



Planttemperatuur in relatie tot omgevingsfactoren: metingen voor mogelijke toepassing in klimaatregeling

Rob Baas, Mary Warmenhoven

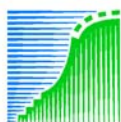
Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.
Sector Glastuinbouw
juli 2003

© 2003 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 onderzoek werd gefinancierd door het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij en het Productschap voor de Tuinbouw in het kader van het GLAMI convenant



**landbouw, natuurbeheer
en visserij**

PPO Project: 41600067

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Sector Glastuinbouw

Adres : Bornsesteeg 47, Wageningen
: Postbus 167, 6700 AD Wageningen
Tel. : 0317 - 47 83 00
Fax : 0317 - 47 83 01
E-mail : info@ppo.dlo.nl
Internet : www.ppo.dlo.nl

Inhoudsopgave

1	INLEIDING	4
1.1	Energiebalans bladeren	4
1.2	Planttemperatuur metingen.....	6
1.3	Doel onderzoek	6
2	MATERIAAL EN METHODE	7
2.1	Gebruikte meetapparatuur	7
2.2	Beschrijving opstelling om snelheid van opwarmen te meten	7
2.3	Beschrijving meetopstelling in klimaatkamer/thermografie	8
2.4	Metingen per gewas.....	9
2.4.1	Gerbera	9
2.4.2	Anthurium.....	9
2.4.3	Roos.....	9
2.4.4	Amaryllis	10
2.4.5	Tomaat	10
3	RESULTATEN	11
3.1	Plaatselijke variatie	11
3.2	Resultaten per gewas.....	12
3.2.1	Gerbera	12
3.2.2	Anthurium.....	15
3.2.3	Roos.....	17
3.2.4	Amaryllis	18
3.2.5	Tomaat	18
3.3	Thermografie om opwarmingssnelheid te bepalen.	20
4	DISCUSSIE	22
4.1	Betrouwbaarheid sensoren	22
4.2	Plaatselijke verschillen in gewastemperatuur	22
4.3	Snelheid van temperatuurveranderingen plantendelen in relatie tot condensatie	22
4.4	Gebruik planttemperatuurmeting in klimaatregeling?	25
5	SAMENVATTING.....	27
6	LITERATUUR.....	28

1 Inleiding

De afgelopen jaren is er in de praktijk belangstelling ontstaan om de temperatuur van gewas of gewasdelen (vruchten, bloemknoppen) te betrekken in kasklimaatregelingen. Afgezien van de mogelijke toepassing voor stressdetectie op het gebied van de waterhuishouding (Wolff 1998; Baas e.a. 2002) zijn er potentiële mogelijkheden op het gebied van energiebesparing. Deze mogelijkheden kunnen als volgt omschreven worden:

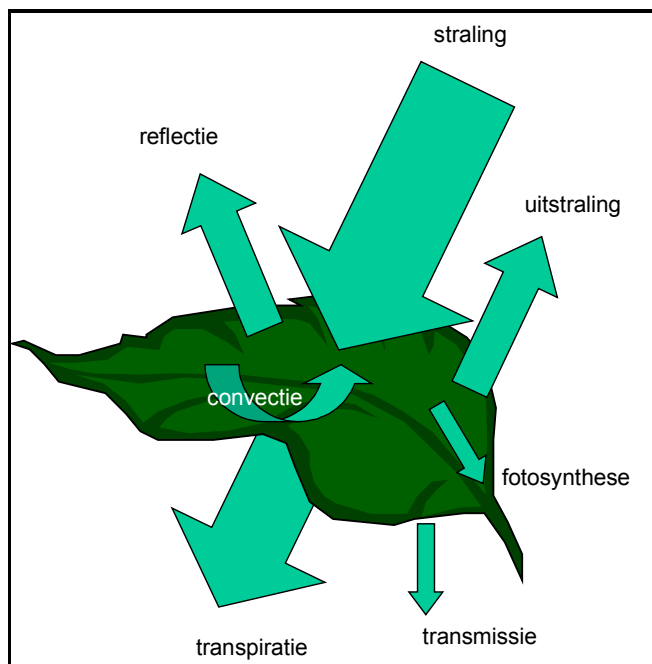
1. Planttemperatuur als hulpmiddel om het risico van condensatie op gewasdelen in te schatten. Condensatie ontstaat indien de temperatuur van gewasdelen onder de dauwpuntstemperatuur komt. Dit kan gebeuren doordat m.n. in de ochtend de kastemperatuur snel stijgt, terwijl de gewastemperatuur achterblijft. De dauwpuntstemperatuur zal dan ook snel stijgen, waardoor condensatie op de relatief koude gewasdelen kan plaats vinden. Voor een aantal gewassen kan dit het risico van een verhoogde ziektedruk tot gevolg hebben. Sporen van *Botrytis* kunnen b.v. gaan kiemen en vervolgens infecteren bij luchtvochtigheden boven de ca. 95%, hetgeen de kwaliteit van veel gewassen (b.v. bloemen van b.v. rozen en gerbera) ernstig kan beïnvloeden. Een andere omstandigheid voor het optreden van condensatie speelt bij een dalende planttemperatuur ten opzichte van de kasluchttemperatuur a.g.v. uitstraling bij onbewolkt weer (b.v. heldere nachten). Zo vonden Faust en Heins (1998) bij *Vinca* dat het groeipunt 0.5 – 5°C lager was dan de kasluchttemperatuur, terwijl overdag de temperatuur tot 4°C boven de kasluchttemperatuur lag. Overigens is deze uitstraling in de nacht alleen van belang bij omstandigheden dat geen gebruik gemaakt wordt van een energiescherm.

