

Proefstation voor Bloemisterij en Glasgroente
Vestiging Aalsmeer
Linnaeuslaan 2a, 1431 JV Aalsmeer
Tel. 0297-352525, fax 0297-352270

ISSN 1385 - 3015

MOGELIJKHEDEN VOOR ENERGIEBESPARING DOOR TEMPERATUURINTEGRATIE BIJ SIERGEWASSEN

*Toetsen van een meerdaags integrerende temperatuurregeling onder realistische
teeltomstandigheden*

Project 1306

F. Buwalda
A.A. Rijdsijk
G.J.L. van Leeuwen
A. Hattendorf
J.V.M. Vogelesang

Aalsmeer, november 1999

Rapport 176
Prijs f 25,00

ISBN: 971221

Rapport 176 wordt u toegestuurd na storting van f 25,00 op banknummer 300177976 ten name van Proefstation Aalsmeer onder vermelding van 'Rapport 176, Mogelijkheden voor energiebesparing door temperatuurintegratie bij siergewassen'.

INHOUD

VOORWOORD	4
SAMENVATTING	5
SUMMARY	6
1. INLEIDING	7
2. MATERIAAL EN METHODEN	10
2.1 Kassen en gewassen	10
2.2 Klimaatregeling en proeffactoren	12
2.3 Gewasonderhoud en gewaswaarnemingen	15
2.4 Berekening van het gasverbruik	15
3. RESULTATEN	17
3.1 Werking van de integrerende regelaar	17
3.2 Kasklimaat en gasverbruik	19
3.3 Gewaskundige aspecten	25
4. DISCUSSIE	29
5. CONCLUSIES	32
REFERENTIES	33

VOORWOORD

Dit rapport beschrijft het laatste onderdeel van het onderzoeksproject 'Mogelijkheden voor energiebesparing middels temperatuurintegratie bij siergewassen'. Het onderzoek werd uitgevoerd in het kader van de Meerjarenafspraken Energiebesparing (MJAE) en is medegefinancierd door NOVEM en het voormalige Landbouwschap. Behalve het PBG heeft in de laatste fase van het project Hoogendoorn Automatisering BV te Vlaardingen deelgenomen. De auteurs bedanken de medewerkers van Hoogendoorn langs deze weg voor de plezierige en constructieve samenwerking.

Het rapport completeert een serie van vier over meerdaagse temperatuurintegratie, waarbij de eerdere delen als subtitel hebben: 'Literatuuroverzicht' (PBG rapport 118), 'Een inventarisatie van kritische processen bij zes sierteeltgewassen' (PBG rapport 119) en 'Effecten van lichtniveau, temperatuurniveau en wachttijd op de integratiecapaciteit van Ficus, Gerbera, Kalanchoe en roos' (PBG rapport 120).

SAMENVATTING

De energie-efficiëntie van klimaatregelaars in de glastuinbouw kan worden verbeterd. Om een gewenst temperatuurniveau in de kas te handhaven, worden verwarming en luchtramen over het algemeen direct na het overschrijden van de drempelwaarde geactiveerd, vaak kort na elkaar. Wanneer de kasluchttemperatuur meer zou mogen afwijken van de streeftemperatuur, dan wordt het mogelijk om een gewenst temperatuurniveau meer energie-efficiënt te realiseren. Energiezuinige klimaatregelingen zullen voor telers alleen interessant zijn wanneer vaststaat dat er geen ongewenste effecten op productie en kwaliteit zullen optreden.

In plaats van het normale teeltrecept met vaste setpoints werd voor een aantal siergewassen een voorschrift geformuleerd dat temperatuurintegratie mogelijk maakt. In dit recept was het setpoint voor kastemperatuur vervangen door een domein van toelaatbare waarden voor de kastemperatuur (in graden) en voor de afwijking van een standaard temperatuurintegraal (in graaduren). Dit recept (eigenlijk een zeer eenvoudig gewasmodel) is onder realistische teeltcondities getoetst met behulp van een eenvoudig regelalgoritme voor de kastemperatuur. De regelaar berekende geen optimale temperatuurtrajecten; er werd slechts gecompenseerd voor de effecten van uitgestelde ventilatie door ook het stoken uit te stellen. Als tweede proeffactor zijn twee niveaus van vochtbeheersing opgenomen in de experimenten.

Als proefgewassen dienden: roos en Gerbera als snijbloemen, potchrysanthe en Kalanchoe als bloeiende potplanten en Ficus, Schefflera, Nephrolepis en Yucca als groene potplanten. Behandelingseffecten op het gewas zijn getoetst aan de hand van metingen aan gewasproductie, kwaliteit en houdbaarheid. Effecten op energiegebruik zijn berekend op basis van registraties van kas- en regelparameters en gegevens over binnen- en buitenklimaat, met behulp van een gevalideerd model voor de energiebalans in de kas (ECP; Rijdsdijk en Houter, 1993).

Uit de resultaten bleek dat de integrerende temperatuurregeling geen effect had op gewasproductie of kwaliteit. Verder werd er minder gestookt en minder gelucht. Hierdoor lag het berekende gasverbruik lager. Tijdens de wintermaanden werd relatief weinig energie bespaard; in het voorjaar kon de gemiddelde besparing oplopen tot bijna 40%. De besparing op jaarbasis komt uit op ruim 15% voor de proef in Aalsmeer, en vanwege de hogere streeftemperatuur waarschijnlijk rond de 10% voor de proef in Klazienaveen (vanwege het ontbreken van gegevens over de zomermaanden is een betere indicatie niet te geven). De integrerende regeling gaf een wat vochtiger kasklimaat, terwijl de gemiddelde CO₂-concentratie (bij dosering met zuivere CO₂) hoger was. Het inzetten van een minimum buistemperatuur, in combinatie met een raamstandregeling op vocht, had een verlagend effect op het vochtgehalte in de kaslucht. Het effect van temperatuurintegratie op het energiegebruik was even groot bij beide niveaus van vochtregeling.

Uit modelberekeningen bleek verder dat de gerealiseerde CO₂-concentratie overdag, bij dosering van CO₂ uit rookgassen, niet negatief werd beïnvloed door het verminderde gasverbruik, voortvloeiend uit temperatuurintegratie. Dit effect is toe te schrijven aan een afname van het ventilatieverlies. Ook bleek dat bij toepassing van temperatuurintegratie het gasverbruik gelijkmatiger was verdeeld in de tijd, waarbij hoge waarden voor het gasverbruik per uur minder frequent voorkwamen.

SUMMARY

There is scope for improvement of the fuel efficiency of modern greenhouse climate controllers. In order to maintain a desired temperature level in the greenhouse, the heating system and ventilation windows are often actuated within a limited time span. When the greenhouse temperature is allowed to fluctuate to a larger extent, more efficient heating strategies become feasible. However, such strategies will only be acceptable to growers if there are no adverse effects on crop production or quality.

A simple model was formulated, in which the conventional temperature set point was replaced by a band of permissible temperatures (degrees) and a band of permissible deviations from the standard temperature integral (degree.hours). This model was tested for four rose cultivars under realistic conditions, using a climate control algorithm based on temperature integration. The controller did not calculate optimal trajectories, but simply compensated for the effects of delayed ventilation by delaying heating actions.

As a second experimental factor, the effects of two different levels of greenhouse air humidity control were tested.

Rose and Gerbera served as test species typical for cut flowers, pot chrysanthemums and Kalanchoe represented flowering pot plants, whereas Ficus, Schefflera, Nephrolepis and Yucca represented the group of green pot plants. Treatment effects were evaluated on the basis of measurements of production, external quality and post-harvest quality. Effects on energy consumption were estimated on the basis of simulations on the basis of recorded parameters on greenhouse and outside climate, greenhouse control parameters and technical details of the greenhouse. Simulations were carried out using a validated model for crop production, greenhouse climate and energy balance (ECP, Rijdsdijk and Houter, 1993).

The results show that integrating temperature control had no effects on production and quality of the crops tested. Heating and ventilation were reduced, resulting in lower estimated values for gas consumption. Energy savings were relatively small during the winter months; during spring, average savings of up to 40% were estimated. The reduction in energy consumption over a full year was estimated at over 15% in the Aalsmeer experiment, and at approximately 10% in the Klazienaveen experiment, presumably due to a higher temperature setpoint. Temperature integration resulted in a slightly more humid greenhouse climate, while the average CO₂-concentration was higher. The more intensive level of air humidity control resulted in a slightly lower humidity of the greenhouse air. The effect of temperature integration was similar at both levels of humidity control.

Simulation studies indicated that, in the case of CO₂-enrichment on the basis of effluent gases, the reduction in energy consumption due to temperature integration did not result in a lower average CO₂-concentration during daytime. This effect can be explained on the basis of decreased CO₂-losses from ventilation. Temperature integration resulted in a more even distribution of gas consumption in time, and the frequency of peak demands was reduced.

1. INLEIDING

Een primair doel bij het regelen van het kasklimaat is het handhaven van een geschikt temperatuurregime door middel van verwarming en luchting. Het gewenste regime is doorgaans gedefinieerd als een verzameling setpoints en regels, grotendeels ontwikkeld op basis van ervaring en empirisch onderzoek. De klimaatregelaar heeft in dit verband vooral de functie van programmeerbare thermostaat, die altijd ingrijpt zodra de gemeten kastemperatuur gaat afwijken van de gewenste waarde.

Er zijn twee mogelijkheden om de energie-efficiëntie van het kas-gewassysteem via de temperatuurregeling te verhogen:

1. een meer energie-efficiënt niveau van de gewenste temperatuur instellen;
2. een meer energie-efficiënte methode gebruiken om een gewenste temperatuur te realiseren.

Een voorbeeld van de eerste benadering is het werk van Tap et al. (1998), die met een *optimal control*-benadering de verhouding tussen kosten en baten van het verwarmen van een tomatenkas optimaliseerden.

De proeven die worden beschreven in dit verslag vormen een voorbeeld van de tweede benadering. In het algemeen geldt dat bij het regelen van een proces of toestand meer moet worden ingegrepen (met regelacties) naarmate er minder afwijkingen toelaatbaar zijn (zie bijv. Bryson and Ho, 1975; Lewis, 1986; Stengel, 1994). In het geval van het toestaan van ruimere marges bij het beheersen van de kasluchttemperatuur zal minder hoeven te worden geventileerd en gestookt om een gewenst temperatuurniveau te kunnen handhaven. In principe hoeft het toestaan van ruime marges niets af te doen aan de nauwkeurigheid van de gemiddelde temperatuur. Wanneer met een temperatuurregeling met ruime marges een zelfde teeltresultaat wordt bereikt als met een strikte regeling, zal hierdoor de energie-efficiëntie van het teeltproces verbeteren.

In beide gevallen (mogelijkheden 1 en 2) wordt afgeweken van het conventionele recept met een vast setpoint voor de temperatuur. Volgens het principe van temperatuur-integratie, dat al sinds de 18^e eeuw in de akkerbouw wordt gebruikt om het ontwikkelingsstadium van gewassen te voorspellen (De Réaumur, 1735), wordt de ontwikkeling van planten bepaald door de temperatuursom. Over een breed temperatuurtraject geldt dat een vast aantal graaduren nodig is om een bepaalde ontwikkelingsfase te doorlopen. In sommige gevallen wordt rekening gehouden met een basistemperatuur, beneden welke de ontwikkeling stilstaat. Hierbij geldt bijvoorbeeld dat een etmaal met een gemiddelde temperatuur van 25°C bij een basistemperatuur van 5°C een bijdrage van $(25 - 5)^\circ\text{C} \times 24 \text{ uur} = 480$ graaduren aan de temperatuursom oplevert. Voor het gemak wordt ook veel met graaddagen gewerkt (1 graaddag = 24 graaduren). Voor tomaat geldt bijvoorbeeld dat de plant steeds na 96 graaddagen boven een drempelwaarde van 4.5°C bloeit, terwijl voor vruchtgroei 906 graaddagen boven een drempelwaarde van 6°C nodig zijn (De Koning, 1994). Een consequentie van dit principe is dat de gemiddelde temperatuur veel sterker bepalend is voor de ontwikkeling van het gewas dan het precieze verloop van de temperatuur. Voor een kasklimaatregeling die gebruik maakt van temperatuurintegratie betekent dit dat wanneer over een bepaalde periode een zelfde gemiddelde temperatuur is gerealiseerd, daardoor ook een zelfde teeltresultaat mag worden verwacht als met een conventionele regeling. Uit een aanzienlijke hoeveelheid onderzoek is inderdaad gebleken dat

tuinbouwgewassen over het algemeen ongevoelig zijn voor tijdelijke afwijkingen van het temperatuursetpoint, zolang de gemiddelde temperatuur over een bepaalde periode (meestal 24 uur) constant wordt gehouden (Krug en Liebig, 1980; Cockshull et al., 1981; Slack en Hand, 1983; Hurd en Graves, 1984; Van den Berg, 1987; Hendriks et al., 1987; Bakker & Van Uffelen, 1988; Karlsson et al., 1988; De Koning, 1988a, b, 1990; Moe en Mortensen, 1992).

