

# Grenswaarden voor temperatuurfluctuaties van verschillende duur bij siergewassen

Verslag van een teeltproef met modelgestuurd temperatuursverloop  
Deelverslag 2: Stuurmodel – principe en werking

F. Buwalda

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

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vervoelvoudigd, 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](mailto:info.ppo@wur.nl)

Internet : [www.ppo.dlo.nl](http://www.ppo.dlo.nl)



# Inhoudsopgave

pagina

VOORWOORD .....	5
1 INLEIDING .....	6
1.1 Uitwerking en definitie van de doelfunctie.....	6
2 TECHNISCHE UITVOERING.....	7
2.1. Grafische user interface.....	7
2.1 Onderliggende modules.....	10
2.1.1 Berekening groei, ontwikkeling en temperatuursetpoints .....	10
2.1.2 Vertaling van etmaalsetpoint naar stook- en ventilatietemperatuur .....	10
2.1.3 Berekening van reconstructies en prognoses van gewasgroei, ontwikkeling en kwaliteitsparameters.....	11
3 RESULTATEN .....	12
4 DISCUSSIE .....	17
LITERATUUR.....	18

# Voorwoord

Voor u ligt het deel 2 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 kasttemperatuur.

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 Potchryasant, Begonia en Saintpaulia

Aan dit project hebben diverse collega's meegewerkt. In het bijzonder worden bedankt Claudia Jillessen, Henny van Gurp, 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

Om een gewasmodel te kunnen gebruiken om te sturen is een doelfunctie nodig, die gesteld is in termen waarmee het model ook rekt. Het model legt verband tussen groei en ontwikkeling, en is gebaseerd op de theorie dat de hoeveelheid groei per eenheid ontwikkeling invloed heeft op de kwaliteit. Voor deze verhouding wordt in het kader van dit project de term 'plantbalans' gebruikt. Doel van de stuurproef was om dit principe te toetsen. Hierbij is gekozen om te proberen zo consequent mogelijk drie verschillende niveaus van plantbalans te handhaven, en na te gaan of die inderdaad resulteren in verschillende niveaus van visuele eindkwaliteit. Bij een gegeven lichtbeschikbaarheid zal het handhaven van de drie niveaus van plantbalans resulteren in verschillen in teeltsnelheid. De keuze voor de proefopzet zoals uitgevoerd is gebaseerd op de overweging dat het handhaven van een gewenst niveau van plantbalans theoretisch de minste complicaties oplevert. Met deze benadering is voor elk lichtniveau (eventueel daarnaast ook rekening houdend met de CO<sub>2</sub>-concentratie) en gegeven het plantverband en de toestand van het gewas, een bijbehorende temperatuur te berekenen die zal resulteren in de gewenste waarde van de plantbalans. Theoretisch wordt verwacht dat een constante plantbalans zal resulteren in een constant en regelmatig verloop van de gewasontwikkeling, waarbij een voor die balans specifiek type plant zal worden gevormd (Buwalda, 2003). Als dit technisch kan worden gerealiseerd zal dit dus in principe een robuuste teeltsturing zijn met een voorspelbaar en rustig ontwikkelingstraject voor het gewas.

Een alternatieve optie was om aan te sturen op drie verschillende oogsttijdstippen, waarbij effecten op het verloop van de plantbalans en de resulterende eindkwaliteit secundair zouden zijn geweest. Omdat de lichtcondities veranderlijk en grotendeels onvoorspelbaar zijn ontstaat er zo dus wat betreft eindkwaliteit een onvoorspelbaar resultaat. Op deze aspecten wordt in het deelverslag scenariostudies nader ingegaan.

## 1.1 Uitwerking en definitie van de doelfunctie

De theorie m.b.t. het totstandkomen van uitwendige kwaliteit (Buwalda 2003) stelt dat laterale groei het belangrijkste kwaliteitsbepalende proces is, en dat deze wordt bepaald door source/sinkrelaties in de plant. 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 zijscheuten te investeren. In dit experiment is gekozen voor 0.8, 1.3 en 1.8 als instellingen voor de na te streven plantbalans. In het geval van de instelling 0.8 is er dus structureel te weinig groeikracht beschikbaar om volledig aan de assimilatenbehoefte van de hoofdscheut te voldoen. De assimilatenbehoefte wordt geschat als potentiële groei aan de hand van een uitgroeicurve per onderdeel van de plant (Rapport 3: Gewasmodel). De assimilatenverdeling wordt in het model berekend volgens het principe van de relatieve sinksterkte. Hoe hoger de potentiële groei, des te harder trekt het betreffende orgaan aan de beschikbare assimilaten. In het geval dat de som van de potentiële groei van alle onderdelen groter is dan de beschikbare groeikracht, dan wordt die groeikracht verdeeld naar rato van potentiële groei. Het is dus niet zo dat de verdeling absoluut is; ook in het geval van een plantbalans met streefwaarde 0.8 was de verwachting dat er nog wel zijscheuten zouden ontstaan.

## 2 Technische uitvoering

In de periode september 2003 – januari 2004 werd een proef uitgevoerd in 4 gelijke kasafdelingen van de voormalige PPO-vestiging Horst. Een afdeling fungeerde als referentie; daar werd het klimaat, in overleg met telers, zo veel mogelijk conform praktijk geregeld. Het klimaat in de overige drie afdelingen werd door een speciaal ontwikkeld stuurprogramma geregeld, waarbij per afdeling verschillende niveaus van de plantbalans-doelfunctie werden nagestreefd.

Het stuurprogramma bestond uit verschillende modules in Matlab 5.3, die hiërarchisch waren georganiseerd. Het programma draaide lokaal op een speciale PC, die via een netwerkkaart en een speciaal voor dit doel door Priva ontwikkeld interfaceprogramma ItLogPlus.dll (Priva special I 791) communiceerde met de Priva Integro procescomputer die het klimaat in de proefkassen regelde. Via een modemverbinding konden op afstand instellingen worden gewijzigd en resultaten worden opgehaald.