2. Planttemperatuur als (extra) regelaar voor het kasklimaat.

In klimaatregelingen wordt tot op heden geregeld op de kasluchttemperatuur, zoals bepaald in een meetbox. Hierbij wordt impliciet aangenomen dat de gewastemperatuur vergelijkbaar is met de kasluchttemperatuur, hoewel dit niet het geval hoeft te zijn. Het is een gegeven dat veel ontwikkelingsprocessen zoals bladafsplittingsnelheid, bloem(knop)ontwikkeling, uitgroeisnelheid etc. bepaald worden door de planttemperatuur. De optimale temperaturen en mogelijke toleranties (bandbreedtes) voor afwijkingen (grootte en duur) hiervan kunnen in principe hierbij verschillen per proces, per orgaan of per leeftijd. In een aantal gevallen wordt bewust gebruik gemaakt van verschillen in b.v. dag- nachttemperaturen om plantprocessen te beïnvloeden. Een voorbeeld hiervan is het zgn. DIF concept, waarbij andere nachttemperaturen dan dagtemperaturen worden toegepast teneinde de lengtegroei te beïnvloeden. Wanneer de gewastemperatuur hierbij afwijkt van de kasluchttemperatuur (zoals b.v. bij uitstraling), kan het beoogde effect echter afwijken van het gerealiseerde effect. Kennis omtrent de relatie tussen kas- en gewastemperatuur of evt. een regeling op basis van (al dan niet gesimuleerde) planttemperatuur zou hierbij in principe een voordeel kunnen hebben. Hetzelfde geldt voor gebruik van assimilatiebelichting. De planttemperatuur kan hierbij – al dan niet tijdelijk – verhoogd worden waardoor deze afwijkt van de kasluchttemperatuur.

1.1 Energiebalans bladeren

Om meer inzicht te krijgen in de realisatie van temperatuur van gewas of onderdelen hiervan (blad, knop, vrucht) zal de energiebalans van een blad kort besproken worden.



Figuur 1. Schematische weergave van de componenten van de energiebalans bij een blad.

De meeste bladeren absorberen kortgolvlige zonnestraling (short-wave radiation SR: golflengte van ca. 300-3000 nm). Een klein gedeelte (ca. 2%) wordt echter gereflecteerd of wordt doorgelaten (transmissie), wordt uitgezonden als fluorescentie of wordt gebruikt voor metabolische processen (Fig. 1). Daarnaast absorbeert het blad energie uit langgolvlige infrarood straling uit de omgeving b.v. de bodem.

Als geen warmteverlies zou optreden zou binnen 1 minuut de temperatuur tot kookpunt stijgen. Processen van warmteverlies spelen dus een grote rol om het blad op een acceptabele temperatuur te houden. De processen die hierbij optreden zijn uitstraling, convectie en transpiratie. Uitstraling (emissie) gebeurt via langgolvlige infrarood straling (golflengte ca. 2000-20000nm). Convectie gebeurt door molecuultransport in de richting van de temperatuur gradiënt door middel van luchtbeving.

Iedere verandering in de warmtebalans zal een verandering van bladtemperatuur tot gevolg hebben. Voor een correcte beschrijving van de verandering in de tijd zal ook een warmtebuffer beschreven moeten worden. Voor bladeren is deze echter zo gering dat deze verwaarloosd kan worden. Voor bloemknoppen en voor vruchten zal dit echter wel een rol spelen, hetgeen van belang kan zijn in verband met het al dan niet optreden van condensatie.

Aan de hand van de warmtebalans kan uiteindelijk, wanneer voldoende omgevingsparameters gemeten worden en een aantal aannamen gemaakt zijn een schatting voor de bladtemperatuur (b.v. Miller 1971) of groeipunttemperatuur (Faust en Heins 1998; Shimizu and Heins 2002) gemaakt worden. Berekeningen met modellen wijzen hierbij uit dat het verschil in blad-lucht temperatuur toeneemt met grotere bladdiameter omdat de grenslaaggeleidbaarheid afneemt, waardoor convectie geringer wordt (Lambers 1998).

Afhankelijk van de componenten van de warmtebalans kan de bladtemperatuur juist hoger dan wel lager dan de omgevingstemperatuur zijn. Het is te verwachten dat door de verscheidenheid in tuinbouwkundige gewassen (vruchtgroenten, snijbloemen, potplanten) de absolute waarden van gerealiseerde planttemperaturen onder uniforme teeltomstandigheden zal verschillen. Ook is duidelijk dat verschillen binnen een gewas op kunnen treden omdat m.n. de geabsorbeerde straling, maar ook verdampingsverschillen kunnen optreden binnen het gewas. Dit maakt dat metingen mogelijk een betere afspiegeling geven dan geschatte waarden m.b.v. modelberekeningen, maar geeft ook aan dat er een manier gevonden moet worden om met deze variatie om te kunnen gaan.

1.2 Planttemperatuur metingen

Er zijn verschillende manieren om de planttemperatuur te meten. Meestal worden metingen uitgevoerd met thermokoppels of met infrarood (IR) detectors. Vanwege de praktische toepasbaarheid zijn met name de IR meters in de praktijk in gebruik.

De werking van de IR thermometer is gebaseerd op het feit dat alle objecten met een temperatuur hoger dan 0 gr. K uitstralen. De relatie tussen emissie van langgolvlige infrarood straling en temperatuur van een oppervlak wordt gegeven door de Stefan-Boltzmann blackbody vergelijking (een black body is een voorwerp dat geen reflectie en transmissie heeft, en alle straling absorbeert, waardoor het een emissiefactor van 1.0 heeft):

$$R = \varepsilon * \sigma * T^4$$

Waarin

R: geëmitteerde straling (W/m²)

ε : emissiefactor

σ : Boltzmann-Konstante (5.674 * 10⁻⁸ W/m².K⁴)

T: oppervlaktetemperatuur

Het gunstigste meetbereik voor IR sensoren ligt in het gebied van 8000-12500 nm. Storende invloeden van gereflecteerde zonnestraling zijn in dat traject grotendeels uitgesloten. Bij planten ligt de emissiefactor tussen de 0.95 en 0.99.

Een aantal typen meetfouten kan een rol spelen bij temperatuurmetingen. Bij IR sensoren zijn o.a. de afstand tot het te meten object (in verband met de hoeveelheid opgevangen straling), en de emissiefactor van belang. Deze emissiefactor zal bovendien constant moeten zijn, terwijl bekend is dat deze – afhankelijk van het materiaal – met de temperatuur kan variëren. Uiteraard moet het apparaat goed geijkt zijn. Een eenvoudige testmethode op de betrouwbaarheid van de IR sensor kan uitgevoerd worden door de sensor te richten op smeltend ijs of op de buitenkant van een container met kokend water.