Van deze tolerantie kunnen integrerende temperatuurregelingen gebruik maken om energie te besparen (Bailey & Seginer, 1989; Day, 1998). De energie-efficiëntie kan worden verbeterd door het uitstellen van ventileren wanneer de kasttemperatuur boven de gewenste waarde is gestegen, en door het verlagen van de kasttemperatuur onder omstandigheden waarbij het handhaven van de streef temperatuur relatief duur is, zoals bij veel wind, lage buitentemperatuur of een lage hemeltemperatuur (Buwalda, 1996). Verder kan het effect van energieschermen worden geoptimaliseerd door 's winters het stoken te concentreren in de donkerperiode, wanneer de schermen gesloten zijn (Rijsdijk et al., 1998). Een klimaatregeling met een vaste etmaaltemperatuur, die optimaliseerde op basis van een lokale weersverwachting bleek te werken bij tomaat (Chalabi et al., 1996). Een vergelijkbare regeling werd gevalideerd voor paprika, roos en verschillende potplantensoorten door Rijsdijk et al. (1998). Afhankelijk van de toegelaten bandbreedte voor temperatuur bleek 8 - 18% energiebesparing mogelijk te zijn.

Ook voor temperatuurafwijkingen van enkele graden gedurende meerdere dagen is voor diverse tuinbouwgewassen aangetoond dat ze zonder nadelige effecten worden getolereerd (Van der Vlucht 1983a, b; Hurd and Graves, 1984; De Koning, 1990; Menne, 1992; Buwalda et al., 1996; Buwalda, 1997). Uit voorafgaand onderzoek bij het PBG bleek dat de tolerantie van verschillende sierteeltgewassen voor meerdaagse, regelmatige temperatuurwisselingen met een bandbreedte van 4 - 8°C in het gebied van 14 - 26°C minstens 300 graaduren bedraagt (Buwalda et al., 1996; Buwalda, 1997). Er zijn echter weinig concrete gegevens voorhanden over effecten van meerdaagse temperatuurintegratie op de energiebehoefte van de teelt.

Toepassing van het principe van temperatuurintegratie betekent dat in de conventionele teeltrecepten voor deze gewassen de vaste streef temperatuur in principe kan worden vervangen door een reeks van toelaatbare temperaturen en een reeks van toelaatbare afwijkingen van een standaard temperatuurintegraal, zonder dat dit het teeltresultaat negatief zal beïnvloeden. Een conventioneel teeltrecept met vaste setpoints kan worden beschouwd als een zgn. *'blue-print model'*. Door het definiëren van toleranties voor het temperatuursetpoint ontstaat een meer uitgebreid teeltrecept, een *'extended blue-print model'*.

Dit uitgebreide model is voor een aantal gewassen getoetst door het te gebruiken bij het parameteriseren van een eenvoudige klimaatregeling die werkt op basis van temperatuurintegratie (De Koning, intern PBG-rapport 1997). Het regelmodel liet temperatuurvariaties toe binnen in te stellen grenswaarden (minimum- en maximumtemperatuur; maximaal toelaatbare afwijking van de standaard temperatuurintegraal). De regelaar is getoetst in experimenten met diverse sierteeltgewassen op twee verschillende locaties, waarbij onder realistische teeltomstandigheden de gerealiseerde energiebesparing door meerdaagse temperatuurintegratie op basis van modelberekeningen werd bepaald. De experimenten vormen geen volledige validatie van de uitgebreide teeltrecepten, omdat slechts een deel van de toelaatbare reeks afwijkingen van de standaard temperatuurintegraal werd gebruikt in de regelaar (-100 tot +100 in plaats van -300 tot +300 graaduren). Wel kan op grond van de resultaten een uitspraak worden gedaan over de

werkzaamheid van het regelprincipe. De door een conventionele klimaatregeling gerealiseerde kasttemperatuur werd gebruikt als referentie voor het berekenen van de standaard temperatuurintegraal. De conventionele regeling werd in overleg met telers ingesteld.

Als tweede proeffactor is gekozen voor twee niveaus van vochtregeling. In de praktijk wordt er in tuinbouwkassen over het algemeen niet alleen gestookt om een gewenste temperatuur te handhaven, maar ook om vocht af te voeren. Planten en (voor zover niet afgedekt) kasgrond verdampen voortdurend en brengen daarmee veel vocht in de lucht. Een hoge (relatieve) luchtvochtigheid in de kas wordt in de praktijk als ongewenst beschouwd vanwege de verhoogde kans op condensatie op het gewas en de daarmee samenhangende kans op aantasting door schimmels (Papenhagen, 1986; Grange and Hand, 1987; Jasperse en Coolen, 1996). Het is denkbaar dat de grotere temperatuurschommelingen die optreden bij toepassing van een integrerende klimaatregeling de kans op het optreden van een hoge relatieve luchtvochtigheid vergroot. De vraagstelling met betrekking tot de proeffactor vochtregeling was dus tweeledig: (1) wat is het effect van de integrerende temperatuurregeling op het energiegebruik, bij gebruik van een intensieve of een minder intensieve vochtregeling? (2) wat is het effect van een integrerende klimaatregeling op productie en kwaliteit van het gewas bij gebruik van intensieve of een minder intensieve vochtregeling? De twee niveaus van de proeffactor vochtregeling werden gerealiseerd door het instellen van verschillende grenswaarden voor het vochtdeficit bij het inzetten van een minimum raamstand (1.4 en 2.6 g kg⁻¹) en het instellen van een minimum buistemperatuur van 40°C voor het verwarmingsnet op gewasniveau bij het intensieve niveau van vochtbeheersing.

2. MATERIAAL EN METHODEN

2.1 KASSEN EN GEWASSEN

Locaties en periode

Meerdaagse temperatuurintegratie werd getoetst bij PBG-vestiging Aalsmeer in de periode juli 1997 t/m juni 1998, en bij PBG-vestiging Noord-Nederland in Klazienaveen in de periode oktober 1997 t/m maart 1998.

Plantmateriaal

In Aalsmeer werd de proef uitgevoerd met roos en Gerbera. Van roos werden de rassen 'Ravel', 'Frisco', 'Starlite' en 'First Red' aangeplant, van Gerbera de rassen 'Beauty', 'Minou', 'Illusion' en 'Ferrari'. De rozen waren vermeerderd uit stek (op eigen wortel) en zijn geleverd door Stokman Rozen (Aalsmeer). De Gerbera's waren vermeerderd uit weefselkweek en werden geleverd door Florist (De Kwakel).

In Klazienaveen werd het experiment uitgevoerd met vier soorten bladplanten en twee soorten bloeiende potplanten. Als bladplanten zijn onderzocht: Ficus benjamina 'Exotica', Nephrolepis exaltata 'Teddy Junior', Schefflera 'Compacta' en Yucca elegantissima. Bij de bloeiende planten is gekozen voor Chrysanthemum 'About Time' en Kalanchoe 'Tenorio'. Voorafgaand aan het experiment heeft een opkweekfase van de planten plaatsgevonden. Beworteld uitgangsmateriaal van Ficus (2 stekken per pot), Nephrolepis en Schefflera is in de periode week 36 - week 38, 1997 direct in de eindpot gezet. Planten van Yucca (afkomstig van kopstek, ca. 10 bladeren per plant) zijn als halfwas materiaal van een praktijkbedrijf betrokken. De gewassen Kalanchoe (1 stek per pot) en potchrysaant (3 stekken per pot) zijn als onbeworteld stek in resp. week 38, 1997 en week 40, 1997, gestoken. Voor deze twee gewassen is derhalve, vanaf week 42, alleen de teeltperiode vanaf het begin van de korte dag in het experiment opgenomen geweest.

Kassen

In Aalsmeer werd de proef uitgevoerd in acht identieke afdelingen (breedkappers) van 150 m² elk (12.0 x 12.8 m; hoogte 7.6 m (nok) / 4.2 m (goot). De kassen stonden noord-zuid georiënteerd en waren voorzien van doorlopende opluchting met automatisch bediende luchtramen van 12.0 x 1.7 m aan de oost- en westzijde. De afdelingen, die deel uitmaakten van een groter complex, lagen rug-aan-rug in rijen van vier aan twee corridors en hadden gemeenschappelijke zij- en achtergevels.

Het onderzoek in Klazienaveen heeft plaatsgevonden in acht afdelingen van elk 192 m². De kassen waren van het type Venlo, voorzien van een 3-ruits- tweezijdige luchting.

Teeltsystemen

In Aalsmeer stonden in elke kas veertien rijen met planten, elk met een lengte van 10 m. Langs de gevels lagen enkele rijen; in de rest van de kas lagen de rijen paarsgewijs als bedden, met smalle looppaden tussen de bedden. Zowel rozen als Gerbera's werden op steenwol geteeld (Grodan Mastermat) met druppelbevloeiing (1 druppelaar per

plant). Bij de rozen waren de matten ingeluierd, de Gerbera's stonden geplant op niet-ingeluierde matten in Weteringbakken. Voedingsoplossingen werden automatisch aangemaakt door een computergestuurde doseerunit op basis van vloeibare meststoffen en regenwater. Duur en frequentie van druppelbeurten werden automatisch geregeld, waarbij de instellingen in samenspraak met telers werden aangepast aan het seizoen. In verband met het gevaar voor verspreiding van de ziekte 'suikerrot' via het recirculatiewater is de voedingsoplossing niet gerecirculeerd. De drainfractie was $50 \pm 20\%$, afhankelijk van het seizoen en het weertype.

In Klazienaveen waren vier afdelingen (afdeling 3-6) voorzien van roltafels (per afdeling 9 stuks van 1.80×7.53 m, $h=0.85$ m). De overige vier afdelingen waren voorzien van een betonvloer. Gedurende het onderzoek hebben de gewassen naar behoefte, ca. 1x per twee dagen, via eb/vloed water en voeding gehad. Bij gebruik van regenwater is de voeding gedoseerd met 1.8 mS cm^{-1} . Kalanchoe en potchrysan zijn geteeld in een bekalkt en bemest substraatmengsel van 85% lers turfstrooisel en 15% perliet. Voor Ficus, Nephrolepis en Schefflera is een zelfde mengsel gebruikt in een iets grovere fractie. Gebruikte potmaten, alsmede aantallen planten per m^2 teeltoppervlak, zijn volgens praktijkadvies toegepast.

Verwarming

In Aalsmeer waren in elke kas twee buisverwarmingssystemen geïnstalleerd. Het ondernet bestond uit acht ronde, stalen U-buizen met een lengte van 20.8 m en een diameter van 28 mm, die net onder het gewasniveau waren gemonteerd. De buistemperatuur was begrensd op 50°C . Het bovennet bestond uit zes stalen U-buizen met een lengte van 22.8 m en een aërodynamisch profiel, die op 4.0 m hoogte waren opgehangen. De buistemperatuur van het bovennet was niet begrensd.

In Klazienaveen werd in de afdelingen met teelttafels verwarmd door middel van een ondernet (drie verwarmingsbuizen per tafel, $\varnothing 51$ mm, aan elke buitengevel twee extra verwarmingsbuizen), een bovennet (vier spiralen per afdeling, $\varnothing 34$ mm) en tafelverwarming (twaalf kunststofslangen per tafel). In de afdelingen met betonvloeren werd verwarmd met een bovennet (twaalf buizen per afdeling, model ∇ , aan elke buitengevel drie extra verwarmingsbuizen $\varnothing 51$ mm) en betonvloerverwarming (zestien kunststofspiralen, $\varnothing 38$ mm).

Schermen

In de kassen in Aalsmeer waren op 4.2 m hoogte schermen uit LS10 schermdoek gemonteerd in de kas voor zonwering. De zonwering sloot bij een stralingsniveau buiten de kas van 700 W.m^{-2} . Energieschermen (ULS15F) waren direct onder de zonwering gemonteerd en sloten tussen zonsondergang en zonsopgang zodra de buitentemperatuur onder 7°C daalde.

In de kassen in Klazienaveen is LS 16 schermdoek gebruikt; de schermen liepen 's nachts dicht bij een buitentemperatuur lager dan 10°C . Er is gewerkt met een vochtkier van 3% zodra de RV van de kaslucht boven de ingestelde grenswaarde steeg.

Assimilatiebelichting

In de kassen in Aalsmeer werd assimilatiebelichting gebruikt. Boven de helft van elke kas waren op 3.5 m hoogte zes SON-T lampen van 400W opgehangen (één per 10 m^2).

De opstelling van de lampen binnen het blok van 2 x 4 kassen was zo gekozen, dat een aaneengesloten belicht oppervlak van 10 x 51.2 m ontstond. De lampen verhoogden in de proefvelden de lichtflux met $30 \pm 1.7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PAR op gewasniveau. De belichting was 17 uur per etmaal actief, maar werd uitgeschakeld zodra het buitenlichtniveau steeg boven 150 W m^{-2} . De rozen werden geteeld in het belichte gedeelte van elke kas, de gerbera's in het onbelichte. Om de invloed van plaatseffecten op het behandelingseffect te verminderen, hadden de variëteiten in elke kas dezelfde vaste plaats. De consequentie van deze keuze is dat behandelingseffecten per ras beter kunnen worden getoetst, maar dat verschillen tussen de rassen niet betrouwbaar kunnen worden vastgesteld. Tussen het belichte en het onbelichte deel van de kas waren kleine reflecterende schermplaatjes opgehangen om de directe straling naar het onbelichte gedeelte te verhinderen. In het midden van de kas, tussen het belichte en het onbelichte gedeelte, bestond een lichtgradiënt. Aan het gewas in dit gedeelte van de kas werden geen waarnemingen verricht. De invloed van de assimilatielampen in het onbelichte deel van de kas was ten hoogste $1 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PAR op gewasniveau. Tussen de rozen en de gerbera's waren lichtdichte schermen aanwezig. In de periode van begin november tot eind februari zijn deze schermen tussen zonsondergang en zonsopgang gesloten geweest; de rest van de experimentele periode stonden ze open.

In de proef in Klazienaveen is geen assimilatiebelichting toegepast.