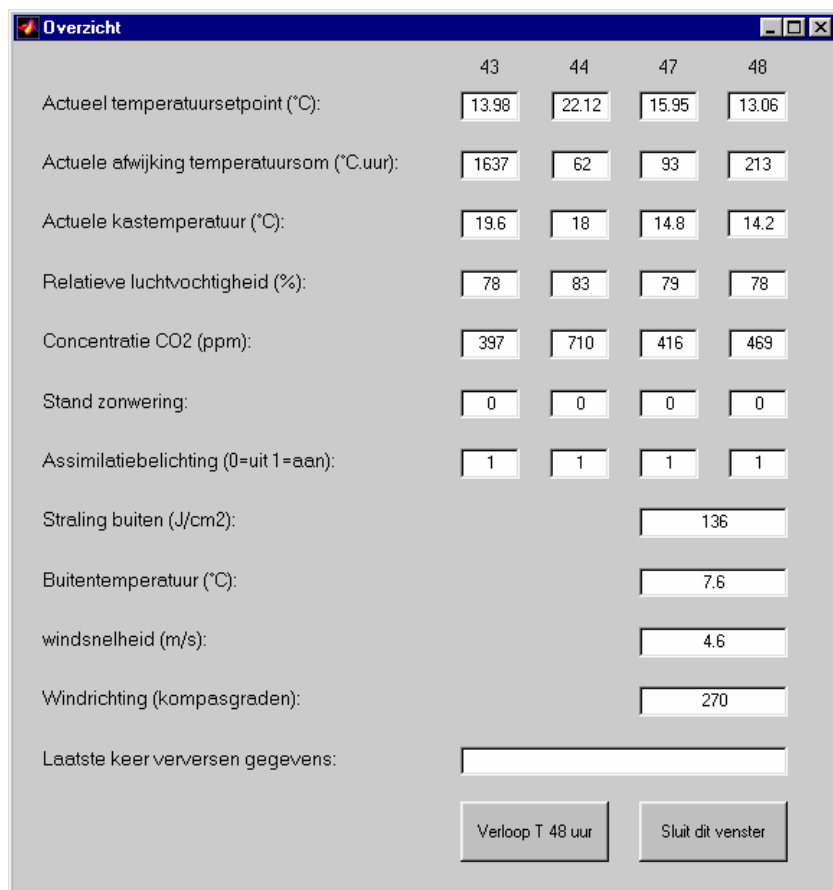


*Figuur 1 – hoofdscherm van de grafische user interface van het stuurmodel met bedieningsknoppen en statusvenstertjes.*

### 2.1. Grafische user interface

Om het stuurmodel heen was een grafische schil gebouwd. Deze schil bestond uit een hoofdscherm (Figuur 1), waarop routinematig kon worden gecontroleerd of het model nog draaide en of er eventueel foutmeldingen waren. De meest recente foutmelding kon worden opgevraagd door middel van de knop 'Errors zien'. Door middel van de startknop kon het model na een eventuele stroomstoring opnieuw worden

gestart. Verder waren op het hoofdscherm knoppen beschikbaar die toegang gaven tot overzichten van het klimaat (Figuur 2) en de actuele gewastoestand (Figuur 3).



*Figuur 2– Overzichtsscherm van de actuele toestand van kasklimaat, buitenklimaat en enkele regelparameters. Alocatie van behandelingen over de afdelingen was:*

*43 = Referentieafdeling (standaardinstellingen zonder invloed van het stuurmodel);*

*44 = Lichte plantbalans;  
47 = Gemiddelde plantbalans;  
48 = Zware plantbalans*

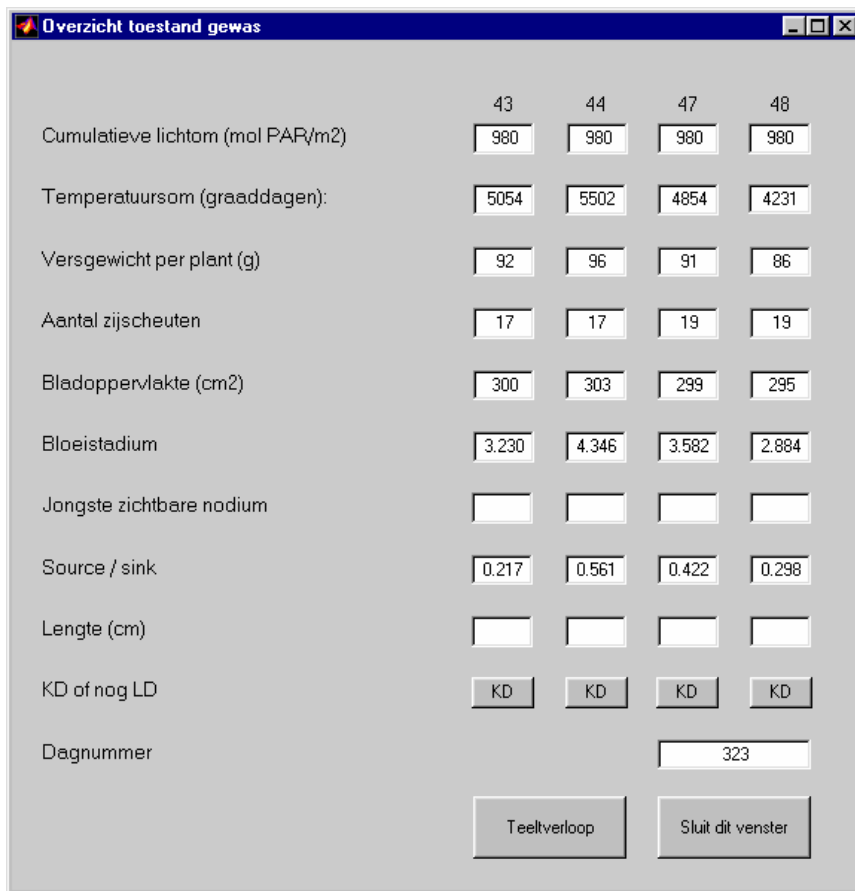
De knop 'Verloop T 48 uur' in het klimaatoverzichtscherf (Figuur 2) opende een grafiek waarin voor de 4 afdelingen (43, 44, 47 en 48) het temperatuurverloop gedurende de laatste 48 uur werd weergegeven. Een vergelijkbare knop in het gewasoverzichtscherf (Figuur 3) opende een grafiek waarin voor het plantgewicht, het aantal zijscheuten en het bloeistadium een overzicht werd weergegeven van het berekende verloop in de tijd (Figuur 4).