Thermografie

Bij thermografie wordt door middel van een IR scanner de temperatuurverdeling 2-dimensionaal vastgelegd. De beelden kunnen continu worden vastgelegd. Naderhand kunnen de beelden softwarematig worden bewerkt waardoor de ruimtelijke temperatuurverdeling beter inzichtelijk gemaakt kan worden. In principe kan - afhankelijk van het objectief - zowel op kleine (binnen plant) als op grotere schaal (kasschaal) gemeten worden.

1.3 Doel onderzoek

Doel is om meer kennis en inzicht te krijgen in de variatie in tijd en plaats van gewastemperaturen in relatie tot klimaatomstandigheden, teneinde te onderzoeken of planttemperatuurmeting als regelbaar in klimaatsturing te gebruiken is.

Het gebruik van temperatuurintegratie wordt o.a. belemmerd door het risico van condensatie bij grote temperatuurfluctuaties. Om dit te voorkomen wordt de bandbreedte in kasluchttemperatuur bij temperatuurintegratie soms geringer ingesteld dan plantkundig mogelijk is. Lagere temperaturen en/of grotere temperatuurverschillen zouden getolereerd kunnen worden indien het risico van 'natslaan' van het gewas beter in te schatten is met behulp van een meting van gewastemperatuur. Bij voorbeeld het standaard gebruik van een minimumbuis, en daarmee het energieverbruik, zou hierdoor beperkt kunnen worden.

2 Materiaal en Methode

2.1 Gebruikte meetapparatuur

Zowel infraroodsensoren als thermokoppels zijn gebruikt in het onderzoek. Daarnaast is incidenteel thermografieapparatuur gehuurd.

Specificaties meetapparatuur:

- Infrarood sensoren van Apogee Instruments (www.apogee-inst.com) : 8 stuks. Meting van 6-14 μm , de temperatuur van de aluminium behuizing werd tegelijkertijd gemeten om achteraf eventuele correcties te kunnen toepassen. Gecorrigeerde waarden vertoonden nauwelijks verschillen met ongecorrigeerde waarden en zijn daarom niet toegepast. Oriënterend onderzoek had aangetoond dat een korte afstand tot het op te nemen object van 1- 3 cm noodzakelijk was om betrouwbaar te kunnen meten. Bij grotere afstand worden lagere temperaturen gemeten. De sensoren zijn zowel in een permanente opstelling in de kas gebruikt, als in een configuratie als mobiele handmeting.



Foto 1 - Apogee IR sensor

- Infrarood sensoren van Heimann (www.heitronics.com) type KT 19: 2 stuks. Meting van 8-12 μm met een resolutie van 0.1 $^{\circ}\text{C}$. De sensoren waren betrouwbaar tot op 1 meter van het meetobject. De ingestelde emissiefactor was 1.000. De meters beschikten over een laserlicht om de meetplaats vast te stellen.
- Thermokoppels K – type: 10 stuks.
- Thermografie. IR Imaging Radiometer Model 740 van Inframetrics: field of View 15° vertical * 20° horizontal; meting van 8-12 μm ; resolutie 256*400 .

De opslag van de meetgegevens gebeurde om de minuut (thermokoppels, IR sensoren bij opstelling 2.2) of om de 5 minuten (IR sensoren voor 24-uurs metingen).

2.2 Beschrijving opstelling om snelheid van opwarmen te meten

Om de snelheid van opwarmen van plantendelen te meten is gebruik gemaakt van een gaasbak, die tussen twee Heimann IR sensoren was geplaatst (foto 2). In de mazen konden bloemen (op water) of vruchten worden geplaatst. De geregistreerde temperaturen werden naar de datalogger gestuurd met een meetfrequentie van een minuut. Voor dat de objecten werden geplaatst werden ze gekoeld gedurende 24 uur bij 15 $^{\circ}\text{C}$.



Foto 2 - Opstelling met Heimann IR sensoren om opwarmingssnelheid te meten.

2.3 Beschrijving meetopstelling in klimaatkamer/thermografie

Op dag 339 in 2002 zijn, in een proefopstelling in een koelcel van 20°C, thermografieopnamen gemaakt gedurende 2 uur en 10 minuten van bloemen (gerbera en roos) en vruchten (tomaat, komkommer en paprika). Voordat de objecten werden opgenomen, werden ze gekoeld gedurende 24 uur bij 15°C. Met behulp van thermografische imaging werden beelden opgenomen op 5, 15, 60 en 130 minuten na plaatsing.

Ook in de kassen bij gerbera en Anthurium zijn thermografieopnamen gemaakt (zie 2.4).

De thermografiebeelden werden softwarematig geanalyseerd waardoor b.v. de temperatuurverdeling van een vlak of lijn in het beeld beschikbaar is.



Foto 3. Opstelling voor thermografie om snelheid van opwarming te meten.

2.4 Metingen per gewas

Per gewas is aangegeven welke metingen zijn uitgevoerd.

2.4.1 Gerbera

Tussen dag 234 en dag 258 2002 is de temperatuur gevolgd van gerbera bloemen met de Heimann sensoren. Hierbij werd één sensor gericht op de lintbloemen en één op het hart van de bloem (meeldraden, stampers). Daarnaast is vanaf half september in een proefopstelling (zie 1.2) met de Heimann sensoren de snelheid waarmee lintbloemen en het hart van de bloem de kastemperatuur aannemen, na een koude behandeling (24 uur bij 15°C). De bloemen werden voor het transport van de koelcel naar de kas vervoerd in een gesloten 'tempex' doos. Metingen met Apogee sensoren zijn – in het kader van een ander project – uitgevoerd in twee meetopstellingen. Hierbij werd met 8 sensoren gemeten op het blad van gerbera.

Om inzicht te krijgen in plaatselijke temperatuur verschillen binnen het gewas in de kas zijn er thermografieopnamen gemaakt in week 27 en 49. Er zijn opnames gemaakt van de gehele kas, of alleen een plantbed in de kas. Gelijktijdig zijn ook temperatuur (hand IR thermometer van Apogee) en PAR metingen uitgevoerd.