Dosering van CO₂

In de kassen in Aalsmeer is tijdens de lichtperiode zuivere CO₂ gedoseerd tot een concentratie van 700 ppm. Afhankelijk van de ingestelde raamstand is de streefconcentratie verlaagd: 500 ppm bij 1-10% opening, 350 ppm bij meer dan 10% opening.

In de proef in Klazienaveen is geen CO₂ gedoseerd.

2.2 KLIMAATREGELING EN PROEFFACTOREN

Standaardregeling

Het klimaatregelsysteem in Aalsmeer is in de loop der jaren in eigen beheer ontwikkeld en is daarmee uniek. Wat betreft instel- en regelmogelijkheden is het systeem echter goed vergelijkbaar met momenteel in de praktijk gangbare klimaatregelaars. Zowel verwarming als luchting werden proportioneel met de overschrijding van de drempelwaarde geregeld, binnen vaste grenswaarden.

De meerdaags integrerende temperatuurregeling (MTI) werd getest tegen een conventionele klimaatregeling (CONV) als referentie. De instellingen van de referentieregeling zijn in regelmatig overleg met telers bepaald, zodat ze zo veel mogelijk overeenkwamen met praktijkomstandigheden. Op detailpunten moest soms een compromis gezocht worden tussen instellingen voor roos en gerbera. Er zijn echter geen echte dilemma's opgetreden, en de teeltomstandigheden zijn zowel voor roos als voor gerbera door geraadpleegde telers als realistisch bestempeld. De basisinstelling voor de kastemperatuur was 18°C. Afhankelijk van het seizoen, en in overleg met tuinders, werd een dode zone van 1 – 4°C tussen het verwarmings- en het lichtingssetpoint aangehouden.

In het experiment in Klazienaveen is gebruik gemaakt van het regelprogramma 'Econaut' op een Vitaco klimaatcomputer van Hoogendoorn. Om meerdaagse temperatuur-integratie mogelijk te maken is een speciale module ontwikkeld. Ook hier is de temperatuur in de helft van de kassen met een conventionele regeling (CONV) gerealiseerd, en in de andere helft een integrerende (MTI). Het setpoint voor de kasluchttemperatuur was gedurende het experiment ingesteld op 20°C, waarbij de tablet- cq. vloerverwarming uitsluitend is geactiveerd bij een potttemperatuur < 18°C. Bij beide regelprogramma's (CONV en MTI) is in de ventilatieregeling aan de luwe zijde een dode zone van 1°C aangehouden; aan de windzijde was de dode zone 2°C.

Integrerende klimaatregelaar

Voor de in Aalsmeer opererende klimaatcomputer is een module ontwikkeld om een integrerende temperatuurregeling mogelijk te maken. Een programma volgens hetzelfde principe is door Hoogendoorn Automatisering als speciale module ingebouwd in de Econaut-regeling in Klazienaveen.

De regelaar stelde in principe het stoken en luchten zoveel mogelijk uit door een verlaagd stooksetpoint en een verhoogd luchttingssetpoint aan te houden. Bij overschrijding van deze setpoints traden de normale, proportionele stook- en luchttingsregelingen in werking. Om te voorkomen dat de gemiddelde temperatuur teveel zou gaan afwijken van de gewenste waarde berekende de regelaar een warmtebalans (of er sprake was van een warmtetekort of -overschot), uitgedrukt in graaduren. Deze warmtebalans werd doorlopend berekend op basis van het verschil tussen de actuele kasluchttemperatuur en een referentietemperatuur. Het luchttingssetpoint werd *proportioneel verlaagd wanneer er sprake was van een warmteoverschot, terwijl het stooksetpoint proportioneel werd verhoogd wanneer er sprake was van een warmtetekort.* Voor kleine afwijkingen van de warmtebalans werd het maximale verschil tussen stook- en luchttingssetpoint toegestaan. De in Aalsmeer en Klazienaveen toegepaste instellingen voor de MTI-regeling staan weergegeven in Tabel 1.

Tabel 1 Instellingen van de meerdaags integrerende klimaatregelaar (MTI) in Aalsmeer en Klazienaveen.

Instelling	Aalsmeer	Klazienaveen
Minimum stooksetpoint (°C)	15	17
Maximum luchttingssetpoint (°C)	25	25
Bandbreedte (°C)	10	8
Basis referentietemperatuur (°C)	18	20
Proportionele verhoging van het stooksetpoint (°C per graaduur tekort)	0.133	0.107
Begin proportionele aanpassing van het stooksetpoint (graaduren)	-25	-25
Proportionele verlaging van het luchttingssetpoint (°C per graaduur overschot)	0.133	0.107
Begin proportionele aanpassing van het luchttingssetpoint (graaduren)	+25	+25

De regeling kende verschillende mogelijkheden om de referentietemperatuur voor het bepalen van de actuele warmtebalans te kiezen:
 (1) er kon een vaste waarde worden ingesteld;

(2) de waarde kon worden berekend;

(3) de waarde kon ergens anders in het systeem opgehaald worden.

Zowel in het experiment in Aalsmeer als in Klazienaveen werd de referentietemperatuur aanvankelijk berekend door de ingestelde basistemperatuur (18 resp. 20°C), afhankelijk van het stralingsniveau buiten, proportioneel te verhogen. De stralingsverhoging werd zo gekozen dat de stralingsinvloed op het temperatuurverloop in een conventioneel geregelde kas zo goed mogelijk werd nagebootst. Het bleek met deze benadering echter moeilijk te zijn om verschillen in temperatuursom tussen de referentiekassen en de integrerende kassen te beheersen, zodat regelmatig moest worden gecorrigeerd. Om die reden is vanaf week 5 (1998) de actuele kasluchttemperatuur in de corresponderende conventioneel geregelde kas binnen het betreffende blok als referentietemperatuur genomen. Het verschil in temperatuursom bleef daarna zonder verdere bijstelling binnen de gestelde grenswaarden, terwijl het verloop van de gerealiseerde temperatuur een rustiger beeld te zien gaf.

Tabel 2 Allocatie van de proefbehandelingen over de acht kassen in Aalsmeer en Klazienaveen.

Locatie	Kas	Blok/teelt-systeem	Regeling	
			Temperatuur	Vocht
Aalsmeer	L203	1	CONV	RV laag
	L204	1	MTI	RV hoog
	L205	1	MTI	RV laag
	L206	1	CONV	RV hoog
	L303	2	MTI	RV hoog
	L304	2	CONV	RV hoog
	L305	2	CONV	RV laag
	L306	2	MTI	RV laag
Klazienaveen	3	tablet	CONV	RV laag
	4	tablet	MTI	RV hoog
	5	tablet	MTI	RV laag
	6	tablet	CONV	RV hoog
	7	beton	MTI	RV hoog
	8	beton	CONV	RV laag
	9	beton	MTI	RV laag
	10	beton	CONV	RV hoog

Vochtbeheersing

Als tweede proeffactor werden twee niveaus van vochtbeheersing ingesteld (hoog en laag vochtgehalte). Het niveau 'RV laag' was meer in overeenstemming met de gangbare praktijk dan het niveau 'RV hoog'. In Aalsmeer zijn de twee niveaus gerealiseerd door verschillende instellingen voor een minimum raamstand (grenswaarden vochtdeficit 1.4 en 2.6 g kg⁻¹) en het instellen van een minimum buistemperatuur van 40°C voor het verwarmingsnet op gewasniveau bij het intensieve niveau van vochtbeheersing (laag vocht). In Klazienaveen zijn de twee niveaus van vochtbeheersing gerealiseerd door het instellen van verschillende RV-setpoints voor minimum raamstand en minimum buistemperatuur. De minimum raamstand van 0-5% opening werd gerealiseerd bij 80-85% RV (RV laag) of 88-93% RV (RV hoog). Op een ingestelde

minimumhuis van 20°C is een verhoging ingesteld van 0-20°C (4° per % RV) bij een

In het experiment in Klazienaveen is gebruik gemaakt van het regelprogramma 'Econaut' op een Vitaco klimaatcomputer van Hoogendoorn. Om meerdaagse temperatuur-integratie mogelijk te maken is een speciale module ontwikkeld. Ook hier is de temperatuur in de helft van de kassen met een conventionele regeling (CONV) gerealiseerd, en in de andere helft een integrerende (MTI). Het setpoint voor de kasluchttemperatuur was gedurende het experiment ingesteld op 20°C, waarbij de tablet- cq. vloerverwarming uitsluitend is geactiveerd bij een potttemperatuur < 18°C. Bij beide regelprogramma's (CONV en MTI) is in de ventilatieregeling aan de luwe zijde een dode zone van 1°C aangehouden; aan de windzijde was de dode zone 2°C.

Integrerende klimaatregelaar

Voor de in Aalsmeer opererende klimaatcomputer is een module ontwikkeld om een integrerende temperatuurregeling mogelijk te maken. Een programma volgens hetzelfde principe is door Hoogendoorn Automatisering als speciale module ingebouwd in de Econaut-regeling in Klazienaveen.

De regelaar stelde in principe het stoken en luchten zoveel mogelijk uit door een verlaagd stooksetpoint en een verhoogd luchttingssetpoint aan te houden. Bij overschrijding van deze setpoints traden de normale, proportionele stook- en luchttingsregelingen in werking. Om te voorkomen dat de gemiddelde temperatuur teveel zou gaan afwijken van de gewenste waarde berekende de regelaar een warmtebalans (of er sprake was van een warmtetekort of -overschot), uitgedrukt in graaduren. Deze warmtebalans werd doorlopend berekend op basis van het verschil tussen de actuele kasluchttemperatuur en een referentietemperatuur. Het luchttingssetpoint werd proportioneel verlaagd wanneer er sprake was van een warmteoverschot, terwijl het stooksetpoint proportioneel werd verhoogd wanneer er sprake was van een warmtetekort. Voor kleine afwijkingen van de warmtebalans werd het maximale verschil tussen stook- en luchttingssetpoint toegestaan. De in Aalsmeer en Klazienaveen toegepaste instellingen voor de MTI-regeling staan weergegeven in Tabel 1.

Tabel 1 Instellingen van de meerdaags integrerende klimaatregelaar (MTI) in Aalsmeer en Klazienaveen.

Instelling	Aalsmeer	Klazienaveen
Minimum stooksetpoint (°C)	15	17
Maximum luchttingssetpoint (°C)	25	25
Bandbreedte (°C)	10	8
Basis referentietemperatuur (°C)	18	20
Proportionele verhoging van het stooksetpoint (°C per graaduur tekort)	0.133	0.107
Begin proportionele aanpassing van het stooksetpoint (graaduren)	-25	-25
Proportionele verlaging van het luchttingssetpoint (°C per graaduur overschot)	0.133	0.107
Begin proportionele aanpassing van het luchttingssetpoint (graaduren)	+25	+25

De regeling kende verschillende mogelijkheden om de referentietemperatuur voor het bepalen van de actuele warmtebalans te kiezen:
 (1) er kon een vaste waarde worden ingesteld;

(2) de waarde kon worden berekend;

(3) de waarde kon ergens anders in het systeem opgehaald worden.

Zowel in het experiment in Aalsmeer als in Klazienaveen werd de referentietemperatuur aanvankelijk berekend door de ingestelde basistemperatuur (18 resp. 20°C), afhankelijk van het stralingsniveau buiten, proportioneel te verhogen. De stralingsverhoging werd zo gekozen dat de stralingsinvloed op het temperatuurverloop in een conventioneel geregelde kas zo goed mogelijk werd nagebootst. Het bleek met deze benadering echter moeilijk te zijn om verschillen in temperatuursom tussen de referentiekassen en de integrerende kassen te beheersen, zodat regelmatig moest worden gecorrigeerd. Om die reden is vanaf week 5 (1998) de actuele kasluchttemperatuur in de corresponderende conventioneel geregelde kas binnen het betreffende blok als referentietemperatuur genomen. Het verschil in temperatuursom bleef daarna zonder verdere bijstelling binnen de gestelde grenswaarden, terwijl het verloop van de gerealiseerde temperatuur een rustiger beeld te zien gaf.

Tabel 2 Allocatie van de proefbehandelingen over de acht kassen in Aalsmeer en Klazienaveen.

Locatie	Kas	Blok/teelt-systeem	Regeling	
			Temperatuur	Vocht
Aalsmeer	L203	1	CONV	RV laag
	L204	1	MTI	RV hoog
	L205	1	MTI	RV laag
	L206	1	CONV	RV hoog
	L303	2	MTI	RV hoog
	L304	2	CONV	RV hoog
	L305	2	CONV	RV laag
	L306	2	MTI	RV laag
Klazienaveen	3	tablet	CONV	RV laag
	4	tablet	MTI	RV hoog
	5	tablet	MTI	RV laag
	6	tablet	CONV	RV hoog
	7	beton	MTI	RV hoog
	8	beton	CONV	RV laag
	9	beton	MTI	RV laag
	10	beton	CONV	RV hoog

Vochtbeheersing

Als tweede proeffactor werden twee niveaus van vochtbeheersing ingesteld (hoog en laag vochtgehalte). Het niveau 'RV laag' was meer in overeenstemming met de gangbare praktijk dan het niveau 'RV hoog'. In Aalsmeer zijn de twee niveaus gerealiseerd door verschillende instellingen voor een minimum raamstand (grenswaarden vochtdeficit 1.4 en 2.6 g kg⁻¹) en het instellen van een minimum buistemperatuur van 40°C voor het verwarmingsnet op gewasniveau bij het intensieve niveau van vochtbeheersing (laag vocht). In Klazienaveen zijn de twee niveaus van vochtbeheersing gerealiseerd door het instellen van verschillende RV-setpoints voor minimum raamstand en minimum buistemperatuur. De minimum raamstand van 0-5% opening werd gerealiseerd bij 80-85% RV (RV laag) of 88-93% RV (RV hoog). Op een ingestelde minimumbuis van 30°C is een verhoging ingesteld van 0-20°C (4° per % RV) bij een RV van 82 - 87% (RV laag) of 90 - 95% (RV hoog). Op beide locaties is de minimum buistemperatuur lichtafhankelijk verlaagd. De vier combinaties van de twee proef-

factoren zijn zowel in Aalsmeer als in Klazienaveen in twee blokken verloot over acht afdelingen (zie Tabel 2).