De berekeningen werden verschillende malen uitgevoerd:

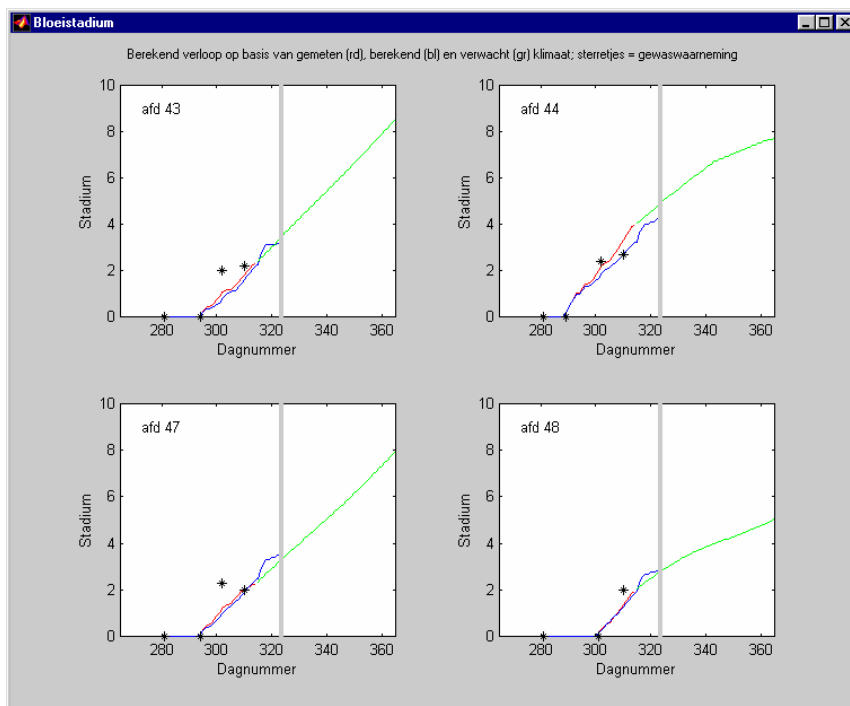
- eenmaal op basis van klimaatgegevens, opgehaald uit de klimaatcomputer (dus de gegevens waarmee het model normaal rekent; blauw);
- hetzelfde verloop, herberekend op basis van geregistreerde klimaatgegevens uit dataloggers die tussen het gewas stonden opgesteld (rood);
- verder een verwacht toekomstig verloop op basis van langjarig gemiddelde lichtgegevens (groen) vanaf de laatst bekende dag in de dataset met gelogde klimaatgegevens.

De grijze balk geeft de huidige dag weer. De zwarte sterretjes vertegenwoordigen tussentijdse gewaswaarnemingen. Wekelijks werden de meest recente gegevens uit de dataloggers aan de database van het model toegevoegd, waardoor de reconstructie (rode lijn) automatisch werd verlengd en het begin van de aansluitende prognose (groene lijn) ook later begon. Ook konden resultaten van nieuwe gewaswaarnemingen aan de database worden toegevoegd, waardoor automatisch nieuwe sterretjes in de grafiek terechtkwamen.





Figuur 3– Overzichtsscherm van de actuele waarden van de (door het model berekende) gewastoeestand. Voor uitleg behandelingen zie het bijschrift bij Figuur 2.



Figuur 4– overzichtsscherm van het verloop van het bloeistadium, berekend op basis van gegevens opgehaald uit de klimaatcomputer (blauw), herberekend op basis van gegevens uit dataloggers tussen het gewas (rood), en voorspeld op basis van jaargemiddelde weersgegevens (groen). De zwarte sterretjes geven tussentijdse gewaswaarnemingen weer. Er waren vergelijkbare vensters voor versgewicht en aantal zij scheuten. Voor uitleg behandelingen zie het bijschrift bij Figuur 2.

## 2.1 Onderliggende modules

Op de achtergrond draaiden twee regiomodellen die de dagelijkse routines verzorgden. Het ene model voerde 's morgens om 6:00 uur, dus eenmaal per etmaal, een berekeningscyclus uit. Dit model hield informatie bij over het gemiddelde etmaalklimaat en de toestand van het gewas, riep het gewasmodel aan om de dagelijkse groei en ontwikkeling te berekenen en om per behandeling het temperatuursetpoint te bepalen. Verder werden tussentijdse resultaten gelogd. Het andere routinemodel voerde eens per 5 minuten een rekenslag uit. Deze module haalde actuele gegevens op uit de klimaatcomputer en hield per afdeling op basis van de actuele kastemperatuur en het geldende temperatuursetpoint een warmtebalans bij. Deze warmtebalans werd gebruikt om de stook- en luchtgingstemperatuur te berekenen. De berekende instellingen werden vervolgens weer doorgegeven aan de klimaatcomputer. Verder werden resultaten m.b.t. klimaat en regelgedrag elke 5 minuten gelogd.

### 2.1.1 Berekening groei, ontwikkeling en temperatuursetpoints

In opdracht van de 24uurs-routine voerde het gewasmodel eens per etmaal, net voor zonsopgang, een rekenslag uit. Het model berekende dagelijks per behandeling de verwachte groei, de vegetatieve en generatieve ontwikkeling, en de verandering in inductie van nog niet uitgelopen okselknoppen. Met deze informatie werden dagelijks de gegevens in de gewastoestandsmatrix geactualiseerd. Voor de berekening op de eerste dag werd een op basis van gewaswaarnemingen geschatte startmatrix van de gewastoestand gebruikt. De berekening van het etmaalsetpoint werd uitgevoerd volgens de doelfunctie geformuleerd in hoofdstuk 1.1. Voor deze berekening werd informatie gebruikt over de actuele (berekende) gewastoestand uit de toestandsmatrix van het gewasmodel, informatie over het wijderzetschema en de korte dag-behandeling, en de gerealiseerde lichtsom over de afgelopen 24 uur. Voor de impliciete aanname dat het gerechtvaardigd is om de temperatuurstreefwaarde voor het komende etmaal te berekenen op basis van de gerealiseerde lichtsom over het afgelopen etmaal bestaan sterke aanwijzingen uit proeven met weeggoten (o.a. Baas & Slootweg, 2004). Een zeer praktische consequentie van deze benadering is dat het voor de berekening niet nodig is om een weersverwachting voor de komende dag beschikbaar te hebben.

