode van Nawrocky (1985).

3 Resultaten

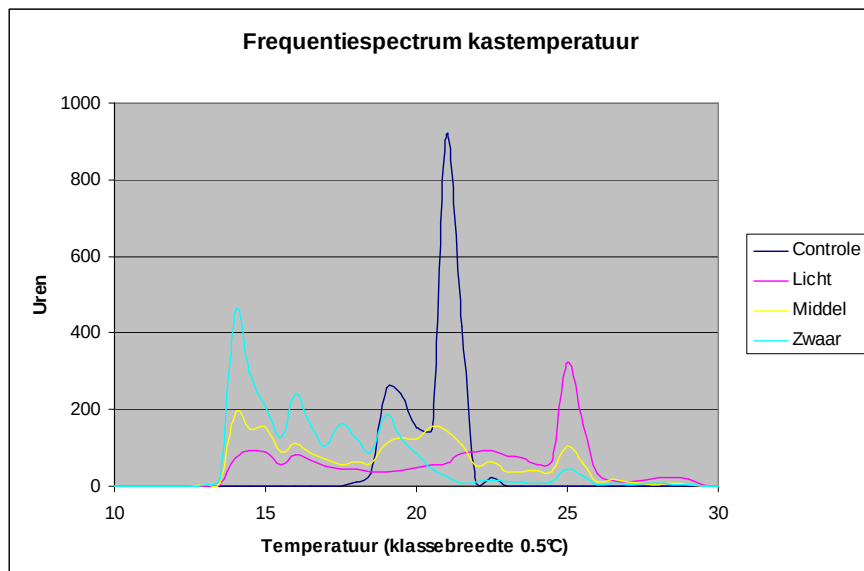
3.1 Temperatuurverloop kassen



Figuur 1 – Verloop van de gemiddelde etmaaltemperatuur van de kaslucht (°C) per afdeling, gemeten op gewasniveau.

Betekenis van de legenda:

Controle = conform praktijk, Licht, Middel en Zwaar geven de door het stuurmodel nagestreefde plantbalans aan.



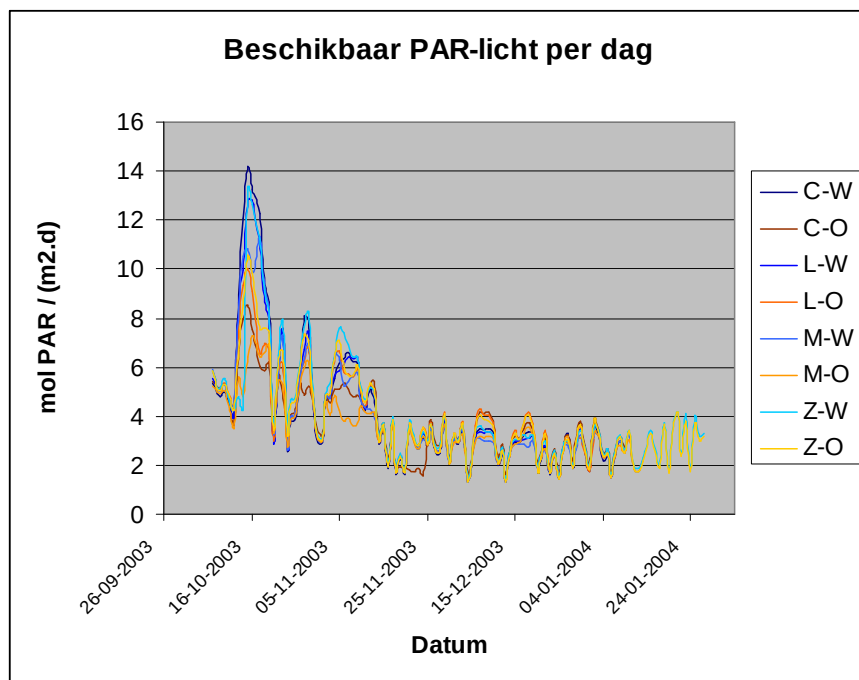
Figuur 2 - Frequentiespectrum van de kastemperaturen.

Betekenis van de legenda:

Controle = conform praktijk, Licht, Middel en Zwaar geven de door het stuurmodel nagestreefde plantbalans aan.