2.3 GEWASONDERHOUD EN GEWASWAARNEMINGEN

In overeenstemming met de gangbare praktijk werden in Aalsmeer de rozen ingebogen. De eerste tak werd bij alle struiken ingebogen, vervolgens werden steeds de dunne en loze takken weggebogen. Uitsluitend de takken van goede kwaliteit bleven tot aan het oogstbare stadium rechtop staan. Bij Gerbera zijn bij het oogsten losgetrokken bladeren of scheuten regelmatig verwijderd. Verder is bij dit gewas geen noemenswaardig onderhoud uitgevoerd. In de potplantenproef in Klazienaveen zijn de potten wijder gezet volgens in de praktijk gangbare schema's.

In de proef in Aalsmeer werden tweemaal per week alle oogstbare gerberabloemen en rozentakken geoogst. Per afdeling en per ras werd het geoogste materiaal onderverdeeld in lengteklassen en per klasse geteld en gewogen. Van de gerbera's werd bij tourbeurt van een van de vier rassen ook de bloemdiameter gemeten.

Tijdens de teelt in Klazienaveen zijn op verscheidene tijdstippen gewaswaarnemingen uitgevoerd. Bij de bladplanten is dit tweemaal gedaan, in week 3 – 1998 en in week 13 – 1998. Bij de bloeiende planten Kalanchoe en potchrysaant zijn gewaswaarnemingen uitgevoerd in het veilstadium van de planten in resp. week 6 – 1998 en week 51 – 1997. De waarnemingen zijn gewasspecifiek uitgevoerd, afhankelijk van de relevante kwaliteitskenmerken van betreffende gewassen. De waarnemingen zijn verricht aan tien planten per proefeenheid. Deze planten zijn voorafgaand aan het experiment op uiterlijke uniformiteit geselecteerd.

Tijdens de teelt in Aalsmeer werd drie maal de houdbaarheid van de bloemen bepaald; een maal in de herfst, in de winter en in het voorjaar. Hierbij werden van roos en Gerbera van elk ras tien bloemen op vaas gezet (1 bloem per vaas) na één nacht bewaring bij 5°C in het donker. Vervolgens werd onder standaardcondities (20°C, 60% RV, lichtperiode 12 uur, met 13.8 $\mu\text{mol PAR m}^{-2} \text{s}^{-1}$, afkomstig van cool white (type 84) TL-buizen) volgens een gestandaardiseerd beoordelingssysteem het vaasleven bepaald.

In het naooogstonderzoek in Klazienaveen zijn acht planten per experimentele eenheid ingezet voor een transportsimulatie en daaropvolgend een bepaling van het uitstalleven in de standaard uitbloeiruimte. De planten zijn ingezet in het veilstadium. Potchrysaant en Kalanchoe zijn in veilstadium 3 ingezet. Het naooogstonderzoek heeft zes tot acht weken geduurd, afhankelijk van de sierwaarde van de planten. Hierbij zijn tellingen en metingen verricht aan voor betreffende gewassen specifieke plantkenmerken. De metingen hadden betrekking op bladkwaliteit (aantal bladpunten, bladval, slappe en vergeelde bladeren per plant) en bloemkwaliteit (aantal goede bloemen per plant).

2.4 BEREKENING VAN HET GASVERBRUIK

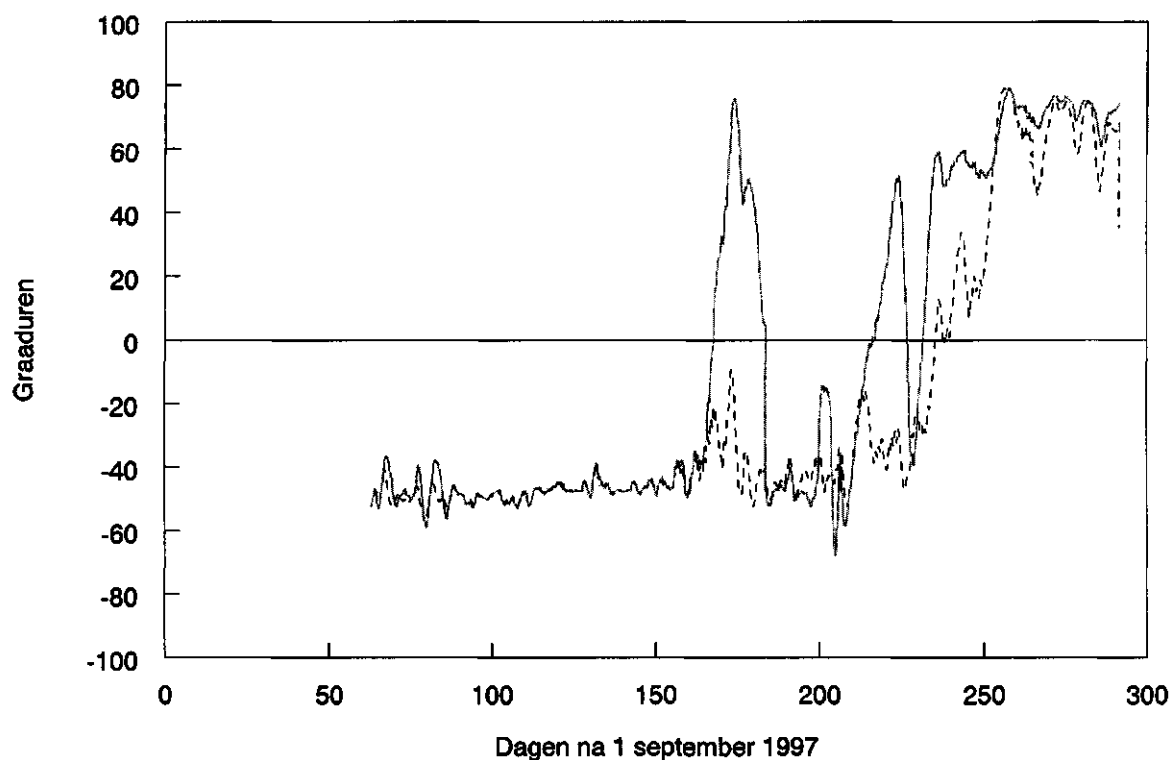
Een gevalideerd kas- en gewasmodel (ECP-model; Rijdsijk en Houter, 1993) werd gebruikt om het gasverbruik per kas te berekenen aan de hand van constructie-technische details en geregistreerde gegevens (uurgemiddelden) van kasklimaat en buitenklimaat. Het gedeelte in het ECP-model dat betrekking heeft op het kasklimaat is

gebaseerd op het werk van Bot (1983). Aan de hand van de gerealiseerde kastemperatuur in de proefkassen en het bijbehorende buitenklimaat werd de energiebehoefte van een standaardkas met gewas berekend. Deze methode van berekening is relatief ongevoelig voor effecten van de kasligging en kasinrichting. De resultaten geven daardoor een algemeen bruikbare indicatie voor te verwachten effecten in de praktijk. Vanwege de algemene geldigheid verdient deze methode de voorkeur boven berekeningen op grond van buistemperaturen of warmtemeters, waarmee voor de specifieke situatie een nauwkeuriger resultaat bereikt kan worden. Omdat de in deze proeven gebruikte afdelingen in vergelijking met de praktijk relatief klein waren kunnen bijvoorbeeld geveffecten de uitkomsten gemakkelijk verstoren.

3. RESULTATEN

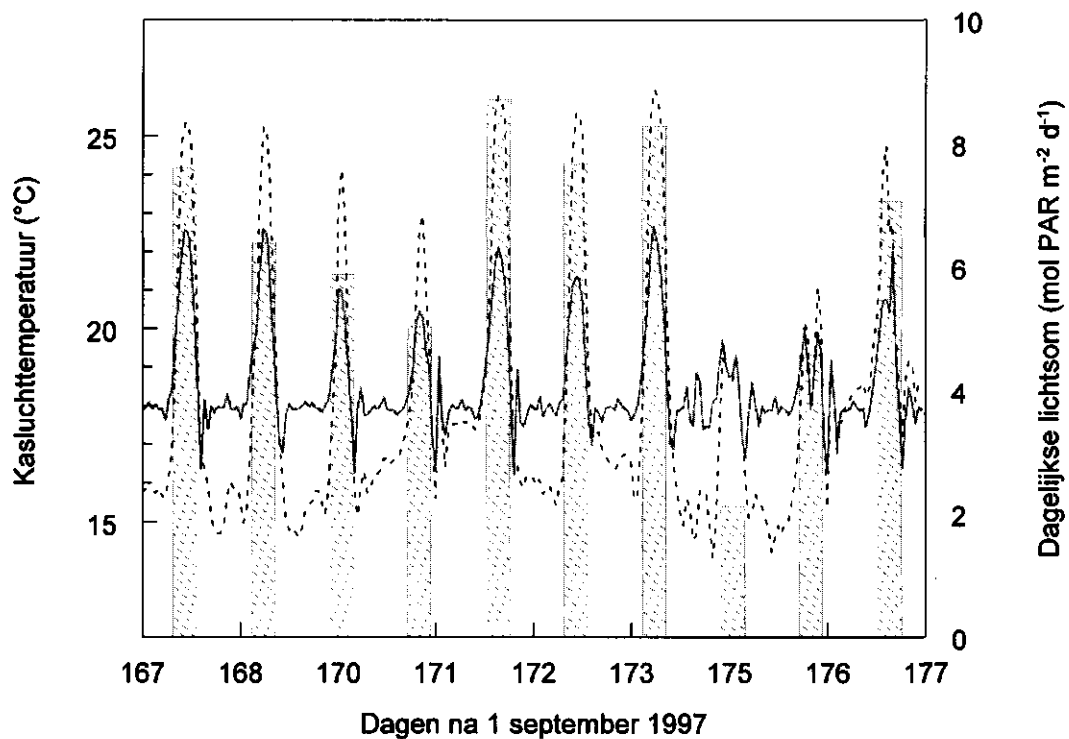
3.1 WERKING VAN DE INTEGRERENDE REGELAAR

De kern van het regelmodel is de warmtebalans, het in de tijd gesommeerde verschil tussen de gerealiseerde kasttemperatuur en de referentiewaarde. De besturingsregels in het model worden beïnvloed door deze waarde en zorgen ervoor dat afwijkingen in principe niet verder kunnen oplopen dan tot in te stellen maximaal overschot of tekort. In deze proeven was de bandbreedte ingesteld op -100 tot $+100$ graden. De waarde van de warmtebalans schommelde in de periode van midden-oktober tot eind februari rond de -50 graden (Figuur 1). Dit warmtetekort komt bij de gebruikte instellingen van de regelaar overeen met een verhoging van het stooksetpoint van 15 naar 18°C . Vanaf begin maart veranderde het warmtetekort snel in een overschot. Onder deze omstandigheden wordt het stoken maximaal uitgesteld, maar wordt de vrijheid om uitgesteld te luchten beperkt.



Figuur 1 Verloop van de warmtebalans, het in de tijd gesommeerde verschil tussen de gerealiseerde kasttemperatuur en de referentiewaarde (in graden) in de proef in Aalsmeer. Dag 0 is 1 september 1997. De onderbroken lijn geeft het verloop weer bij het lage niveau van vochtbeheersing (RV hoog), de ononderbroken lijn bij het hoge niveau (RV laag).

Overigens blijkt uit Figuur 1 dat de ingestelde minimum buistemperatuur af en toe tot een groot warmteoverschot leidde, bijvoorbeeld in de periode rond dag 175 (eind februari). In deze periode stond ondanks de toegenomen instraling een beperkte maximale raamstand ingesteld, waardoor de warmte waarschijnlijk onvoldoende weg kon. Deze beperking wordt in de praktijk aan het einde van de winter ingesteld om te voorkomen dat de koude buitenlucht een ongewenst sterke afkoeling van het gewas zal veroorzaken. Later in het voorjaar (vanaf dag 250) zorgde de hoge instraling en het toegenomen niveau van de buitentemperatuur ervoor dat de kas voortdurend aan het koelen was. Een illustratie van de werking van de integrerende regelaar vormt de grafiek in Figuur 2. Hier is over acht opeenvolgende dagen het temperatuurverloop van de kaslucht weergegeven in een referentiekas en een kas met de integrerende regeling, beide zonder extra vochtbeheersing. Te zien is dat de regelaar aanvankelijk (dag 46) toeliet dat de temperatuur 's nachts terugviel tot 15°C, maar dat het stooksetpoint na twee relatief donkere dagen was opgehoogd tot 18°C. Als gevolg van hoge kastemperaturen overdag op dag 48, 49 en 50 werd de stooklijn weer verlaagd. Na twee zeer donkere dagen (51 en 52) was deze vrijheid weer ingeperkt.



Figuur 2 Verloop van de kasluchttemperatuur gedurende acht dagen (13-21 februari 1998) in een referentiekas (ononderbroken lijn; kas L206) en de corresponderende kas met een integrerende temperatuurregeling (gestippelde lijn; L204) in Aalsmeer. Het staafdiagram op de achtergrond geeft de dagelijkse lichtsom weer.