### 2.1.2 Vertaling van etmaalsetpoint naar stook- en ventilatietemperatuur

Het dagelijks berekende temperatuursetpoint werd doorgegeven aan de 5 minuten-routine. Deze module zorgde dat elke 5 minuten actuele informatie over instellingen en kas- en buitenklimaat werd opgehaald uit de Integro klimaatcomputer. Het verschil tussen actuele kastemperatuur en streefwaarde werd elke 5 minuten opgeteld bij de gesommeerde temperatuurafwijking per afdeling. Dit geïntegreerde verschil tussen streefwaarde en realisatie geeft aan of er sprake is van een warmteoverschot of juist een tekort, en werd gebruikt als criterium bij het berekenen van de stook- en luchtgingsetpoints die elke 5 minuten werden doorgestuurd aan de klimaatcomputer. Het werkingsprincipe van deze module was gelijk aan dat voor meerdaagse temperatuurintegratie (MTI), zoals eerder getest voor de gewassen roos en Gerbera (Buwalda et al., 1999). Zolang de geïntegreerde afwijking zich in de buurt van de 0 bevindt is er geen sprake van een tekort of overschot, zodat de regelaar niet hoeft in te grijpen. Het verwarmingssetpoint wordt dan op de toelaatbare minimumtemperatuur ingesteld, het ventilatiesetpoint op de maximumgrens. Is er sprake van een tekort op de warmtebalans dan wordt, evenredig met de omvang van het tekort, het stooksetpoint opgehoogd. De proportionaliteitsfactor was hierbij instelbaar, en de ophoging ging niet verder dan totaal de maximumgrens voor ventilatie. Op dezelfde wijze werd in geval van een overschot op de warmtebalans de ventilatietemperatuur verlaagd, evenredig met de omvang van het overschot, tot uiterlijk het niveau van de toelaatbare minimumtemperatuur. Aan dit eenvoudige regelprincipe zijn nog twee verfijningen toegevoegd:

- (1) uitbreiding van het neutrale punt waar het stooksetpoint minimaal is en het luchtgingsetpoint maximaal tot een 'dode zone', lopend van een beperkt tekort totaan een klein overschot op de warmtebalans;

(2) een boven- en ondergrens aan de geïntegreerde temperatuurafwijking. Deze maximering is in het gebruik nodig gebleken omdat het compenseren van zeer grote tekorten of overschotten tot onrealistisch regelgedrag bleek te leiden.

*Tabel 1 – Parameters van de regelmodule voor het vertalen van etmaalsetpoints voor temperatuur naar instellingen voor stook- en ventilatietemperatuur.*

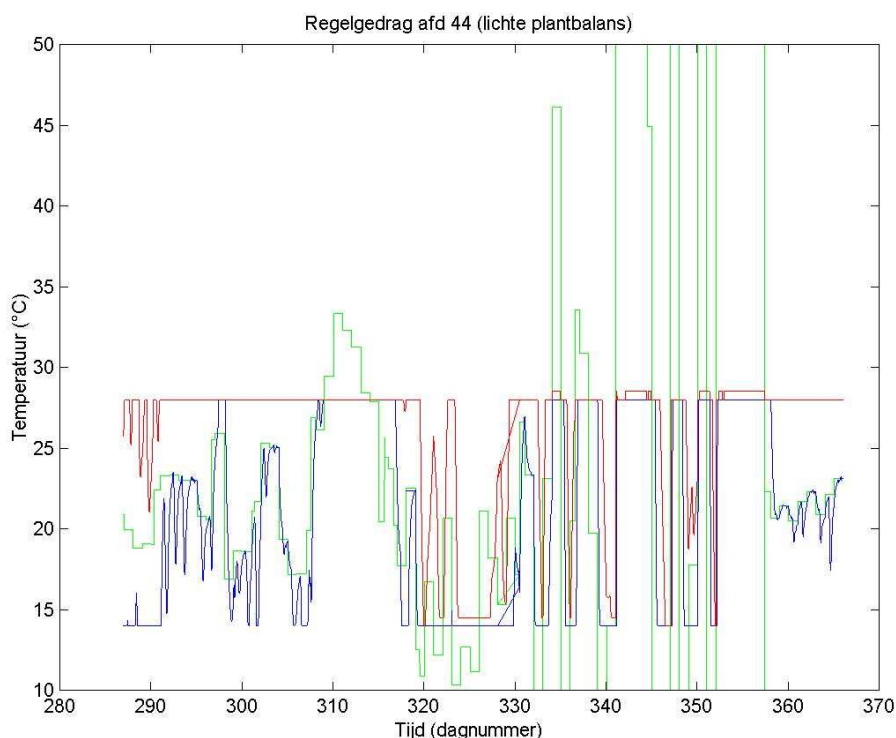
Parameter (eenheid)	Waarde
Minimum toelaatbare kasttemperatuur (°C)	14
Maximale waarde luchtingssetpoint (°C)	28
Zone waarin het stook- en luchtingssetpoint niet worden aangepast (graad.uren)	-20 tot +20
Afwijking van de warmtebalans waarbij stook- en ventilatiesetpoint maximaal zijn aangepast (graad.uren)	-80 en +80
Onder- en bovengrens van de geïntegreerde temperatuurafwijking (graad.uren)	-200 en +200