Vanaf dag 44 in 2003 is de temperatuur van het hart van de bloem gevolgd, in een proefopstelling waarin de bloemen (afgesneden op water) waren geklemd aan een statief in kas L205 (de temperatuur kon hier in principe dalen tot 8°C). In perioden van 24 uur is de temperatuur van lintbloem en hart vergeleken met de kastemperatuur (meetbox) en de berekende dauwpunt temperatuur.

2.4.2 Anthurium

Vanaf dag 164 tot dag 305 in 2002 is met thermokoppels de temperatuur gevolgd bij drie Anthurium rassen 'Tropical', 'Acropolis' en 'Midori'. De thermokoppels werden onder het blad of schutblad geplakt met Leukoplasttape. Daarnaast is van afgesneden bladeren (al dan niet op water) de bladtemperatuur gevolgd. De bladtemperaturen zijn vergeleken met de temperatuur van de meetbox in de kas.

In een proefopstelling (zie 1.2) met de Heimann sensoren is de opwarmingssnelheid van het schutblad van de bloem, na een koude behandeling (24 uur bij 15°C) bepaald.

Om inzicht te krijgen in plaatselijke temperatuur verschillen binnen het gewas in de kas zijn er thermografieopnamen gemaakt in week 27 en 49.



Foto 3 - Thermokoppel bevestigd onder anthurium bloem.

2.4.3 Roos

In een proefopstelling (zie 1.2) met Heimann sensoren is de opwarmingssnelheid van gekleurde rozenknop bepaald, na een koudebehandeling (24 uur bij 15°C).

Temperatuur verschillen binnen een kas zijn gemeten met een handmeting bij gekleurde rozenknoppen op

dag 305 2002. Dit is gebeurd in een rozenproef in kas L403 is, op een strak bewolkte dag. Totaal is verspreid door de kas op 393 meetpunten de knoptemperatuur gemeten.

Vanaf dag 50 in 2003 is de temperatuur van het hart van de bloem gevolgd, in de proefopstelling waarin de bloemen (afgesneden op water) waren geklemd aan een statief, in kas L205.

2.4.4 Amaryllis

Bij Amaryllis is de temperatuur van het hart van de plant gemeten van dag 62 tot dag 75 2003 met de Heimann sensoren in een kas (L205) waarin de temperatuur kon zakken tot minimaal 8°C.

2.4.5 Tomaat

In een proefopstelling met de Heimann sensoren (zie 1.2) is de snelheid van opwarming van tomaat bepaald, na een koude behandeling (24 uur bij 15°C). Hierbij werd de diameter van de tomaten vooraf gemeten.

Net als bij roos is de temperatuur van tomaten gevolgd, in dezelfde proefopstelling (L305). In perioden van 24 uur is gekeken of condensvorming kon optreden door de temperatuur te vergelijken met de kas temperatuur (meetbox) en de berekende dauwpunt temperatuur.

In de eerste helft van februari 2003 is de temperatuur van tomaten vergeleken met de kas temperatuur en de berekende dauwpunt temperatuur in een kas met een minimumtemperatuur van 8°C.

3 Resultaten

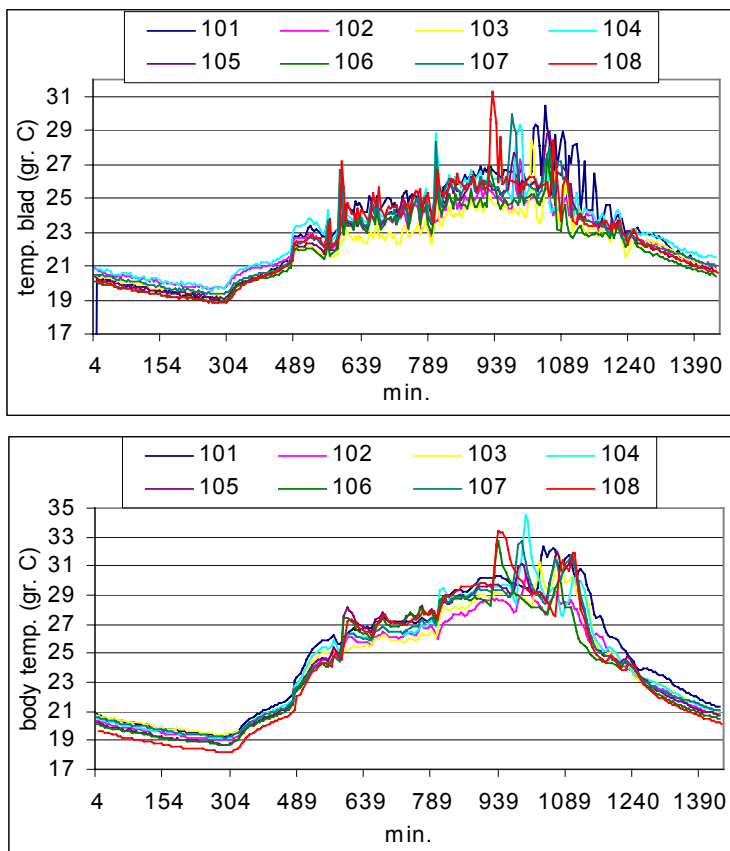
3.1 Plaatselijke variatie

De variatie binnen een kas is op 2 manieren bepaald: door met vergelijkbare sensoren doorlopend op verschillende plekken binnen een kas te meten in een opstelling met sensoren aangesloten op een logger (methode 1), of door met handmeter binnen een kas de variatie te meten (methode 2).