3.2 KASKLIAMAAT EN GASVERBRUIK

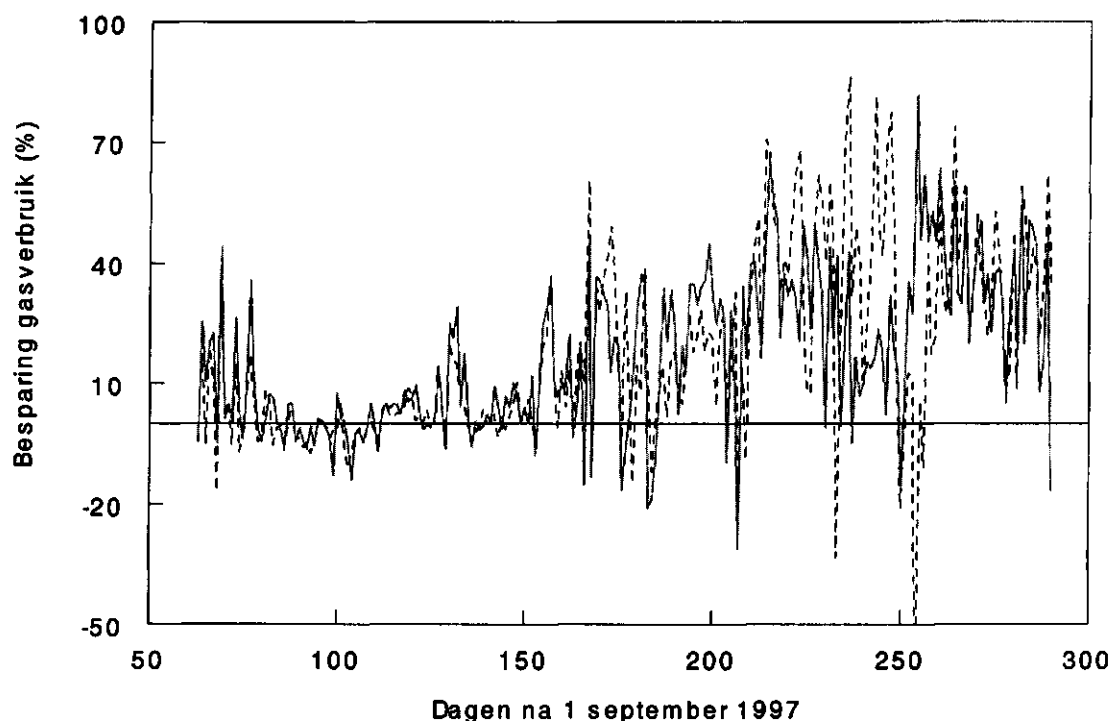
Er waren geen verschillen in gemiddelde temperatuur tussen kassen met een conventionele regeling en kassen met temperatuurintegratie (Tabel 3, 4). Omdat de momentane kasttemperatuur in de conventioneel geregelde kassen werd gebruikt als referentiewaarde voor de integrerende regelaar, laat dit zien dat het regelmodel in staat was om met een behoorlijke nauwkeurigheid een gewenst temperatuurniveau te realiseren. Het toepassen van een vochtregeling resulteerde in Aalsmeer in een verhoging van het temperatuurgemiddelde met 0.3°C, onafhankelijk van het type temperatuurregeling in de kas. Het bovenste verwarmingsnet was in Aalsmeer aanzienlijk minder actief in kassen waar voor de vochtregeling in het onderste verwarmingsnet een minimum buistemperatuur van 40°C werd aangehouden (RV laag). Door een ander type verwarming is de vergelijking met Klazienaveen in dit opzicht moeilijk te maken. In kassen met temperatuurintegratie was de gemiddelde raamopening betrouwbaar kleiner dan in de conventioneel geregelde kassen; dit effect was zowel aan de windkant als aan de luwe zijde te zien (Tabel 3, 4). In kassen met het intensieve niveau van vochtregeling werd in Aalsmeer significant meer geventileerd. In samenhang met de verminderde ventilatie was in de kassen met integrerende temperatuurregeling in Aalsmeer het gemiddelde CO₂-gehalte significant hoger (Tabel 3); in Klazienaveen was dezelfde trend waarneembaar (Tabel 4). Het vochtdeficit, gemeten in Aalsmeer in de bladmassa van het gewas, werd beïnvloed door de toepassing van temperatuurintegratie; het gemeten vochtdeficit was lager dan in conventioneel geregelde kassen (Tabel 3). De vochtregeling had, zoals verwacht, een verhogende invloed op het vochtdeficit. Deze effecten vertoonden geen interactie.

Tabel 3 Gemiddelde waarden voor diverse parameters van het kasklimaat over de periode 3 november 1997 – 16 juni 1998 van het experiment in Aalsmeer. Weergegeven zijn de hoofdeffecten van de proeffactoren temperatuurregeling (conventioneel en meerdaagse TI) en vochtregeling (RV hoog en RV laag). Daar waar sprake is van significante behandelingseffecten staat de L.S.D. weergegeven (kleinste betrouwbare verschil bij P = 0.05); eventuele significante interacties tussen temperatuur- en vochtregeling staan aangegeven in de rechterkolom (* = P<0.05; ** = P>0.01; *** = P>0.001; n.s. = niet significant).

Parameter	Temperatuur-regeling:		Vocht-regeling:		L.S.D. _{0.05}		Inter-actie
	CONV	MTI	RV hoog	RV laag	Temp.	Vocht	
Temperatuur kaslucht (°C)	19.18	19.22	19.07	19.33	n.s.	0.06	n.s.
Temperatuur bovennet (°C)	29.5	27.4	30.6	26.2	n.s.	2.5	n.s.
Temperatuur ondernet (°C)	33.2	31.9	26.5	38.7	n.s.	1.8	n.s.
Ventilatie windzijde (%)	1.29	0.56	0.87	0.98	0.27	n.s.	n.s.
Ventilatie luwe zijde (%)	8.73	6.81	6.94	8.60	1.38	1.38	n.s.
CO ₂ concentratie (ppm)	690	721	715	696	22	n.s.	n.s.
Vochtdeficit (Pa) roos	485	393	381	497	61	61	n.s.
Vochtdeficit (Pa) Gerbera	430	379	348	461	n.s.	74	n.s.
Dagelijks gasverbruik (m ³ /m ²)	0.092	0.078	0.082	0.088	0.003	0.003	n.s.

Het gemiddeld gasverbruik werd door toepassing van temperatuurintegratie significant verlaagd (in Aalsmeer met 15.2%, P<0.001; in Klazienaveen met 3.2%, P<0.05). Bij de verschillende niveaus van vochtbeheersing bleek het besparende effect van temperatuurintegratie gemiddeld even groot te zijn. Dit kan worden verklaard op grond

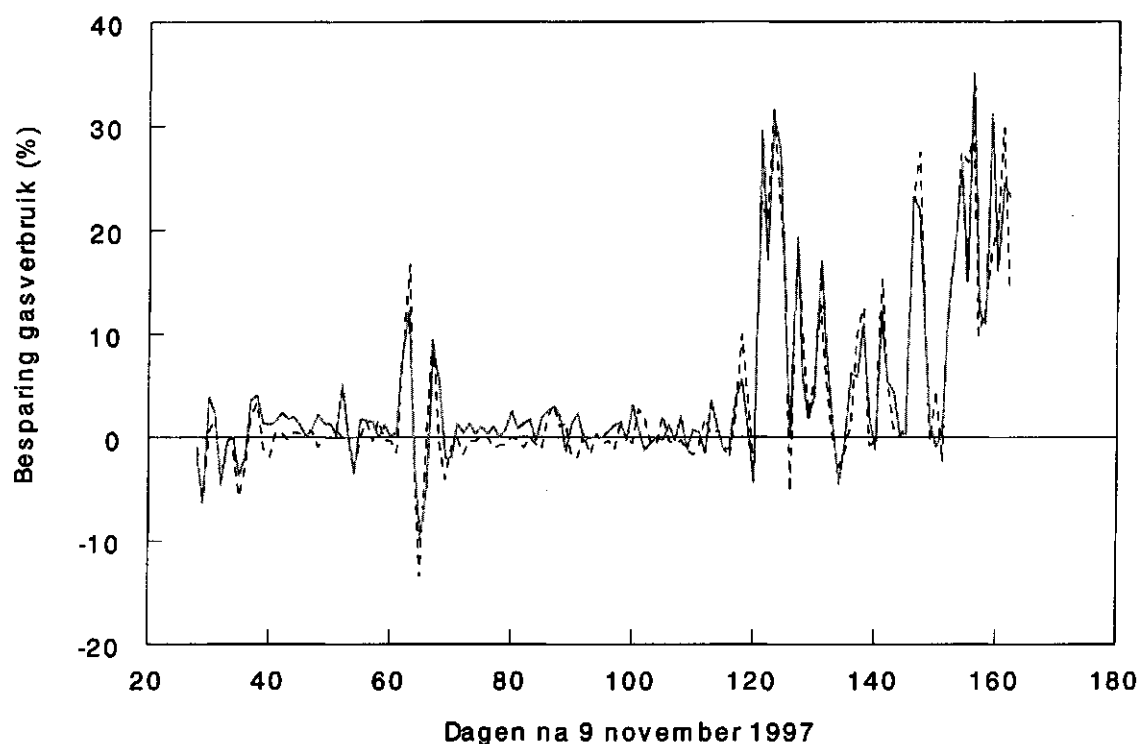
van het feit dat bij een conventionele regeling de extra warmtetoevoer als gevolg van de minimum buistemperatuur automatisch tot ventilatie zal leiden, terwijl dit bij toepassing van temperatuurintegratie niet het geval was. Uit Figuur 3 en 4 blijkt dat de energiebesparing in de winter relatief klein was, terwijl in het voorjaar hoge besparingspercentages werden bereikt. Dat in de winter met deze regeling weinig werd bespaard is niet verwonderlijk. In het winterseizoen werd ook bij de conventionele regeling erg weinig geventileerd, waardoor het voordeel van uitgesteld luchten ook beperkt blijft. Anderzijds geldt dat een kleine relatieve besparing in de winter in absolute hoeveelheden toch van even groot belang kan zijn als een groot besparingspercentage in het voorjaar, omdat het gasverbruik in de winter hoger is dan in het voorjaar.



Figuur 3 Verloop van de gemiddelde besparing op het dagelijks gasverbruik (%) ten opzichte van een conventionele temperatuurregeling, zoals berekend met het ECP-model, in het experiment in Aalsmeer. Gestippelde lijn: RV hoog, doorgetrokken lijn: RV laag.

Tabel 4 Gemiddelde waarden voor diverse parameters van het kasklimaat over de periode 11 november 1997 – 27 maart 1998 van het experiment in Klazienaveen. Voor verdere toelichting zie de kop van Tabel 2.

Parameter	Temperatuur-regeling:		Vocht-regeling:		L.S.D. _{0.05}		Interactie
	CONV	MTI	RV hoog	RV laag	Temp.	Vocht	
Temperatuur kaslucht (°C)	20.0	20.0	20.0	20.0	n.s.	n.s.	n.s.
Temperatuur bovennet (°C)	53.8	52.9	53.4	53.3	n.s.	n.s.	*
Ventilatie windzijde (%)	0.07	0.00	0.02	0.04	0.07	n.s.	n.s.
Ventilatie luwe zijde (%)	1.17	0.41	0.70	0.88	0.14	n.s.	n.s.
CO ₂ concentratie (ppm)	684	704	692	696	n.s.	n.s.	n.s.
Vochtdeficit (Pa)	685	639	663	661	n.s.	n.s.	n.s.
Dagelijks gasverbruik (m ³ /m ²)	0.156	0.151	0.153	0.154	0.002	n.s.	n.s.



Figuur 4 Verloop van de gemiddelde besparing op het dagelijks gasverbruik (%) ten opzichte van een conventionele temperatuurregeling, zoals berekend met het ECP-model, in het experiment in Klazienaveen. Gestippelde lijn: hoge RV, doorgetrokken lijn: lage RV.

Ogenscheinlijk is er in het experiment in Klazienaveen aanzienlijk minder energie bespaard (Tabel 4) dan in Aalsmeer (Tabel 3). Wanneer echter de energiebesparing wordt opgesplitst per maand (Tabel 5), dan blijkt dat een aanzienlijk deel van dit verschil is toe te schrijven aan het feit dat in Klazienaveen voornamelijk in de winterperiode is gemeten, een periode waarin ook in Aalsmeer de energiebesparing relatief gering was.

Maand	Klazienaveen	Aalsmeer
November	-0.1	5.6
December	0.6	-0.7
Januari	0.4	3.8
Februari	6.6	15.0
Maart	12.6	19.2
April	19.2	38.3
Mei	37.4	36.9
Juni	31.3	37.4
Juli	30.1	36.5
Augustus	31.6	38.1
September	16.2	22.2
Oktober	4.8	10.5
Gehele gemeten periode	3.2	15.8

Tabel 5 Gemiddeld percentage besparing door meerdaagse temperatuurintegratie ten opzichte van de conventionele temperatuurregeling (RV hoog en RV laag gecombineerd) per locatie, opgesplitst per maand. De cursief gedrukte cijfers vormen slechts een globale indicatie; ze zijn niet direct op meetresultaten gebaseerd, maar verkregen door extrapolatie.

De rest van het verschil in energiebesparing hangt mogelijk samen met het hogere temperatuurniveau in Klazienaveen in vergelijking met Aalsmeer (20, respectievelijk 18°C). Een hogere gemiddelde temperatuur betekent in het winterseizoen dat er minder zal worden geventileerd, waardoor ook de te verwachten besparing vanwege uitgesteld luchten beperkt zal zijn.