De gemiddelde etmaaltemperatuur in de standaardafdeling varieerde gedurende de hele teelt nauwelijks en bevond zich voornamelijk tussen de 20 en 21°C (Figuur 1). In elk van de experimentele behandelingen varieerde de gemiddelde etmaaltemperatuur tussen 14 en 25-26°C, waarmee de variatie veel groter was. Voor het gewas bleek dit echter geen bezwaar op te leveren. Te zien is dat in de afdeling waarin het model een zware plantbalans probeerde te realiseren de temperatuur overwegend lager was dan in de

referentieteelt, terwijl bij de lichte plantbalans de temperatuur overwegend hoger was. De temperatuur in de afdeling met gemiddelde plantbalans bewoog zich daar tussenin (Figuur 2). In alle drie de modelgestuurde afdelingen kwam het voor dat de temperatuur door het model naar extreem hoge en extreem lage waarden werd gestuurd, mede onder invloed van het lichtniveau (Figuur 3). De onder- en bovengrenzen van 14 en 26°C zijn bepaald door ingestelde grenswaarden; zonder deze begrenzingsen zouden de temperatuurschommelingen nog groter zijn geweest.

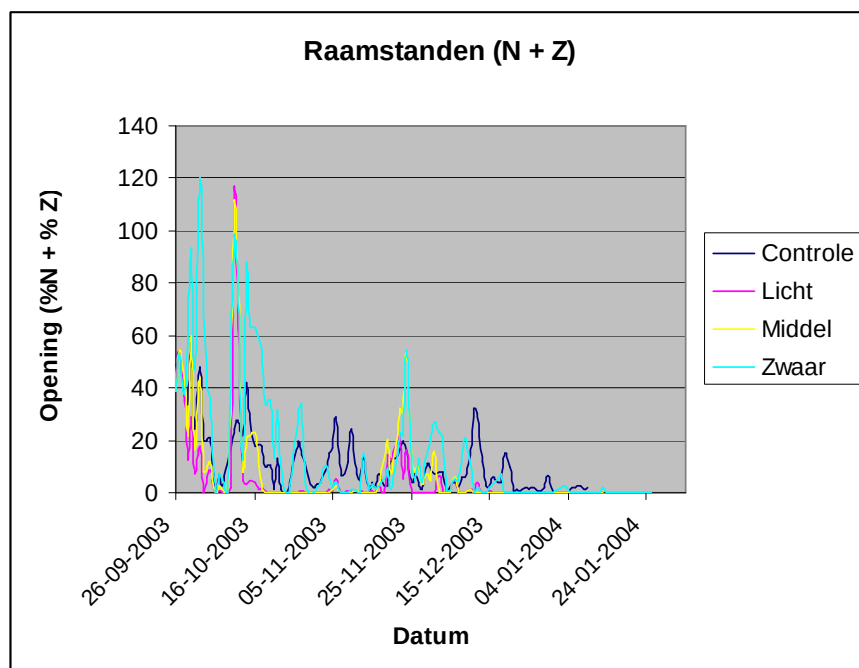


Figuur 3 - Verloop van de dagelijkse lichtsom, gemeten op gewasniveau en uitgedrukt als mol PAR $m^2 d^{-1}$. Per afdeling werd het licht op twee punten gemeten, aan de oost- en westzijde van het middenpad (O en W).

Verdere betekenis van de legenda:

C = controle, L, M en Z duiden op respectievelijk lichte, gemiddelde en zware plantbalans.