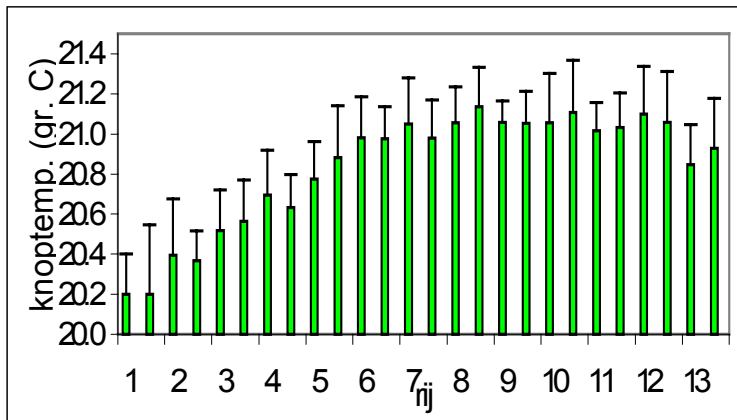
Bij meting (met methode 1) op gerberabladd (figuur 1 boven) met 8 sensoren in 2 meetvelden van 2 m² binnen een kas bleek dat de plaatselijke variatie aanzienlijk kan zijn (tot 7°C verschil). De momenten met de grote temperatuurverschillen correspondeerden met een hogere temperatuur van de Apogee IR sensor die tegelijkertijd werd gemeten (figuur 1 onder). De reden voor de grote verschillen is dus waarschijnlijk de directe instraling die op die plekken aanwezig is waardoor plaatselijk hogere temperaturen gemeten worden.

Bij roos, waar met een Apogee handsensor binnen een 300 m² kas gemeten werd op 393 punten, werd een maximale afwijking van maximaal 2.0 °C gemeten tussen de knoptemperaturen op een egaal bewolkte dag (figuur 2). Er bleek een duidelijke gradiënt in de kas aanwezig te zijn.

De gegevens verkregen met thermografie geven eveneens een goed beeld van de ruimtelijke variatie in gewastemperaturen die kunnen optreden. Deze data worden besproken in paragraaf 3.3.



Figuur 1 - Temperatuurmetingen met Apogee sensoren van Gerberabladd (boven) en van bijbehorende sensorbodytemperaturen (onder) op een zonnige dag 177 2002.



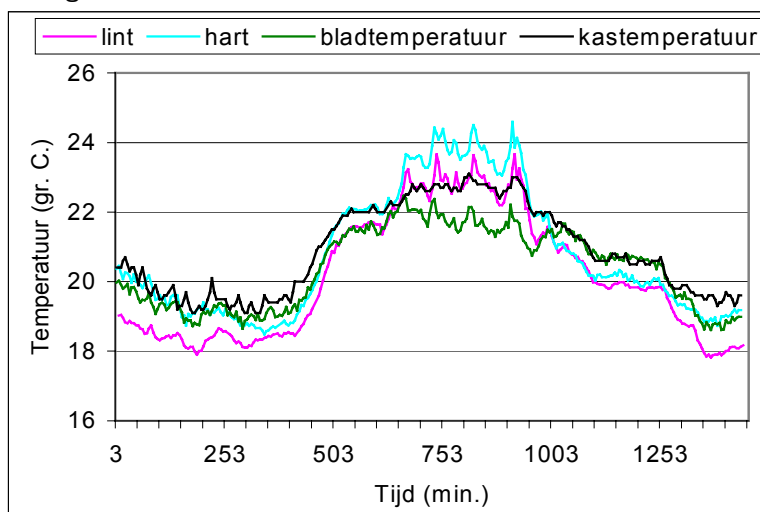
Figuur 2 - Histogram temperatuurverdeling in stappen van 0,2°C bij rozen knoppen in rijen in een kasafdeling. Standaarddeviatie is weer gegeven.

3.2 Resultaten per gewas

3.2.1 Gerbera

3.2.1.1 Puntmetingen

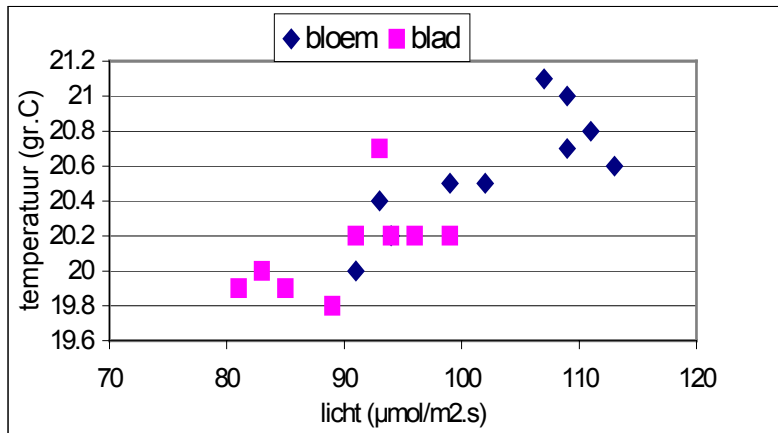
Vanaf dag 234 tot dag 259 (2002) is de temperatuur gevolgd van gerbera bloemen en blad met Heimann sensoren. Van de bloemen is zowel de harttemperatuur als de temperatuur van de lintbloemen gevolgd. Over het algemeen is de harttemperatuur gedurende de dag 0,5 tot 1°C hoger dan de temperatuur van de lintbloemen (figuur 3). De donkere kleur van het hart kan – door andere reflectie en absorptie - mogelijk de oorzaak zijn voor de hoger gemeten temperatuur van het hart in vergelijking met de lintbloemen. Midden op de dag kon de temperatuur van lintbloemen en m.n. het hart een aantal graden boven de bladtemperatuur uitkomen, waarschijnlijk doordat de verdamping van de bladeren de bladtemperatuur verlaagt.



Figuur 3 - Temperatuur lintbloem en hart van de bloem op dag 236, 2002

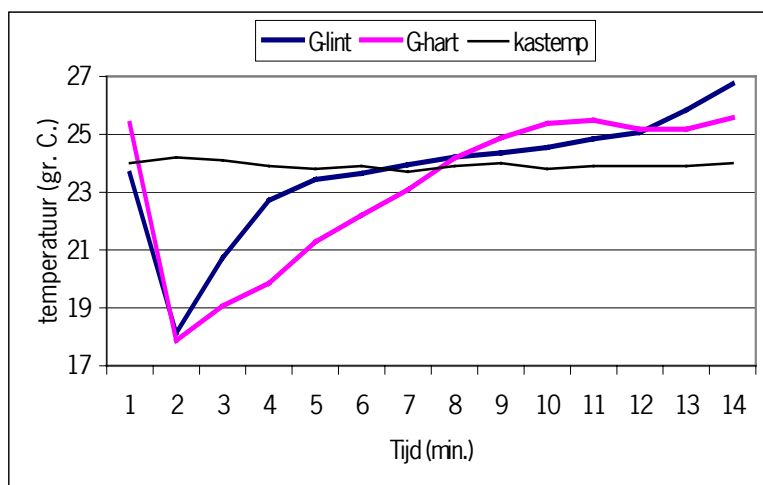
Naast de verdamping blijkt de lichtintensiteit van invloed op de gemeten temperatuur. Zo is op dag 336 handmatig de lichtintensiteit en de temperatuur van blad en bloem gemeten in een rij gerbera planten. De

metingen zijn uitgevoerd met assimilatie belichting aan. Er is een relatie tussen het lichtniveau en de temperatuur (figuur 4). Volgens dit verband zal een verhoging van de lichtintensiteit met b.v. 50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ op plantniveau (ca. 4500 lux) de blad- of bloemtemperatuur met 1.5°C verhogen.