Tabel 6 Uitkomsten van modelberekeningen van de CO₂ (kg ha⁻¹) die tijdens de dagperiode beschikbaar in rookgassen, de gedoseerde CO₂ en de CO₂ die via de luchtramen uit de kas verdwijnt, uitgesplitst per maand. Ter vergelijking staat steeds op de vierde regel de berekende gerealiseerde CO₂ concentratie overdag (ppm). De berekeningen zijn voor een theoretische standaardkas uitgevoerd op basis van gegevens uit de proef in Aalsmeer.

Maand	CO ₂ -balans	Conventioneel		MTI	
		RV hoog	RV laag	RV hoog	RV laag
November	Beschikbaar in rookgassen	429	473	402	413
	Gedoseerd	240	299	124	133
	Ventilatieverlies	232	282	119	126
	<i>Gerealiseerde concentratie</i>	763	741	837	815
December	Beschikbaar in rookgassen	303	317	308	313
	Gedoseerd	70	86	72	69
	Ventilatieverlies	59	78	62	64
	<i>Gerealiseerde concentratie</i>	787	789	809	814
Januari	Beschikbaar in rookgassen	272	328	263	261
	Gedoseerd	89	140	73	78
	Ventilatieverlies	75	126	69	67
	<i>Gerealiseerde concentratie</i>	691	711	719	717
Februari	Beschikbaar in rookgassen	329	415	279	295
	Gedoseerd	275	364	215	245
	Ventilatieverlies	199	277	156	180
	<i>Gerealiseerde concentratie</i>	480	514	557	472
Maart	Beschikbaar in rookgassen	375	516	285	259
	Gedoseerd	348	473	238	214
	Ventilatieverlies	234	346	139	111
	<i>Gerealiseerde concentratie</i>	475	520	497	476
April	Beschikbaar in rookgassen	462	515	320	372
	Gedoseerd	458	505	288	344
	Ventilatieverlies	264	307	132	170
	<i>Gerealiseerde concentratie</i>	400	417	428	403
Mei	Beschikbaar in rookgassen	433	545	304	367
	Gedoseerd	431	544	299	361
	Ventilatieverlies	105	222	-9	37
	<i>Gerealiseerde concentratie</i>	362	354	357	354
Juni	Beschikbaar in rookgassen	629	732	465	535
	Gedoseerd	614	712	446	518
	Ventilatieverlies	313	413	157	228
	<i>Gerealiseerde concentratie</i>	362	355	370	354

CO₂ dosering uit rookgassen in relatie tot temperatuurintegratie

Omdat toepassing van temperatuurintegratie gas bespaart zijn er minder rookgassen beschikbaar voor CO₂-dosering (Tabel 6). Bij temperatuurintegratie wordt echter ook minder geventileerd, waardoor om een zelfde CO₂-concentratie in de kas te bereiken minder CO₂ nodig is dan bij de conventionele regeling. Het effect van de verminderde ventilatie was in de periode waarover werd gerekend groter dan dat van het verminderde aanbod van CO₂, waardoor bij de integratieregeling tijdens de dagperiode een hogere CO₂-concentratie wordt bereikt dan bij de conventionele regeling. Behalve energiebesparing biedt temperatuurintegratie dus de mogelijkheid voor een productie-verhoging. In het kader van de milieuproblematiek in het algemeen is het efficiënter omgaan met CO₂ uit rookgassen, naast de energiebesparing, een belangrijk extra aspect van temperatuurintegratie.

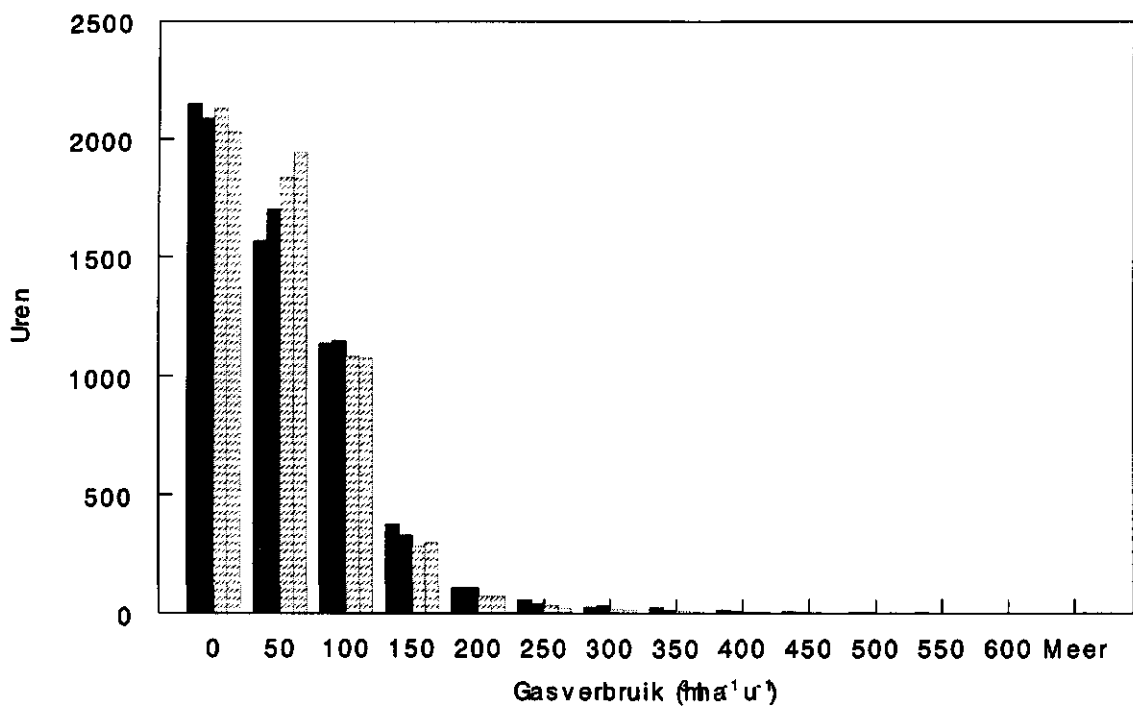
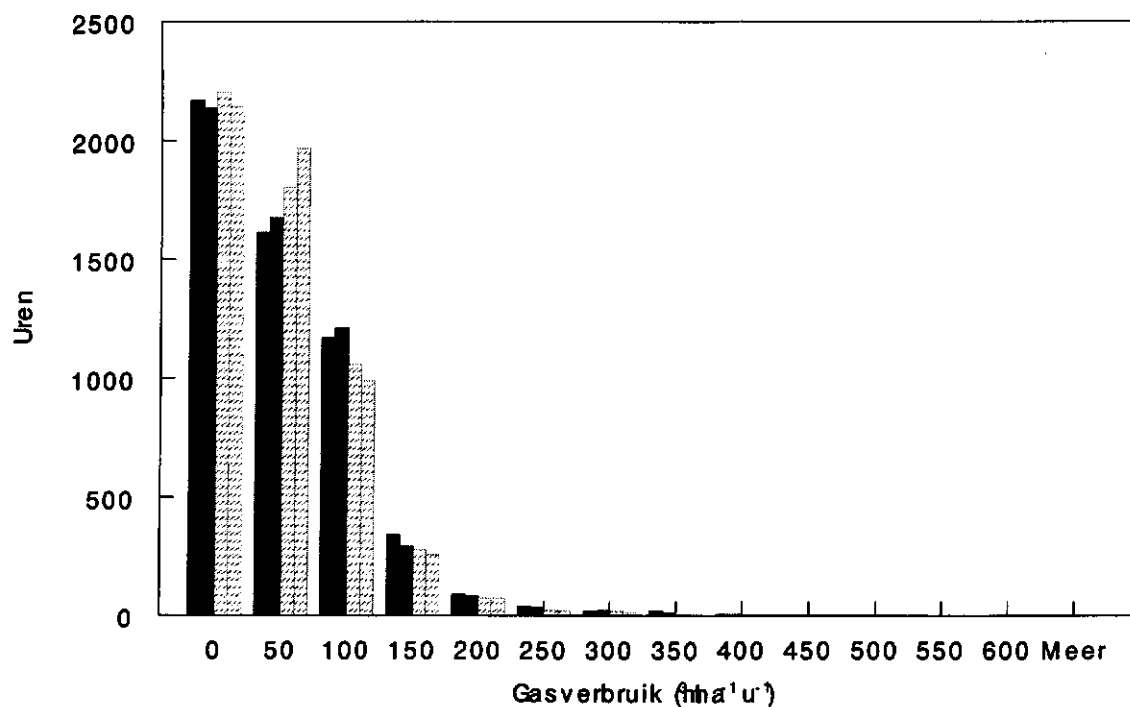
Tabel 7 Uitsplitsing van de effecten van temperatuurintegratie in energiebesparing overdag of 's nachts (% ten opzichte van een conventionele regeling) en voor twee niveaus van vochtregeling, weergegeven per maand. De gegevens hebben betrekking op de proef in Aalsmeer

Maand	RV hoog		RV laag	
	Dag	Nacht	Dag	Nacht
November	15	-2	26	-1
December	-2	-1	2	-1
Januari	3	3	23	2
Februari	1	20	19	13
Maart	20	14	57	1
April	42	47	38	27
Mei	35	61	37	23
Juni	38	44	41	14

Bij gebruik van een warmtebuffer is het verschil in gasverbruik gedurende de nacht van belang. Dit bepaalt in hoeverre een warmtebuffer geleegd kan worden. In de regeling met gebruik van een minimum buistemperatuur (RV laag) was de besparing in gasverbruik 's nachts in elke maand geringer dan gedurende de dag (Tabel 7). Dit betekent dat toepassing van temperatuurintegratie in combinatie met een minimum buistemperatuur niet tot problemen zal leiden bij het legen van de warmtebuffer. In de regeling zonder minimum buis (RV hoog) blijkt dat buiten het winterseizoen juist op het nachtelijk gasverbruik het meest wordt bespaard. In dit geval zal een warmtebuffer mogelijk minder ver kunnen worden geleegd.

Piekbelasting

Bij toepassing van temperatuurintegratie is het in veel gevallen niet nodig om direct te stoken zodra er een warmtevraag ontstaat. Om dezelfde reden is te verwachten dat het stoken met de maximale branderstand minder vaak zal voorkomen. In Figuur 5 is te zien dat bij toepassing van temperatuurintegratie hoge branderstanden minder vaak voorkomen, terwijl een rustige branderstand (50 – 100 m³ ha⁻¹ u⁻¹) relatief vaker voorkomt. Dit kan gunstig uitwerken bij een differentiatie van gastarieven, zoals wordt voorzien voor de nabije toekomst. Verder lijkt temperatuurintegratie hierdoor de toepassingsmogelijkheden van laagwaardige warmte te vergroten.



Figuur 5 Frequentieverdeling van het berekend gasverbruik per uur ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{u}^{-1}$) voor standaardkassen zonder (boven) of met (onder) intensieve beheersing van de luchtvochtigheid in de kas (resp. RV hoog en RV laag). De horizontale as in de grafiek geeft categorieën aan: van 0 tot 50, van 50 tot 100, van 100 tot 150, etc. De berekeningen zijn gebaseerd op geregistreeerde klimaatgegevens uit de proef in Aalsmeer. Donkere paaltjes: conventionele regeling; lichte, gestreepte paaltjes: meerdaagse temperatuurintegratie.

3.3 GEWASKUNDIGE ASPECTEN

Kenmerk	Ras	Temperatuur-regeling:		Vocht-regeling:		L.S.D. _{0.05}		Inter-actie:
		CONV	MTI	RV hoog	RV laag	Temp.	Vocht	
Lengte (cm)								
	Minou	69.5	69.0	69.0	69.5	n.s.	n.s.	n.s.
	Beauty	68.6	68.8	69.1	68.4	n.s.	n.s.	n.s.
	Illusion	56.6	56.9	56.4	57.0	n.s.	n.s.	n.s.
	Ferrari	59.4	59.3	59.4	59.4	n.s.	n.s.	n.s.
Gewicht bloem (g vers)								
	Minou	25.4	24.8	25.5	25.8	n.s.	n.s.	n.s.
	Beauty	26.2	26.4	27.0	25.8	n.s.	n.s.	n.s.
	Illusion	18.1	19.0	18.6	18.5	0.4	n.s.	n.s.
	Ferrari	33.8	33.4	33.5	33.7	n.s.	n.s.	n.s.
Bloemdiameter (cm)								
	Minou	8.1	8.1	8.1	8.1	n.s.	n.s.	n.s.
	Beauty	9.4	9.4	9.5	9.4	n.s.	n.s.	n.s.
	Illusion	7.39	7.52	7.55	7.49	0.06	n.s.	n.s.
	Ferrari	11.3	11.2	11.3	11.3	n.s.	n.s.	n.s.
Aantal per veldje								
	Minou	1705	1741	1793	1708	n.s.	n.s.	n.s.
	Beauty	1146	1182	1172	1155	n.s.	n.s.	n.s.
	Illusion	2078	2052	2069	1987	n.s.	n.s.	n.s.
	Ferrari	1068	1024	1104	1126	n.s.	n.s.	n.s.

Tabel 8 Effecten van temperatuurregeling en niveau van vochtbeheersing op productiekenmerken van Gerbera. Weergegeven zijn gemiddelden over de gehele teeltperiode. Voor toelichting zie de kop van Tabel 2.