3.2 Ventilatie van de afdelingen

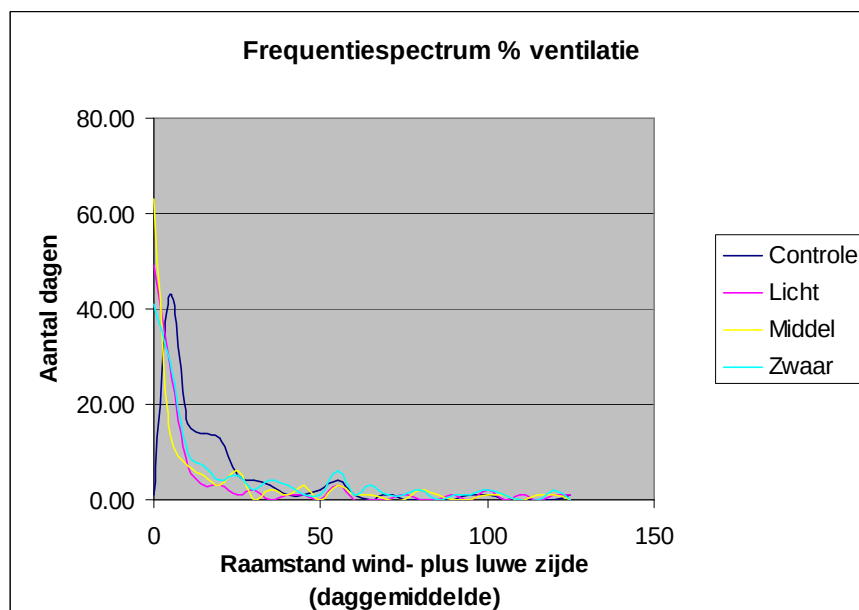


Figuur 4– Verloop van de gemiddelde raamstanden per etmaal. Weergegeven is de som van de luchtingspercentages aan beide zijden van de kas per afdeling.

Betekenis van de legenda:

Controle = conform praktijk, Licht, Middel en Zwaar geven de door het stuurmodel nagestreefde plantbalans aan.

Figuur 4 geeft het verloop van de som van de gemiddelde raamstanden aan de noord- en zuidzijde van de afdelingen weer. Het is duidelijk dat er in de afdelingen waarin het stuurmodel een normale of lichte plantbalans handhaafde minder gelucht werd in vergelijking met een conventionele klimaatregelaar (Figuur 5). In de afdeling waarin werd gestreefd naar een zware plantbalans is gedurende een groot deel van de teelt meer gelucht dan in de conventioneel geregelde kas. Er zijn echter ook perioden aan te wijzen waarin juist minder werd gelucht. Dit geldt voor de perioden waarin de etmaaltemperatuur in de afdeling met de zware plantbalans hoger lag dan in de conventionele kas.



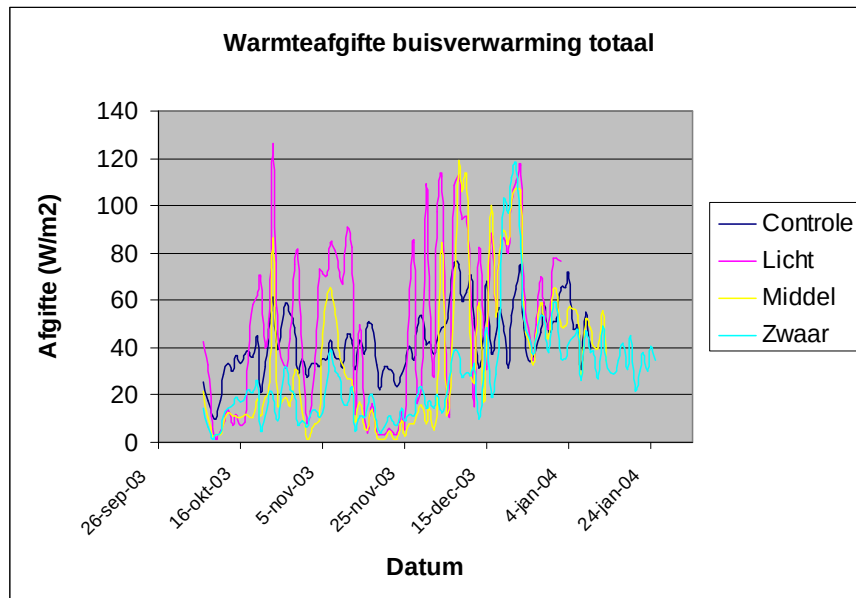
Figuur 5 – Frequentiespectrum voor de verdeling van de gemiddelde ventilatie

Betekenis van de legenda:

Controle = conform praktijk, Licht, Middel en Zwaar geven de door het stuurmodel nagestreefde plantbalans aan.