### 2.1.3 Berekening van reconstructies en prognoses van gewasgroei, ontwikkeling en kwaliteitsparameters

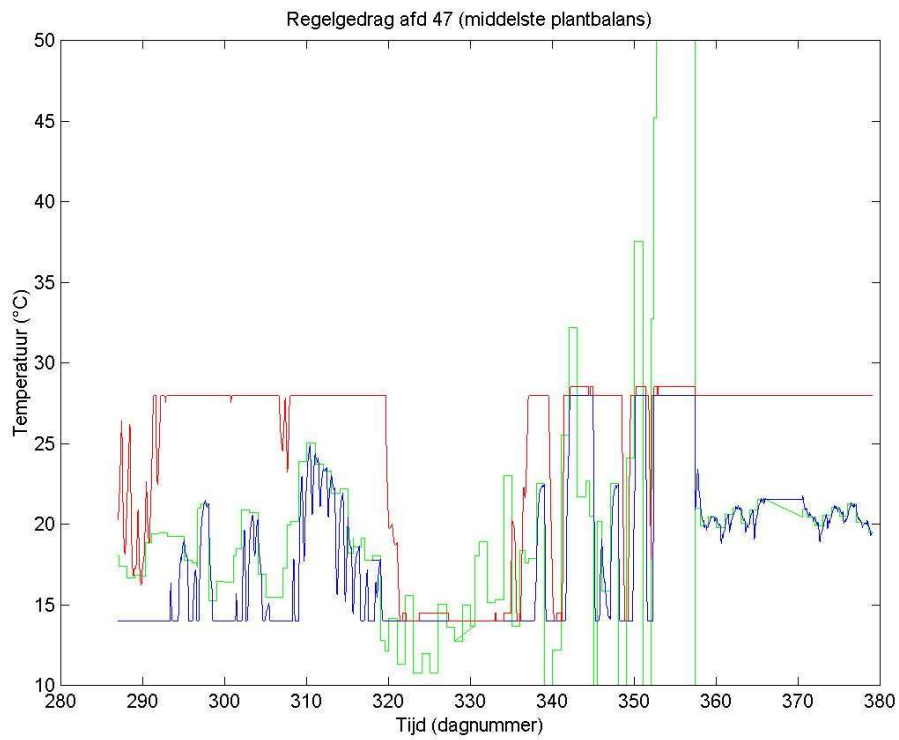
Wanneer via de grafische gebruikersinterface een overzicht zoals in Figuur 4 werd opgevraagd, dan werd een speciale module aangeroepen die op basis van de uitgangstoestand van het gewas bij het begin van de behandelingen en de geregistreerde klimaatgegevens het verloop van de teelt reconstrueerde. In een loopstructuur werd het gewasmodel aangeroepen om in rekenstappen van een dag de verandering in toestand van het gewas te berekenen en de gewasmatrix overeenkomstig aan te passen. De toestand werd per rekenstap gelogd in een file zodat een overzicht ontstond van het tijdsverloop van de relevante waarden. De reconstructie werd twee keer uitgevoerd: een keer op basis van gelogde klimaatgegevens van het model zelf, en een keer uitgaande van klimaatgegevens afkomstig uit geïntegreerde sensor/datalogger-units die tussen het gewas stonden opgesteld. Deze gegevens werden wekelijks handmatig uitgelezen en aan een apart gegevensbestand in het model toegevoegd. Volgens dezelfde berekeningsmethode werd tevens een prognose van het verdere verloop van de teelt berekend op basis van een langjarig gemiddelde lichtverwachting, waarbij per rekenstap als temperatuur-input de door het model berekende temperatuursetpoints werden gebruikt die volgens de nagestreefde niveaus van plantbalans correspondeerden met de verwachte lichtsom voor die dag. De berekende tijdseries werden vervolgens teruggegeven aan de grafische gebruikersinterface voor het genereren van de grafieken.

### 3 Resultaten

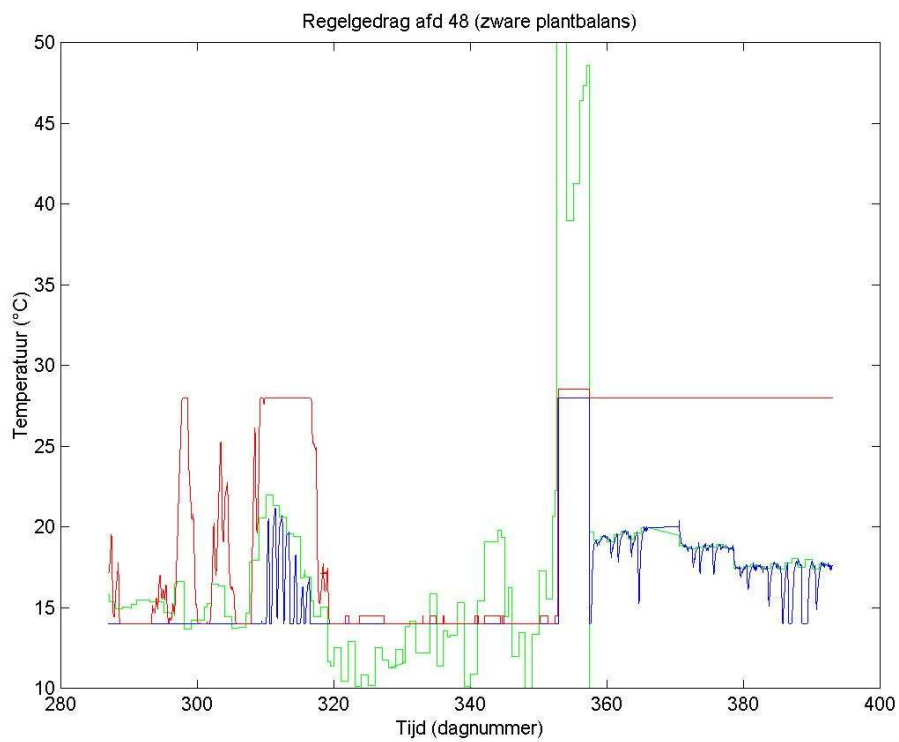
In de drie grafieken die het regelgedrag van het model weergeven (Figuur 5, Figuur 6, Figuur 7) valt op dat het verloop van de berekende temperatuursetpoints die bij de nagestreefde niveaus van plantbalans horen zeer dynamisch was. In alle drie de stuurbehandelingen bleek het temperatuursetpoint regelmatig boven de maximum toelaatbare luchttingsgrens te komen, en ook onder de minimum temperatuurgrens. Dit heeft enerzijds te maken met de sterke natuurlijke fluctuaties in lichtomstandigheden, anderzijds met het verloop van de berekende assimilatievraag van de hoofdscheut van het gewas. Binnen de bandbreedte tussen stook- en luchttingstemperatuur die het regelprogramma toeliet werd de kasttemperatuur niet geregeld en kon deze, afhankelijk van instraling, afkoeling en andere invloedsfactoren, vrijelijk fluctueren. In Figuur 8 is een deel van Figuur 6 uitvergroot, en is het verloop van de kasttemperatuur aan de grafiek toegevoegd. Duidelijk is de invloed van dag en nacht op de kasttemperatuur te zien, met een temperatuurstijging overdag en een afkoeling in de nacht. Zolang de kasttemperatuur beneden de ventilatietemperatuur bleef, werd de grootte van de dagelijkse opwarming voornamelijk bepaald door de lichtintensiteit die dag.