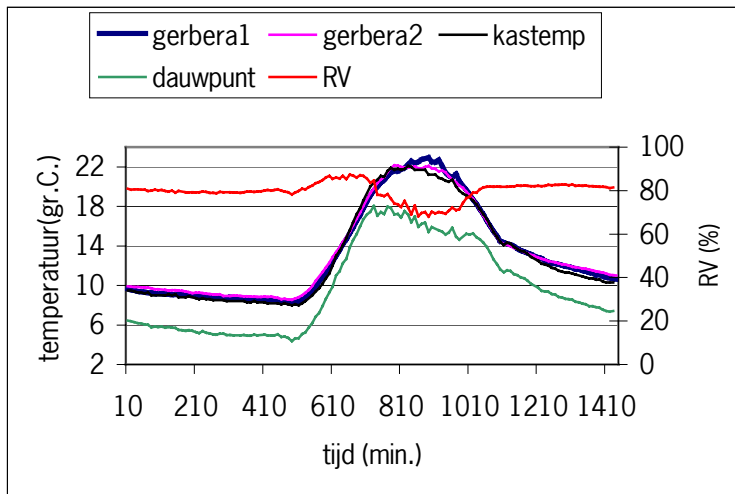
Figuur 4 - relatie tussen lichtniveau en temperatuur van gerberabl原因 resp. bloem op dag 336 om ca. 11 uur. De gemeenschappelijke relatie van blad- en bloemtemperatuur is : $\text{temperatuur} = 0.033 * \text{PAR} + 17.1$ ($r^2=0.70$).

Vanaf half september tot eind oktober 2002 is de snelheid van temperatuur veranderingen van bloemen als gevolg van veranderingen in kasttemperatuur verder onderzocht. De temperatuur veranderingen werden gesimuleerd door de bloemen gedurende 24 uur te koelen bij 15°C, waarna ze in een geïsoleerde doos direct overgebracht werden naar de kas (zie 2.2). Hier werd de temperatuur m.b.v. de Heimann sensoren gevolgd gedurende langere tijd. In circa 2½ minuut hebben de lintbloemen de temperatuur van de kas aangenomen, voor het hart van de bloem is hier circa 5 minuten voor nodig (figuur 5).



Figuur 5 - Snelheid van opwarming van gerberabloem (hart en lintbloem) op dag 267, 2002.

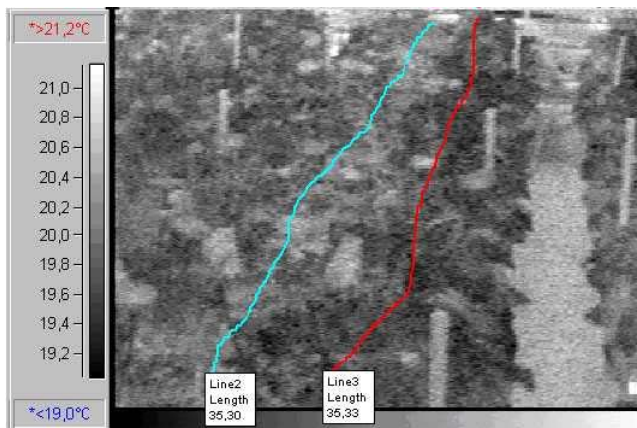
Vanaf dag 48 tot dag 55, 2003 zijn in een kas met sterk wisselende temperaturen temperatuuroptnamen gemaakt van gerbera (bloemhart). Hierbij bleek de verandering in kasttemperatuur goed gevolgd te kunnen worden door de temperatuur van de gerberabloemen. De dauwpunt temperatuur heeft onder deze omstandigheden niet de waarde van harttemperatuur bereikt, waardoor condensatie niet heeft kunnen optreden (figuur 6).



Figuur 6 - Temperatuur van twee harten van gerberabloemen gedurende etmaal (dag 52, 2003) in relatie tot kasttemperatuur en dauwpunt temperatuur.

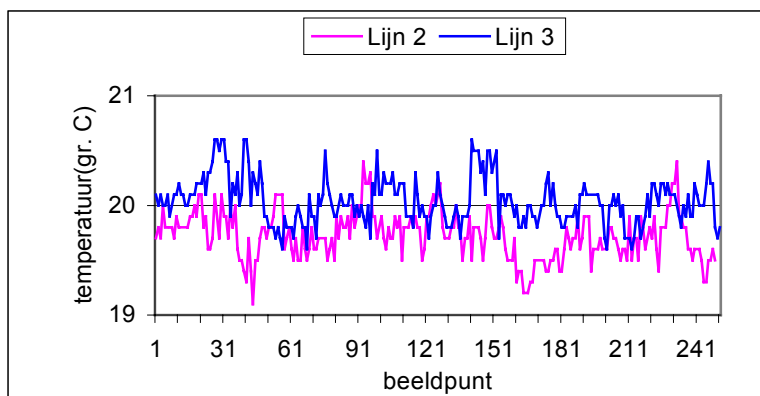
3.2.1.2 Thermografie

Op dag 336 zijn in de gerbera ook thermografieopnamen gemaakt om de verschillen in temperatuur binnen het gewas vast te leggen.



Opname 1 - Thermografieopname Gerbera kas in week 50.