Kenmerk	Ras	Temperatuur-regeling:		Vocht-regeling:		L.S.D. _{0.05}		Inter-actie:
		CONV	MTI	RV hoog	RV laag	Temp.	Vocht	
Herfst								
	Minou	18.8	18.5	19.0	18.3	n.s.	n.s.	n.s.
	Beauty	12.3	11.6	12.3	11.6	n.s.	n.s.	n.s.
	Illusion	13.0	12.4	12.3	13.0	n.s.	n.s.	n.s.
	Ferrari	21.5	20.1	20.5	21.1	n.s.	n.s.	n.s.
Winter								
	Minou	15.2	15.3	15.3	15.2	n.s.	n.s.	n.s.
	Beauty	13.1	12.4	13.2	12.3	n.s.	n.s.	n.s.
	Illusion	12.2	12.4	12.3	12.4	n.s.	n.s.	n.s.
	Ferrari	21.2	21.2	22.0	20.4	n.s.	n.s.	n.s.
Voorjaar								
	Minou	15.8	18.0	17.4	16.3	n.s.	n.s.	n.s.
	Beauty	15.4	15.3	15.4	15.3	n.s.	n.s.	n.s.
	Illusion	13.9	13.6	13.6	13.9	n.s.	n.s.	n.s.
	Ferrari	23.7	23.0	22.3	24.4	n.s.	1.9	n.s.

Tabel 9 Resultaten van houdbaarheidsproeven onder standaard uitbloeicondities bij vier gerbera-rassen in drie seizoenen. Waarden in de tabel zijn gemiddelden van tien vazen per kas per seizoen en twee kassen per behandeling. Voor toelichting zie de kop van Tabel 2.

Kenmerk	Ras	Temperatuur- regeling:		Vocht- regeling:		L.S.D. _{0.05}		Inter- actie:
		CONV	MTI	RV hoog	RV laag	Temp.	Vocht	
Gewicht per tak (g vers)								
	Ravel	66	67	67	67	n.s.	n.s.	n.s.
	Frisco	31	31	32	30	n.s.	1.2	n.s.
	Starlite	30	29	30	29	n.s.	n.s.	n.s.
	First Red	46	46	47	45	n.s.	n.s.	n.s.
Lengteklasse								
	Ravel	10.2	10.2	10.2	10.2	n.s.	n.s.	n.s.
	Frisco	5.7	5.8	5.8	5.7	n.s.	0.13	n.s.
	Starlite	6.4	6.1	6.5	6.1	n.s.	n.s.	n.s.
	First Red	7.5	7.5	7.5	7.5	n.s.	n.s.	n.s.
Voorjaar								
	Ravel	6.4	6.6	6.4	6.5	n.s.	n.s.	n.s.
	Frisco	13.9	14.0	14.0	14.0	n.s.	n.s.	n.s.
	Starlite	21.2	21.9	21.0	22.0	n.s.	n.s.	n.s.
	First Red	11.2	12.0	11.8	11.3	n.s.	n.s.	n.s.

Tabel 10 Effecten van temperatuurregeling en niveau van vochtbeheersing op productiekenmerken van roos. Weergegeven zijn gemiddelden over de gehele teeltperiode. Voor toelichting zie de kop van Tabel 2.

Kenmerk	Ras	Temperatuur- regeling:		Vocht- regeling:		L.S.D. _{0.05}		Inter- actie:
		CONV	MTI	RV hoog	RV laag	Temp.	Vocht	
Herfst								
	Ravel	19.1	19.6	19.7	19.1	n.s.	n.s.	n.s.
	Frisco	21.1	20.3	21.1	20.2	n.s.	n.s.	n.s.
	Starlite	13.0	13.1	12.9	13.3	n.s.	n.s.	n.s.
	First Red	11.9	11.4	10.8	12.5	n.s.	1.5	n.s.
Winter								
	Ravel	20.1	20.5	20.2	20.5	n.s.	n.s.	n.s.
	Frisco	23.9	24.2	24.2	23.9	n.s.	n.s.	n.s.
	Starlite	14.1	13.5	13.1	14.5	n.s.	n.s.	n.s.
	First Red	13.5	13.1	13.1	13.5	n.s.	n.s.	n.s.
Voorjaar								
	Ravel	17.3	16.7	17.4	16.6	n.s.	n.s.	n.s.
	Frisco	20.4	20.1	20.5	20.0	n.s.	n.s.	n.s.
	Starlite	12.8	13.2	12.9	13.1	n.s.	n.s.	n.s.
	First Red	15.1	13.6	14.0	14.7	1.2	n.s.	n.s.

Tabel 11 Effecten van meerdaagse temperatuurintegratie en vochtregeling op het vaasleven (dagen) van vier rozenrassen onder standaard uitbloei-condities. Waarden in de tabel zijn gemiddelden van tien vazen per seizoen per kas en twee kassen per behandeling. Voor toelichting zie de kop van Tabel 2.

Gerbera

Geen van de behandelingen had een betrouwbaar effect op de lengte van de bloemen of het totale aantal geogste bloemen (Tabel 8). Bij het ras 'Illusion' bleken de bloemen in de kassen met de integrerende regeling iets zwaarder te worden; voor de overige rassen waren er geen behandelingseffecten. Ook wat betreft bloemdiameter gaf 'Illusion' een klein positief effect van temperatuurintegratie te zien. Bij geen van de

rassen werd een significant behandelingseffect gevonden op het vaasleven van de bloemen, dat in drie verschillende seizoenen is bepaald (Tabel 9).

Roos

Toepassing van temperatuurintegratie had geen effect op het aantal takken dat per struik werd geoogst of op de lengte en het versgewicht per tak (Tabel 10). Alle vier getoetste rassen reageerden in dit opzicht overeenkomstig. Het instellen van een minimum buistemperatuur had een significante vermindering van het takgewicht van 'Frisco' tot gevolg; bij de overige rassen was dezelfde trend (kortere en lichtere takken) aanwezig. Dit effect is wellicht veroorzaakt door de hogere temperatuur in het gewas (waarschijnlijk meer dan de 0.3°C verschil in ruimtetemperatuur).

Soort	Kenmerk	Temperatuur-regeling:		Vocht-regeling:		L.S.D. _{0.05}		Inter-actie:
		CONV	MTI	RV hoog	RV laag	Temp.	Vocht	
Ficus								
	Versgewicht (g)	57.2	57.3	57.8	56.7	n.s.	n.s.	*
	Lengte (cm)	47.8	47.2	47.6	47.5	n.s.	n.s.	n.s.
	1e zijtakken	13.9	13.9	13.9	13.9	n.s.	n.s.	n.s.
	Droge stof (%)	20.3	20.8	20.4	20.7	n.s.	n.s.	n.s.
Nephrolepis								
	Versgewicht (g)	101	104	101	104	n.s.	n.s.	n.s.
	Lengte (cm)	45.5	43.4	43.3	45.6	1.5	1.5	n.s.
	Blad > 15 cm	62.7	69.7	66.7	65.8	6.6	n.s.	n.s.
	Droge stof (%)	17.1	16.9	16.9	17.2	n.s.	n.s.	n.s.
Schefflera								
	Versgewicht (g)	136	144	145	136	n.s.	n.s.	n.s.
	Lengte (cm)	43.4	45.1	45.5	43.1	n.s.	n.s.	n.s.
	Aantal bladeren	17.9	18.7	18.5	18.2	n.s.	n.s.	n.s.
	Droge stof (%)	14.4	14.8	14.6	14.6	n.s.	n.s.	n.s.
Yucca								
	Versgewicht (g)	238	233	241	230	n.s.	5.1	n.s.
	Lengte (cm)	56.2	55.8	56.3	55.6	n.s.	0.2	n.s.
	Aantal bladeren	25.8	25.3	25.6	25.4	n.s.	n.s.	n.s.
	Droge stof (%)	14.5	14.7	14.7	14.5	n.s.	n.s.	n.s.
Kalanchoe								
	Versgewicht (g)	175	188	183	179	n.s.	n.s.	n.s.
	Lengte (cm)	11.3	11.4	11.4	11.2	n.s.	n.s.	n.s.
	Open bloemetjes	6.7	7.5	7.5	6.7	n.s.	n.s.	n.s.
	Droge stof (%)	4.2	4.2	4.2	4.2	n.s.	n.s.	n.s.
Potchryasant								
	Versgewicht (g)	65.4	70.8	69.0	67.2	n.s.	n.s.	n.s.
	Lengte (cm)	17.4	18.2	18.1	17.6	n.s.	0.3	n.s.
	Open bloemen	4.8	3.3	3.7	4.5	n.s.	n.s.	n.s.
	Aantal knoppen	13.9	15.0	14.6	14.3	n.s.	n.s.	n.s.
	Droge stof (%)	8.0	7.9	7.9	8.0	n.s.	n.s.	n.s.

Tabel 12 Effecten van meerdaagse temperatuurintegratie en vochtregeling op gewaskenmerken in de proef in Klazienaveen. Om behandelingseffecten nauwkeuriger te kunnen detecteren, zijn de analyses gebaseerd op gegevens van twee verschillende oogsttijdstippen (behandeld als blokfactor). Voor verdere toelichting zie de kop van Tabel 2.

Meer in het algemeen geldt dat hogere temperaturen leiden tot grotere aantallen takken, wat vaak ten koste gaat van het gewicht en de lengte per tak. Het feit dat er geen effect te zien was op het aantal geogste takken kan samenhangen met het inbuigen van de laagste kwaliteit scheuten: naarmate er bij toepassing van vochtregeling relatief meer lichte takken werden ingebogen zal het behandelingseffect minder doorwerken in het aantal oogstbare takken.

Temperatuurintegratie had geen aantoonbaar effect op het vaasleven van drie van de vier onderzochte rassen (Tabel 11). Alleen bij 'First Red' bleek dat bij de houdbaarheidstoets in de lente het vaasleven met 1.4 dagen werd bekort door temperatuurintegratie, terwijl de vochtregeling (RV laag) in de herfst resulteerde in een langere houdbaarheid.

Soort	Kenmerk	Temperatuur-regeling:		Vocht-regeling:		L.S.D. _{0.05}		Inter-actie:
		CONV	MTI	RV hoog	RV laag	Temp.	Vocht	
Ficus								
	Bladpunt bruin	2.2	1.8	2.0	2.0	0.2	n.s.	n.s.
	Bladval	1.3	0.7	1.0	0.9	0.5	n.s.	n.s.
Nephrolepis								
	Bladval	4.5	5.5	4.5	5.5	n.s.	n.s.	n.s.
Schefflera		Geen effecten op uitwendige kwaliteit						
Yucca								
	Bladpunt bruin	2.0	2.9	2.3	2.6	n.s.	n.s.	n.s.
	Hangend blad	3.7	4.1	4.3	3.5	n.s.	n.s.	n.s.
Kalanchoe								
	Bloemetjes goed	21	22	23	21	n.s.	n.s.	n.s.
	bloemetjes dood	26	22	24	24	n.s.	n.s.	n.s.
Potchryasant								
	Geel blad	1.4	1.5	1.7	1.2	0.1	n.s.	**
	Goede bloemen	10.3	11.5	10.6	11.2	n.s.	n.s.	n.s.

Tabel 13 Effecten van meerdaagse temperatuurintegratie en vochtregeling op gewassenmerken in de naoogstfase van de proef in Klazienaveen. De analyses zijn gebaseerd op gegevens van twee verschillende oogsttijdstippen (behandeld als blokfactor). Voor verdere toelichting zie de kop van Tabel 2.

Potplanten

Temperatuurintegratie had op de onderzochte gewassen geen, of in een enkel geval slechts beperkte, effecten (Tabel 12). Bij Nephrolepis, Schefflera, Kalanchoe en potchryasant was er een lichte tendens naar iets zwaardere planten in de kassen met temperatuurintegratie. Nephrolepis bleef significant iets korter en vormde meer bladeren. Effecten op lengtegroei en generatieve ontwikkeling bij de bloeiende planten zijn niet geconstateerd. Als effecten van de proeffactor RV werd geconstateerd dat Nephrolepis iets langer blad vormde bij lage RV, terwijl de potchryasant iets langer werd bij hoge RV. Ook in de naoogstfase waren de verschillen minimaal (Tabel 13). Bij Ficus trad bij planten die in integrerende kassen waren gekweekt iets minder bladval op en werden minder bruine bladpuntjes geteld. Bij potchryasant werd iets meer vergeeld blad geteld. Verder werd wat betreft het aantal gele bladeren bij potchryasant een interactie gevonden tussen de factoren temperatuur- en vochtregeling: vooral minder geel blad bij lage RV bij een conventionele temperatuurregeling.

4. DISCUSSIE

De resultaten van de hier gerapporteerde proeven tonen aan dat ca. 15% verbetering van de energie-efficiëntie van de teelt onder glas mogelijk is door toepassing van een eenvoudig regelprincipe, gebaseerd op temperatuurintegratie. Deze besparing werd bereikt zonder negatieve effecten op gewasproductie of kwaliteit. De gerealiseerde besparing overtreft het maximale besparingspotentieel van 9% dat de onderzoekers Bailey & Seginer (1989) berekenden voor een optimale temperatuurregeling voor tomaat (onder Engelse omstandigheden). Het effect van de geteste MTI-regeling is van dezelfde orde van grootte als de 8 – 18% besparing die werd bereikt bij een test van de klimaatregelaar 'Econaut' (Rijsdijk et al., 1998), die binnen een vast etmaalgemiddelde een optimaal temperatuurtraject berekent. In het geval van de Econaut was het besparingspotentieel duidelijk gerelateerd aan de toegelaten bandbreedte voor de kasluchttemperatuur. In de hier beschreven proeven was deze bandbreedte vrij ruim ingesteld (15-25°C, resp. 17-25°C in Aalsmeer en Klazienaveen). Aan de andere kant was de bandbreedte voor de toegestane afwijkingen van de referentie-temperatuur-integraal tamelijk smal gekozen (-100 tot +100 graduren). Van deze bandbreedte werd door de regelaar slechts 65% effectief benut (Figuur 1). Het is te verwachten dat meer energie bespaard kan worden wanneer een groter deel van de integratiecapaciteit van -300 tot +300 graduren, die voor een aantal belangrijke sierteeltgewassen is vastgesteld (Buwalda et al., 1996, Buwalda, 1997), als vrijheid aan de regelaar gegeven wordt.