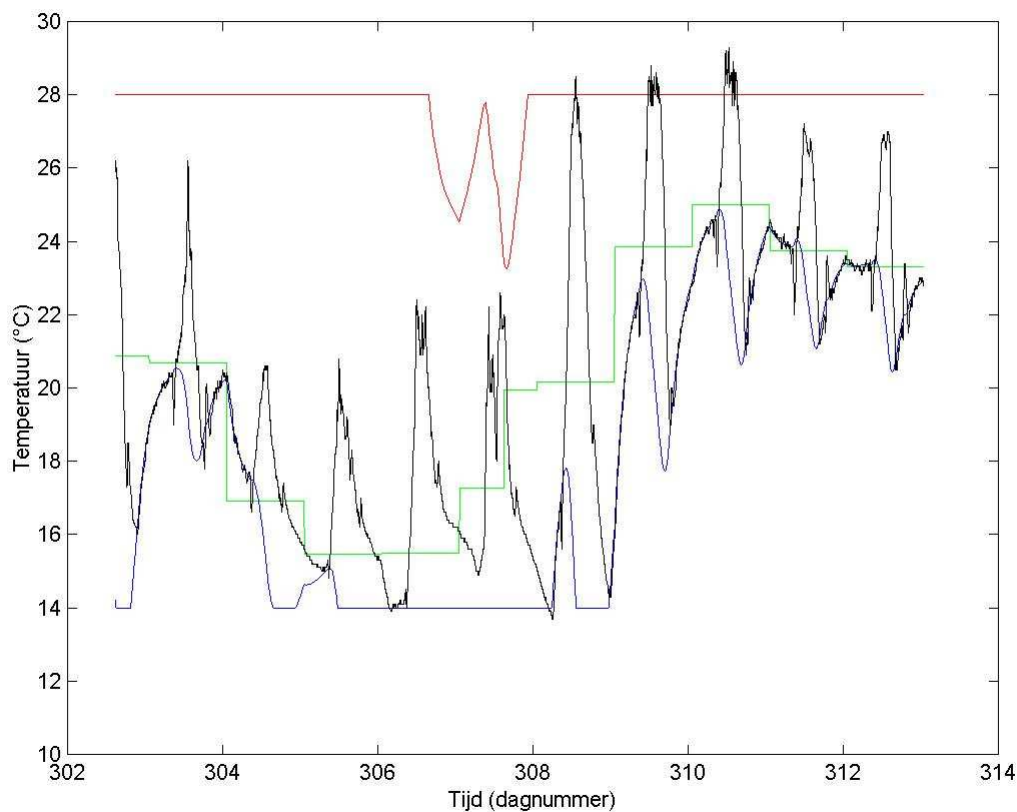
*Figuur 5– verloop van het door het gewasmodel berekende temperatuur-setpoint (groen) en de bijbehorende waarden van het stooksetpoint (blauw) en het ventilatiesetpoint (rood) in de afdeling waarin het model streefde naar een lichte plant. Tijdas: dagnummers van 2003, doorgeteld in 2004.*



*Figuur 6– Regelgedrag in de afdeling met de middelste plantbalans. Voor uitleg zie Figuur 5.*



*Figuur 7– Regelgedrag in de afdeling met de zware plantbalans. Voor uitleg zie Figuur 5.*



Figuur 8– als voorbeeld de invloed van de variabele stook- en ventilatiesetpoints op het verloop van de kasttemperatuur is een deel van figuur 3.1b uitvergroet. Blauw: stooksetpoint, rood: ventilatiesetpoint, groen: berekent etmaalsetpoint, zwart: kasttemperatuur (in alle gevallen uitgedrukt in °C). Op de tijdas staan de dagnummers weergegeven, gerekend vanaf 1 januari 2003.

Op dagen dat de berekende streefwaarde voor de etmaaltemperatuur laag was (groene lijn; dag 305 – 307; 305 = 1 november 2003), leidde de dagelijkse opwarming tot kasttemperaturen boven de streefwaarde. Het hierdoor veroorzaakte overschot op de temperatuurbalans zorgde er vervolgens voor dat de MTI-module het ventilatiesetpoint begon te verlagen (rode lijn, dag 307, 308). Vanaf dag 308 werd weer een hoger temperatuursetpoint berekend, waardoor de kasttemperatuur de neiging had om onder de streefwaarde te blijven. Hierdoor veranderde het overschot op de temperatuurbalans in een tekort, dat voor de MTI-module aanleiding gaf om het stooksetpoint te verhogen. Vanaf dag 309 is goed te zien hoe de dagelijkse passieve opwarming tot boven de etmaalstreefwaarde direct weer een tijdelijke verlagende invloed had op het stooksetpoint.