Opname 1 geeft een overzicht van de gerberakas op dag 336. De temperatuur variatie, zoals aangegeven met de lijnen in opname 4, is weergegeven in figuur 7. Het maximale temperatuurverschil bleek onder deze omstandigheden ca. 1.3 °C. te bedragen; de standaardafwijking bedroeg voor beide lijnen 0.2°C.

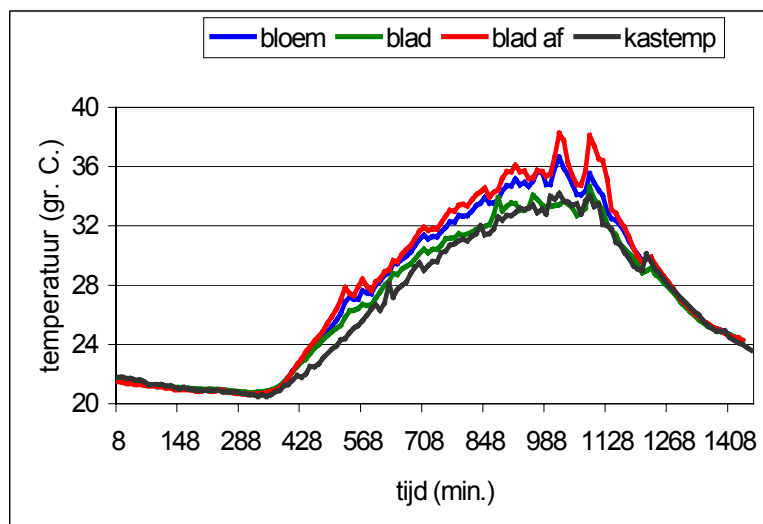


Figuur 7 - Variatie in temperatuur in gerbera zoals bepaald met thermografie op dag 336 2002.

3.2.2 Anthurium

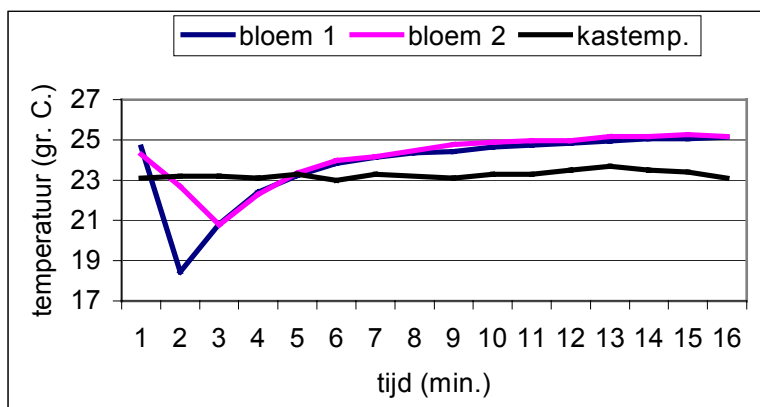
3.2.2.1 Puntmetingen

Vanaf dag 164 tot dag 304 (2002) is met thermokoppels de temperatuur gevolgd van blad en schutblad bij drie anthurium rassen 'Tropical', 'Acropolis' en 'Midori'. Daarnaast is de temperatuur gevolgd van afgesneden bladeren welke al dan niet op water stonden, om een indicatie van de invloed van verdamping van het blad op de bladtemperatuur te verkrijgen. De temperaturen van de afgesneden bladeren en het schutblad waren overdag circa 2 - 4 graden hoger (figuur 8) dan de bladeren aan de plant. Het effect van verdamping werd dus als een duidelijke temperatuurverlaging gemeten, maar was niet zodanig dat de bladtemperatuur onder de kasluchttemperatuur kwam, zoals dit bij gerbera het geval was.



Figuur 8- Temperatuur van schutblad van de bloem en van het blad van Anthurium in vergelijking met de kasluchttemperatuur op dag 209, 2002. Afgesneden blad (blad af) werden eveneens gemeten.

Vanaf dag 258 tot dag 304 2002 is de snelheid waarmee temperatuur verandering in de kas door de bloem gevolgd worden onderzocht. Het bleek dat in circa 5 tot 7 minuten de temperatuur van het schutblad van de anthuriumbloem boven de temperatuur van de kas kwam (figuur 9).



Figuur 9 - Snelheid van opwarming van 2 Anthuriumbloemen op dag 267, 2002

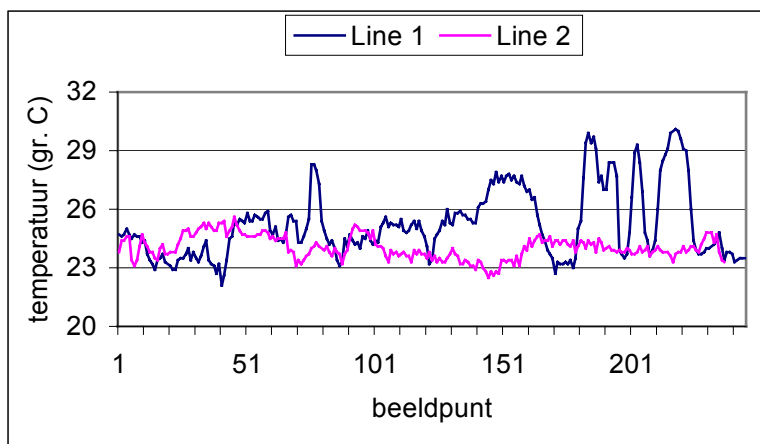
3.2.2.2 Thermografie

Met thermografie zijn in week 27 in de Anthuriums opnamen gemaakt om de verschillen in temperatuur tussen het gewas vast te leggen. Opname 2 geeft een overzicht van een pad tussen twee anthurium bedden. Een gedeelte van de bladeren wordt door zonlicht beschenen hetgeen resulteert in bladtemperaturen van 30°C.

Figuur 10 geeft de temperatuur verdeling van de aangegeven lijnen in opname 2 aan. De standaardafwijking bedroeg in lijn 1 en 2 resp. 1.8 en 0.6°C.



Opname 2. - Thermografieopname Anthurium kas in week 27.