Het energiebesparingpotentieel van het in combinatie toepassen van etmaal- en meerdaagse temperatuurintegratie zal niet zonder meer gelijk zijn aan de som van de besparingspercentages van de afzonderlijke regelingen. Met name het maximaal benutten van zonnearmte door uitgesteld ventileren is een belangrijk besparingsmechanisme dat de twee regelingen gemeenschappelijk hebben. Een aantal andere elementen van de etmaalregeling, zoals het optimaal gebruik van energieschermen en het optimaliseren van het temperatuurverloop op basis van de lokale weersverwachting zijn wel aanvullend en zullen naar verwachting bij combinatie resulteren in grotere besparingsmogelijkheden.

Een noodzakelijke kanttekening bij de resultaten van het onderzoek naar de tolerantie van tuinbouwgewassen voor (tijdelijke) temperatuurafwijkingen in het algemeen is dat ze voornamelijk zijn gebaseerd op empirisch onderzoek. Het is theoretisch erg lastig de kritische grenswaarden goed te definiëren. Bij het hanteren van het criterium 'geen negatieve effecten op productie of kwaliteit van het gewas in vergelijking met een conventionele (setpoint)-regeling' moet worden bedacht dat conventionele regelingen in de praktijk over het algemeen geen constante productie of kwaliteit opleveren (deze zijn o.a. seizoensafhankelijk). Verder kan juist een vast temperatuursetpoint, in combinatie met bijvoorbeeld een lichtarme periode, tot kwaliteitsproblemen leiden.

Ruime veiligheidsmarges zullen daarom voorlopig moeten worden aangehouden bij het toepassen van temperatuurintegratie. Het besparingspotentieel van temperatuurintegratie zal pas volledig kunnen worden benut wanneer voldoende inzicht bestaat in de achterliggende fysiologische processen om de kritische grenswaarden te kunnen definiëren op basis van plantkundige criteria.

Een interessant aspect aan temperatuurintegratie is het feit dat voor het realiseren van de energiebesparing in principe slechts een aanpassing van de besturingssoftware van

de klimaatcomputer nodig is. Voor bestaande bedrijven zijn daarom geen investeringen in kasuitrusting noodzakelijk, en zal de drempel om op deze manier energie te gaan besparen laag zijn.

Het resultaat van het huidige project biedt niet alleen een eenvoudige methode om energiebesparing te bereiken, het is ook een resultaat met 'doorgroeimogelijkheden'.

De eerste - voor de hand liggende - stap is, zoals hierboven aangegeven, het integreren van meerdaagse temperatuurintegratie met het optimaliseren van het stooktraject op basis van de lokale (meerdaagse) weersverwachting.

Een volgende stap zou kunnen zijn het doorrekenen van de effecten van temperatuurintegratie op de toepassingsmogelijkheden van allerlei alternatieve en hernieuwbare energiebronnen en technische besparingsopties (zoals warmteopslag, energieschermen). Het nieuwe perspectief van temperatuurintegratie schept nieuwe randvoorwaarden voor de toepassing van alternatieve- en duurzame bronnen:

- minder grote maximale warmteafgifte nodig;
- minder grote totale warmteopbrengst nodig;
- meer toepassingsmogelijkheden voor laagwaardige warmte

Alle drie aspecten hebben zowel invloed op de beoordeling van de technische en economische haalbaarheid als op de inschatting van het energiebesparingpotentieel. Op deze wijze kan dus een 'multiplier-effect' optreden; doordat temperatuurintegratie niet alleen tot directe energiebesparing leidt, maar ook indirect door het vergroten van de toepassingsmogelijkheden van andere energiebesparingsopties.

Verder kan de toepassing van temperatuurintegratie worden verbreed door uitbreiden van de reeks gewassen, waarvoor temperatuurintegratie is getoetst.

Een punt van aandacht is dosering van CO₂ in kassen. Met name in de vrucht-groententeelt wordt CO₂-verrijking op basis van rookgassen op grote schaal toegepast, veelal in combinatie met een warmtebuffer. Doordat bij toepassing van temperatuurintegratie minder wordt geventileerd en tevens afwijkingen in de momentane kasluchttemperatuur worden toegelaten ontstaat een aanzienlijk grotere optimaliseringsruimte voor CO₂-dosering. Het is te verwachten dat nieuwe generaties klimaatregelaars deze ruimte kunnen benutten, en CO₂-dosering en temperatuurregeling in onderlinge samenhang zullen kunnen optimaliseren. Voorwaarde om de hierbij noodzakelijke afwegingen te kunnen maken is dat een goed inzicht bestaat in de toegevoegde waarde van CO₂, dat wil zeggen de te verwachten effecten op productie, ontwikkelingssnelheid en kwaliteit en de doorwerking hiervan in de te verwachten (financiële) kosten en baten van het productieproces.

Anderzijds is te verwachten dat de beschikbaarheid van CO₂ uit rookgassen de komende tijd zal afnemen, in de eerste plaats door de energiebesparing die samenhangt met temperatuurintegratie, maar ook door een betere isolatie van kassen en het in gebruik nemen van efficiëntere vormen van energieopwekking. Als consequentie zullen bedrijven meer CO₂ gaan inkopen.

Een verdere ontwikkeling is het optimaliseren van de doelmatigheid van het energiegebruik, dus eigenlijk de teler instrumenten te verschaffen waarmee bepaalde teeltdoelen zo energie-efficiënt mogelijk gerealiseerd kunnen worden. Te denken valt aan oplossingen zoals het rationaliseren van het gasverbruik op grond van de prijsverwachting van het product (Tap et al., 1998). Een belangrijk ander aspect in dit

verband is het optimaliseren van het energiegebruik (temperatuur, CO₂, assimilatiebelichting) ten behoeve van het trefzeker realiseren van gestelde teeltdoelen (aantallen, kwaliteit, leverdatum). Beide aspecten vertonen een sterke en toenemende onderlinge samenhang bij de huidige trend naar meer marktgericht produceren, vooral omdat kwaliteit en afleverdatum voor bepaalde producten (met name in de sierteelt) van sterke invloed kunnen zijn op de prijsvorming.

5. CONCLUSIES

De hier gepresenteerde gegevens maken aannemelijk dat de Nederlandse glastuinbouw minstens 10% energie kan besparen, zonder negatieve effecten op productie of kwaliteit. Het goede teeltresultaat voor een uiteenlopende reeks gewassen vormt een sterke indicatie voor een brede toepasbaarheid. Om dit te bereiken is slechts een aanpassing in de software van de klimaatregelaar nodig.

Het toelaten van tijdelijke afwijkingen van het nagestreefde temperatuurniveau vergroot de toepassingsmogelijkheden van andere energiebesparingsopties, zoals gebruik van laagwaardige warmte en energieschermen. Verder vergroot temperatuurintegratie de ruimte voor optimaliserende klimaatregelaars.

Het is van belang om de tot nu toe empirisch bepaalde integratiecapaciteit van tuinbouwgewassen te onderbouwen met kennis over de gewasfysiologische achtergronden van de tolerantie voor temperatuurafwijkingen. Voor de korte termijn zal deze kennis van nut zijn voor het beter bepalen van kritische grenswaarden voor temperatuurafwijkingen, op de langere termijn is deze kennis noodzakelijk om voor het maken van optimaliseringsberekeningen door de komende generaties klimaatregelaars.

REFERENTIES

- Bailey B.J. and Seginer J., 1989. Optimum control of greenhouse heating. *Acta Hort.* 245: 512-518.
- Bakker J.C. and Van Uffelen J.A.M., 1988. The effects of diurnal temperature regimes on growth and yield of glasshouse sweet pepper. *Neth. J. Agric. Sci.* 36: 201-208.
- Bot G.P.A., 1983. Greenhouse climate: from physical processes to a dynamic model. Dissertation, Agricultural University, Wageningen.
- Bryson A.E. and Ho Y.C., 1975. *Applied Optimal Control*, Hemisphere Publ. Co, New York.
- Buwalda F., 1996. Mogelijkheden voor energiebesparing door temperatuurintegratie bij siergewassen - literatuuroverzicht. PBG rapport 118.
- Buwalda F., Wertwijn R. en Eveleens B., 1996. Mogelijkheden voor energiebesparing door temperatuurintegratie bij siergewassen - Een inventarisatie bij zes sierteeltgewassen. PBG Rapport 119.
- Buwalda F., 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.
- Chalabi Z.S., Bailey B.J. and Wilkinson D.J., 1996. A real-time optimal control algorithm for greenhouse heating. *Comp. Electron. Agric.* 15: 1-13.
- Cockshull K.E., Hand D.W. and Langton F.A., 1981. The effects of day and night temperature on flower initiation and development in chrysanthemum. *Acta Hort.* 125: 101-109.
- Day W., 1998. The value of crop and greenhouse models in greenhouse environmental control. *Acta Hort.* 456: 295-303.
- De Koning A.N.M., 1988. The effect of different day/night temperature regimes on growth, development and yield of glasshouse tomatoes. *J. Hort. Sci.* 63: 465-471.
- De Koning A.N.M., 1988. More efficient use of base load heating with a temperature integrating control programme. Effect on development, growth and production of tomato. *Acta Hort.* 229: 233-237.
- De Koning A.N.M., 1990. Long-term temperature integration of tomato. Growth and development under alternating temperature regimes. *Sci. Hort.* 45: 117-127.
- De Koning, A.N.M., 1994. Development and dry matter distribution in glasshouse tomato: a quantitative approach. Dissertation, Agricultural University, Wageningen.
- De Koning A.N.M., 1997. Klimaatregeling met flexibele prioriteiten. PBG intern verslag 96 (niet openbaar).
- De Réaumur, R.A.F., 1735. Observation du thermomètre, faites à Paris pendant l'année 1735, comparées avec celles qui ont été faites sous la ligne, à l'isle de France, à Alger et en quelques-unes de nos isles de l'Amerique. *Mém. Acad. des Sci.*, Paris 1735: 545.
- Grange R.I. and Hand D.W., 1987. A review of the effects of atmospheric humidity on the growth of horticultural crops. *J. Hort. Sci.* 62: 125-134.
- Hendriks L., Scharpf H.C. and Hackbarth H.J., 1987. Temperaturreaktion von Rosen. *Deutscher Gartenbau* 5: 272-276.
- Hurd R.G. and Graves C.J., 1984. The influence of different temperature patterns having the same integral on the earliness and yield of tomatoes. *Acta Hort.* 148: 547-554.
- Jasperse H.C. and Coolen E.A.J.M., 1996. Winst boeken met een optimale klimaatregeling. *Vakbl. Bloem.* 14: 43.
- Karlsson M.G., Heins R.D. and Erwin J.E., 1988. Quantifying temperature-controlled leaf unfolding rates in 'Nellie White' easter lily. *J Amer. Soc. Hort. Sci.* 113: 70-74.
- Krug H. and Liebig H.P., 1980. Diurnal thermoperiodism of the cucumber. *Acta Hort.* 118: 83-94.
- Lewis F.L., *Optimal Control*, Wiley Interscience, New York, 1986.
- Menne A., 1992. Reaktion einiger Zierpflanzen auf mehrtägige Fluktuationen von Temperatur und Lichtintensität. Dissertation Univ. Hanover.
- Moe R. and Mortensen L.M., 1992. Thermomorphogenesis in pot plants. *Acta Hort.* 305: 19-25.
- Papenhagen A., 1986. Hohe Luftfeuchte hat auf Pflanzen begrenzten Einfluss. *Gb + GW* 36:1343-1346.
- Rijsdijk A.A. and Houter G., 1993. Validation of a model for energy consumption, CO₂ consumption and crop production (ECP-model). *Acta Hort.* 328: 125-131.

- Rijdsijk A.A., Vogelesang J.V.M., Van Leeuwen G.J.L., Van Noort F.R., Heij G., Mulderij G.E., De Hoog J. and Jasperse H., 1998 - Temperatuurintegratie op etmaalbasis. PBG Report 135.
- Slack G. and Hand D.W., 1983. The effect of day and night temperatures on the growth, development and yield of glasshouse cucumbers. *J. Hort. Sci.* 58: 567-573.
- Stengel R.F. , 1994. *Optimal Control and Estimation*, Dover Publ. Inc., New York.
- Tap R.F., Van Straten G. and Van Willigenburg L.G., 1998. Comparison of classical and optimal control of greenhouse tomato crop production. In: A. Munack and H.J. Tantau (Editors), *Mathematical and Control Applications in Agriculture and Horticulture*, IFAC/Elsevier, ISBN 0 08 043037 6, pp. 1-6.
- Van den Berg, G.A., 1987. Influence of temperature on bud break, shoot growth, flower bud atrophy and winter production of glasshouse roses. Dissertation, Agricultural University, Wageningen.
- Van der Vlugt J.L.F. 1983. The effect of temperature on formation and abortion of flower buds in gynoecious cucumber plants. *Sci. Hort.* 20: 323-328.
- Van der Vlugt J.L.F. 1983. Growth and abortion of flower buds in gynoecious cucumber plants in relation to temperature. *Sci. Hort.* 20: 329-339.