In Figuur 9 is voor de drie niveaus van plantbalans het verloop van de berekende balanstemperaturen per nagestreefd niveau van plantbalans weergegeven. Vergelijking met het verloop van de etmaalsetpoints in Figuur 5, Figuur 6 en Figuur 7 laat zien dat in de fluctuaties in het verloop van de balanstemperaturen nog extremer waren dan in de berekende etmaalsetpoints. De reden hiervoor is dat overleg met de technisch onderzoekers die de teeltproef uitvoerden en met een begeleidingscommissie van telers is besloten om de fluctuaties enigszins te dempen. De hiervoor gehanteerde formule was:

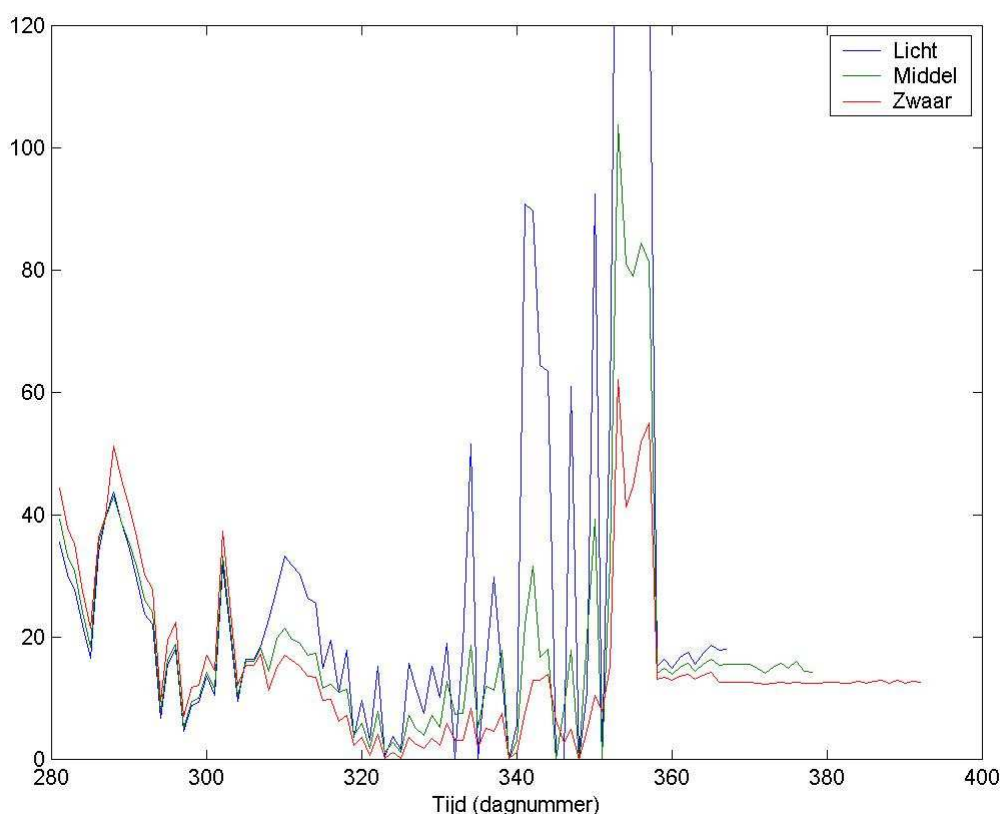
$$\text{Etmaalsetpoint} = \text{balanstemperatuur} \times \text{reductiefactor} + \text{basistemperatuur}$$

De waarden voor de reductiefactor en basistemperatuur, die een groot deel van het experiment zijn gebruikt, bedroegen resp. 0.7 en 10°C. Overigens bleek het model gedurende de eerste weken na installatie nog enkele onvolkomenheden te vertonen, waardoor er kans bestond dat eventueel optredende fouten het experiment zouden verstoren. Daarom is besloten om aanvankelijk het model dat de

balanstemperaturen berekende nog geen invloed te geven op het temperatuursetpoint. In plaats daarvan werd een eenvoudige en robuuste lichtafhankelijke regeling gebruikt voor het bepalen van de etmaalsetpoints:

$$Etmaalsetpoint = basistemperatuur + cf_{RRT} \times PAR\text{-som} / RRT$$

Hierbij werd als basistemperatuur 12°C gebruikt, als waarde van de calibratiefactor  $cf_{RRT}$  werd 1.0 ingesteld, de PAR-som was de stralingssom over de afgelopen 24 uur, omgerekend naar mol PAR m<sup>2</sup> d<sup>-1</sup>. Als streefwaarden voor RRT werd gekozen voor 0.6, 0.9 en 1.8 voor respectievelijk de lichte, middel en zware plantbalans.



*Figuur 9– verloop van de door het balansmodel berekende temperaturen die correspondeerden met de lichte (blauw), middelste (groen) en zware (rood) plantbalans. Op de verticale as staat de temperatuur in °C), de tijd is uitgedrukt in dagnummers, gerekend vanaf 1 januari 2003.*

Vanaf dag 306 bleek het balansmodel stabiel genoeg te werken, en werd het daadwerkelijk gebruikt om de streefwaarden voor de etmaaltemperatuur te bepalen. In de loop van de teelt bleek er in dit model echter een fundamentele tekortkoming aan het licht te komen. Na verloop van tijd was de gemodelleerde ontwikkeling van een steeds groter deel van de phytomeren in hoofdscheut voltooid, zodat ze stopten met groeien. Hierdoor daalde hun absorptiecapaciteit voor assimilaten ook tot nul. De berekeningsgrondslag voor de etmaaltemperatuur was de verhouding tussen de dagelijks beschikbare hoeveelheid assimilaten en de potentiële groei (absorptiecapaciteit) van de hoofdscheut. Het probleem ontstond doordat het model steeds hogere temperaturen ging berekenen om deze afname in absorptiecapaciteit te compenseren. Vanaf ongeveer dag 350 leidde dit tot totaal onrealistische etmaalsetpoints van boven de 100°C. Daarom is besloten om gedurende de rest van de teelt de streefwaarden voor de etmaaltemperatuur weer te bepalen met de eenvoudige en robuuste RRT-methode.