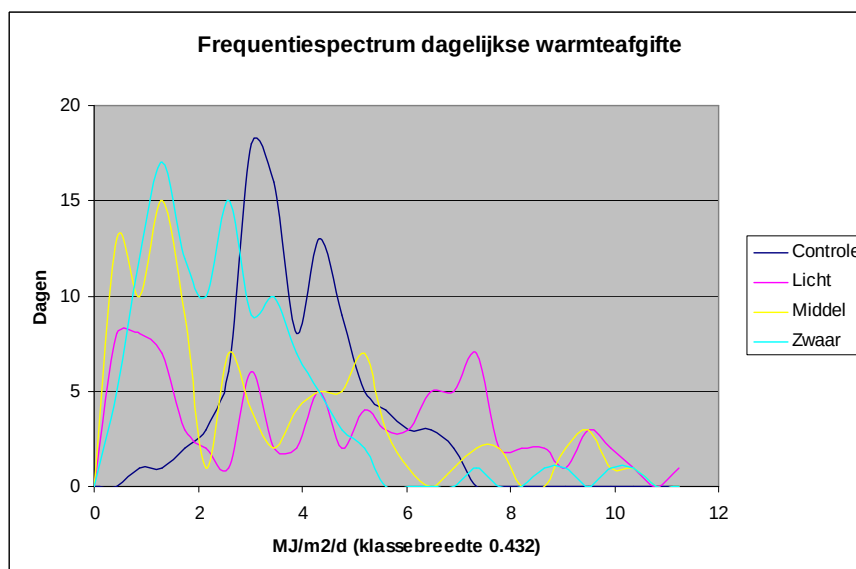
3.3 Energievraag

Figuur 6 geeft het verloop van de warmteafgifte van het verwarmingsnet weer. De door het model nagestreefde 'zware' plantbalans resulteerde in een sterk verminderde warmteafgifte gedurende het grootste deel van de teelt, met uitzondering van een korte periode rond de jaarwisseling. De warmteafgifte van de buizen in de afdeling met een 'Lichte' plantbalans was juist aanzienlijk groter dan in de conventioneel geregelde afdeling (Figuur 7). In de afdeling met de 'Middel' plantbalans was de warmteafgifte afwisselend hoger en lager dan in de conventionele kas. Behalve via de buisverwarming werd er ook via de assimilatielampen nog een energie in de kas gebracht. Een groot deel van deze energie komt in de vorm van warmte vrij als gevolg van het feit dat het lichtrendement van de lampen beperkt is en omdat een groot deel van het geabsorbeerde lamplicht omgezet wordt in warmte. Bij gemiddeld 10 branduren per etmaal bedraagt het energieverbruik van de lampen $1.15 \text{ MJ m}^{-1} \text{ d}^{-1}$, dus qua orde van grootte vergelijkbaar met dat van de verwarming.



Figuur 6– Verloop van de gemiddelde warmteafgifte per etmaal (W m^{-2}) van het onder- en bovennet van de buisverwarming samen.

Betekenis van de legenda: Controle = conform praktijk, Licht, Middel en Zwaar geven de door het stuurmodel nagestreefde plantbalans aan.



Figuur 7– Frequentiespectrum voor de warmteafgifte per etmaal (W m^{-2})

Betekenis van de legenda: Controle = conform praktijk, Licht, Middel en Zwaar geven de door het stuurmodel nagestreefde plantbalans aan.

3.4 Teeltresultaten

De verschillen in stook- en luchttingsgedrag, en de verschillen in kasttemperatuur, die daar het gevolg van waren, bleken van invloed te zijn op de teeltduur. Naarmate het temperatuurniveau hoger was bleek de teeltduur korter te zijn (Tabel 2). Dit betekent dat de teeltduurverkorting een compenserend effect heeft op het extra energieverbruik dat nodig is om het hogere temperatuurniveau te handhaven. Omgekeerd is niet alle energiebesparing als gevolg van een lager temperatuurniveau te beschouwen als winst, vanwege de toegenomen teeltduur. In de kolom met eindgewichten is te zien dat geen van de experimentele behandelingen resulteerde in lichtere planten. Ook kwamen in alle afdelingen de planten normaal in bloei. Het extreme temperatuurverloop in de afdelingen die door het model zijn aangestuurd heeft dus globaal gezien geen negatief effect op de planten gehad. Op groei, ontwikkeling en gewaskwaliteit wordt in het volgende deelrapport nader ingegaan.

Tabel 2 – Teeltduur, reactietijd en eindgewicht van Kalanchoe in de verschillende afdelingen. In kolom 3 en 5 staan voor de gehele teelt en voor de korte dag periode afzonderlijk de gemiddelde temperatuurniveaus weergegeven. De cijfers hebben betrekking op de periode van het begin van de behandelingen totaan de eind oogst per afdeling. De bewortelingsfase was gelijk voor alle behandelingen en is buiten beschouwing gelaten.

Afdeling	Hele teelt		KD-fase		Eindgewicht (g)
	Duur (d)	Gemiddelde temperatuur (°C)	Duur (d)	Gemiddelde temperatuur (°C)	
Controle	94	20.6	81	20.5	192
Licht	87	21.1	80	21.2	208
Middel	98	19.1	85	19.2	196
Zwaar	112	17.1	92	17.3	225

3.5 Energiebesparing

In Tabel 3 wordt een overzicht gegeven van de effecten op het energieverbruik van de drie modelgestuurde temperatuurstrategieën ten opzichte van de conventioneel geregelde afdeling. In alle modelgestuurde afdelingen was het energieverbruik van de tabletverwarming (ondernet) gemiddeld lager dan in de controleafdeling. Dit gold ook voor het bovennet, behalve in de afdeling waarin de lichtste plantbalans werd nagestreefd, en waar het gemiddelde temperatuurniveau ook hoger is geweest (Tabel 2). Door de verschillen in teeltduur zijn de behandelingseffecten op het totale energieverbruik per teelt kleiner dan wanneer het verbruik wordt uitgedrukt op dagbasis. Samenvattend heeft het nastreven van een lichte plantbalans geleid tot een energieverbruik per m² per teelt dat 5% hoger lag dan in de referentieafdeling, terwijl in de afdelingen met gemiddelde en zware plantbalans het verbruik 11% lager lag.

Tabel 3 – Gemiddelde warmteafgifte van de buis- en tabletverwarming (boven- en ondernet) per dag ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), en het gecombineerde verbruik van de verwarming en de assimilatiebelichting, gemiddeld per dag ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) en als totaal van de gehele teelt (MJ m^{-2}). Bij de berekening van het totaal is direct omgerekend van kWh naar MJ, zonder rekening te houden met eventuele rendementsverliezen bij de opwekking van elektriciteit. De cijfers hebben betrekking op de periode van het begin van de behandelingen totaan de eind oogst per afdeling. De bewortelingsfase was gelijk voor alle behandelingen en is buiten beschouwing gelaten.

Afdeling	Warmteafgifte ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$)			Totaal verbruik Buizen + lampen		Relatief (controle = 100%)
	bovennet	ondernet	gecombineerd	($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$)	(MJ m^{-2})	
Controle	1.83	1.85	3.68	4.83	454	100
Licht	3.12	1.25	4.37	5.49	477	105
Middel	1.72	1.24	2.97	4.12	403	89
Zwaar	1.02	1.43	2.45	3.62	406	89

Tabel 4 - Ruimtebeslag per plant, uitgedrukt in week.m^2 en energieverbruik per plant in MJ. Bij de berekening van het ruimtebeslag is uitgegaan van het benutte teeltoppervlak; er is dus geen rekening gehouden met paden, onbenutte delen van teelttabletten en constructie-elementen. De cijfers hebben betrekking op de periode van het begin van de behandelingen totaan de eind oogst per afdeling. De bewortelingsfase was gelijk voor alle behandelingen en is buiten beschouwing gelaten

Afdeling	Ruimtebeslag per plant		Energieverbruik per plant	
	Absoluut (wk.m^2)	Relatief (controle = 100%)	Absoluut (MJ)	Relatief (controle = 100%)
Controle	0.338	100	11.6	100
Licht	0.325	96	12.8	110
Middel	0.354	105	10.5	91
Zwaar	0.395	117	10.6	92