Op dag 357 is voor alle behandelingen de controle weer aan het RRT-model overgedragen. Voor de

begin januari veilingrijpe plant van de licht plant balans is dit slecht nog een week nodig geweest. Voor de planten van de zware planten is dit nog gedurende 4 weken toegepast.

De fout was inherent aan de doelfunctie waarmee het stuurmodel moest rekenen. De doelfunctie zoals die is geformuleerd kijkt naar de hoeveelheid assimilaten beschikbaar voor groei in verhouding tot de assimilatenvraag van de hoofdscheut. Op deze manier is getracht om het oorspronkelijke idee: 'assimilaten die de plant over heeft worden vooral in zijscheuten en generatieve groei geïnvesteerd' expliciet te krijgen. Bij ongedetermineerd groeiende gewassen, zoals tomaat, kun je hiermee goed uit de voeten, maar bij Kalanchoe loopt dit vast op het feit dat het aantal phytomeren in de plant eindig is en dus die assimilatenvraag verdwijnt zodra de uitgroei van alle fytomeren is voltooid. Op dit punt verdient het stuurmodel een verdere optimalisatie.



## 4 Discussie

Het stuurmodel zoals in dit deelverslag beschreven is grotendeels als maatwerk ontwikkeld voor dit experiment. Het model is te beschouwen als een verdere ontwikkeling van het stuurmodel dat in eerdere PPO-proeven met paprika is gebruikt (Buwalda et al., 2003). De belangrijkste vernieuwing was dat de definitie van plantbalans is aangescherpt zodat deze als basis kon dienen voor een berekening van balanstemperaturen op grond van expliciete groei- en ontwikkelingsprocessen in een mechanistisch, dynamisch gewasmodel. Hoewel de vertaling van deze processen naar een doelfunctie voor het stuurmodel nog tekortkomingen vertoonde, opende deze aanpak wel de mogelijkheid om in de loop van de teelt allerlei informatie over de toestand van het gewas aan de gebruiker te laten zien, in termen van direct controleerbare grootheden zoals versgewicht, bloeistadium en aantal zij scheuten, en het verloop hiervan in de tijd.

Het minder ver uitgewerkte regelsysteem dat eerder voor de paprika werd toegepast had in de ogen van de gebruikers vooral het karakter van een weinig inzichtelijke 'black box'. De mogelijkheden van deze verbeterde versie om op elk gewenst moment in tabel- of grafiekvorm informatie over de gewas toestand en het verloop van de regelacties op het scherm te krijgen gaf de gebruiker veel meer inzicht in waar het systeem mee bezig was, en leidde daardoor tot positieve reacties. Ook bleken eventueel voorkomende storingen eerder te worden opgemerkt, en in de meeste gevallen kon het probleem op basis van de getoonde overzichten over het algemeen snel en accuraat worden geanalyseerd en verholpen. Bij een eventuele toekomstige toepassing van een op dit systeem geënt model in de praktijk zal deze inzichtelijkheid ook zeker een belangrijke rol spelen in de zin dat de gebruiker mee kan denken.

Een belangrijk punt bij toepassing in verschillende kassen en bij verschillende rassen is dat de eventuele noodzaak om calibraties van het gewas- of stuurmodel aan te passen ook tijdig kan worden gesignaleerd. Leerzaam waren de grote temperatuursfluctuaties die het gewasmodel in interactie met de doelfunctie berekende. Hoewel er van deze extreme teeltwijze geen negatief effect op het gewas aantoonbaar was, is toch niet direct te verwachten dat deze stuurstrategie voor de praktijk acceptabel zal zijn. Een benadering die waarschijnlijk meer kans zal hebben om met succes te worden geïntroduceerd is om met een handmatig in te stellen conventionele regelaar of met een eenvoudiger en minder extreem regelend RRT-model de temperatuur te sturen, waarbij het dynamische gewasmodel dan uitsluitend wordt gebruikt om met de teelt mee te rekenen op basis van gerealiseerd klimaat en prognoses van het verdere verloop van de teelt op basis van gemiddeld weer (en voor de komende week de lokale weersverwachting).

De functie die vooruit rekenen mogelijk maakt kan worden uitgebreid tot een compleet beslissingsondersteunend systeem door de gebruiker de mogelijkheid te geven om van tevoren de te verwachten effecten van geplande teeltmaatregelen (bijv. wijderzetten) of veranderde klimaatinstellingen door te rekenen. Hierbij kan ook worden gedacht aan het berekenen van de kans dat bij een gegeven set klimaatinstellingen en wijderzetschema een vooraf gesteld teelt doel in termen van einddatum en eindkwaliteit kan worden gerealiseerd. Ook kan dagelijks de speelruimte worden bepaald die beschikbaar is voor een stooktechnisch optimaliserende energiezuinige klimaatregelaar. Door toevoeging van een kasklimaatmodel zou tevens een schatting vooraf van de energie-effecten van gegeven instellingen kunnen worden berekend. Op de mogelijkheid om een dergelijk beslissingsondersteunend systeem de beschikbare bandbreedte voor temperatuurintegratie te laten berekenen wordt in het deelverslag 'scenariostudies' verder ingegaan.

# Literatuur

- Baas, R. and Slotweg, C. (2004)  
On-line acquisition of plant related and environmental parameters (plant monitoring) in Gerbera:  
Determining plant responses. Acta Hort. 654: 139-146.
- Buwalda, F., Haghuis, P., Kempen, J., van Gurp, H., Bouten, P., Baas, R. (2003)  
Integratie van gewasontwikkeling in kasklimaatregeling bij vruchtgroenten -  
Temperatuurintegratie met grenswaarden op basis van gewaskundige criteria. PPO intern  
rapport
- Buwalda, F., Rijdsdijk, AA., Vogelesang, JVM., Hattendorf, A. and Batta, LGG (1999)  
An energy efficient heating strategy for cut rose production based on crop tolerance to  
temperature fluctuations. Acta Hort. 507: 117-126
- Buwalda, 2003  
Grenswaarden voor temperatuurintegratie. Een definitiestudie. PPP Gt 12053, 30 pp
- .