Deze uitkomsten kunnen nog worden gecorrigeerd voor de ruimtebenutting van de teelt, waarbij de teeltduur en het wijderzetschema van belang zijn. De effecten op ruimtebeslag per plant zijn vooral door verschillen in teeltduur bepaald (relatieve duur resp. 100, 93, 104 en 119 %), en in mindere mate door het wijderzetschema (Tabel 4). Wanneer de gegevens m.b.t. energieverbruik per m^2 worden gerelateerd aan het wijderzetschema, dan kan het energieverbruik per plant worden berekend. Het blijkt dat het wijderzetschema inderdaad van invloed is op het relatieve energieverbruik; in elk van de drie experimentele behandelingen komt de energie-efficiëntie iets ongunstiger te liggen ten opzichte van de referentie dan wanneer het energieverbruik wordt uitgedrukt per m^2 teeltoppervlak. De wijderzetschema's zijn in deze proef echter niet geoptimaliseerd; mogelijk kunnen meer efficiënte schema's worden ontworpen.

4 Discussie en conclusies

De modelgestuurde klimaatregeling had effecten op het energieverbruik, de gemiddelde ruimtetemperatuur en de teeltduur. Hoe hoger de temperatuur, des te meer energie werd gebruikt. Daar stond tegenover dat de teeltduur bij hogere temperaturen korter was. Omgekeerd leidde een lager temperatuurniveau tot een geringer energieverbruik per dag, maar ook een langere teeltduur. Het bleek dat de doeldefinitie in het stuurmodel die streefde naar een lichte plantbalans leidde tot een vermindering van de energie-efficiëntie van de teelt met 5% per m² en met 10% per plant. In het geval van de middelste en zware plantbalans werd juist een grotere energie-efficiëntie bereikt, nl. in beide gevallen 11% op oppervlaktebasis en 9 resp. 8% per afzonderlijke plant.

Ondanks het extreme temperatuurverloop in de modelgestuurde afdelingen is er een goed gewas geteeld; van specifieke schade was geen sprake. Dit geeft aan dat de speelruimte voor energiebesparing aanzienlijk groter is dan algemeen wordt aangenomen.

Het resultaat is enigszins seizoensafhankelijk. Bij een teelt die in het najaar wordt gestart vallen bij een eventuele verlengde teeltduur alle extra dagen in de winter, de periode waarin relatief veel wordt gestookt. Dit was vooral het geval bij de zware plantbalans. In elk ander deel van het jaar zou deze behandeling relatief gunstiger uit de bus zijn gekomen.

5 Referenties

F Buwalda, CJTJ Jilesen, PHJ Korsten, D Zonnenberg, F van Noort - External Quality and Timing of Flowering Pot Plants - Modelling Side Shoot Emergence and Biomass Partitioning to Flowers of Kalanchoe – Acta Hort. (in press).

F Buwalda (2002) – Grenswaarden voor temperatuurintegratie: een definitiestudie. PPO intern Buwalda F, Eveleens B, Wertwijn R.(2000) - Ornamental crops tolerate large temperature fluctuations: a potential for more efficient greenhouse heating strategies. Acta Hort. 515:141-149 rapport.

F Buwalda (1997) - Mogelijkheden voor energiebesparing door temperatuurintegratie bij siergewassen: Effecten van lichtniveau, temperatuurniveau en wachttijd op de integratiecapaciteit van Ficus, Kalanchoe, Gerbera en roos. PBG rapport 120:

F Buwalda, B Eveleens, R Wertwijn (2000) - Ornamental crops tolerate large temperature fluctuations: a potential for more efficient greenhouse heating strategies. Acta Hort. 515:141-149.

F Buwalda, AA Rijdsdijk, JVM Vogelesang, A Hattendorf, LGG Batta (1999) : An energy efficient heating strategy for cut rose production based on crop tolerance to temperature fluctuations. Acta Hort. 507:117-125.

F Buwalda, AA Rijdsdijk, GJL van Leeuwen, A Hattendorf, JVM Vogelesang (1999) Mogelijkheden voor energiebesparing door temperatuurintegratie bij siergewassen. Toetsen van een meerdaags integrerende temperatuurregeling onder realistische teeltomstandigheden. PBG Rapport 176

KR Nawrocki (1985) - Meting warmteoverdrachtscoëfficiënt voor convectie van verwarmingspijpen in kassen. IMAG rapport 73.