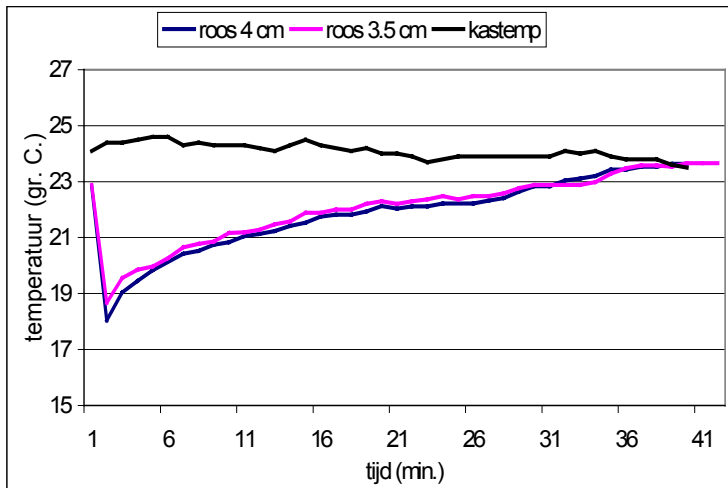


Figuur 10 - Variatie in temperatuur op lijnen opname 2 in Anthurium zoals bepaald met thermografie.

3.2.3 Roos

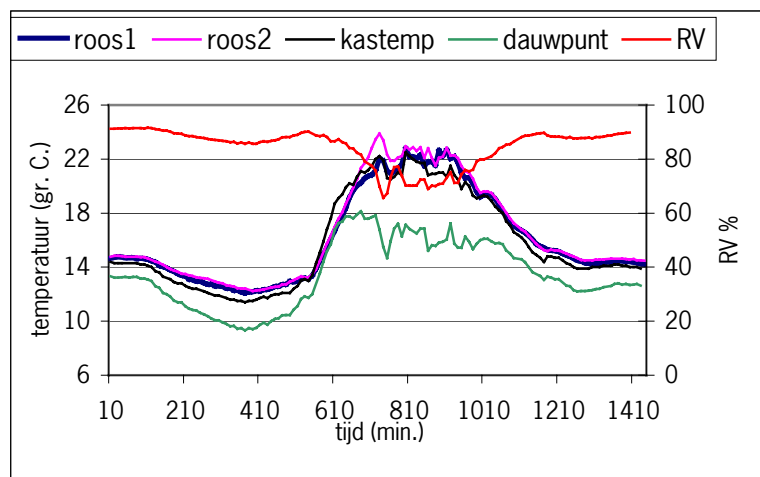
3.2.3.1 Puntmetingen

Vanaf dag 258 tot dag 304 2002 is de snelheid waarmee temperatuurveranderingen in de kas door de rozenknop worden gevolgd (zie 2.2). Het bleek ca. 30 minuten te duren voordat de omgevingstemperatuur werd aangenomen (figuur 11).



Figuur 11 - Snelheid van opwarming van 2 rozenknoppen aan kasttemperatuur op dag 270, 2002. De diameter van de knoppen was 3.5 resp. 4 cm.

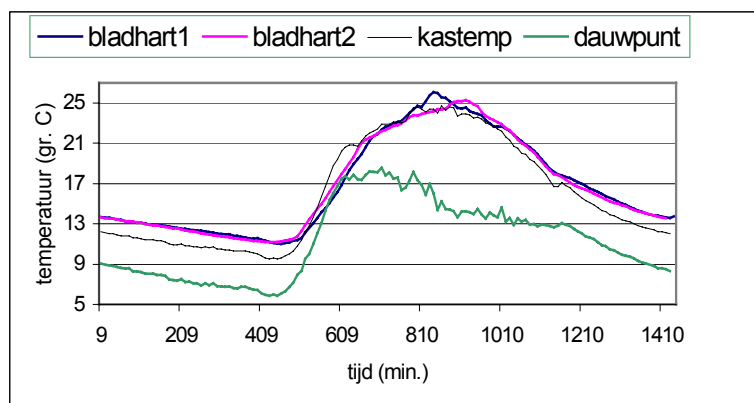
Vanaf dag 55 tot dag 61 2003 zijn in een kas waarbij de temperatuur in de nacht tot minimaal 8°C kon dalen met Heimann sensoren knoptemperaturen gevolgd. Onder deze omstandigheden kon rond 10 uur in de ochtend condensatie ontstaan op de bloemknop, daar de berekende dauwpunt temperatuur gelijk aan de bloemknoptemperatuur was (figuur 12).



Figuur 12 -Temperatuur rozenknoppen gedurende etmaal (dag 59, 2003) met kasttemperatuur en dauwpunt temperatuur.

3.2.4 Amaryllis

Vanaf dag 62 tot dag 75 2003 zijn in een kas waarbij de temperatuur in de nacht tot minimaal 8°C kon dalen met Heimann sensoren de temperaturen van 2 harten van Amaryllis gevolgd. Deze plaats was gekozen omdat deze plaats een invalpoort kan zijn voor Botrytis op de resten van geogste bloemstelen. Onder deze omstandigheden kon rond 10 uur in de ochtend condensatie ontstaan, daar de berekende dauwpunt temperatuur gelijk aan de bloemknoptemperatuur was (figuur 13).

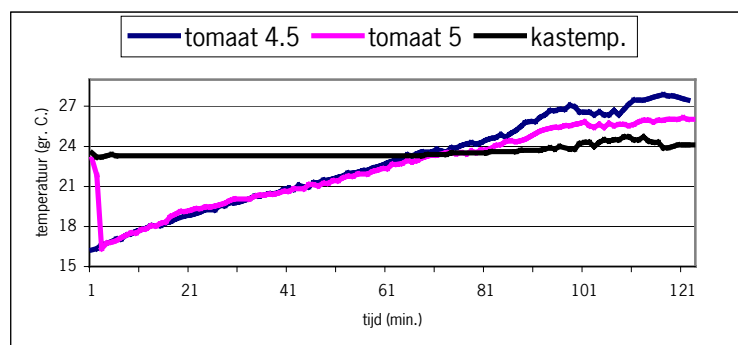


Figuur 13 - Temperatuur hart Amaryllis gedurende etmaal (dag 75, 2003) met kasttemperatuur en dauwpunt temperatuur.

3.2.5 Tomaat

3.2.5.1 Puntmetingen

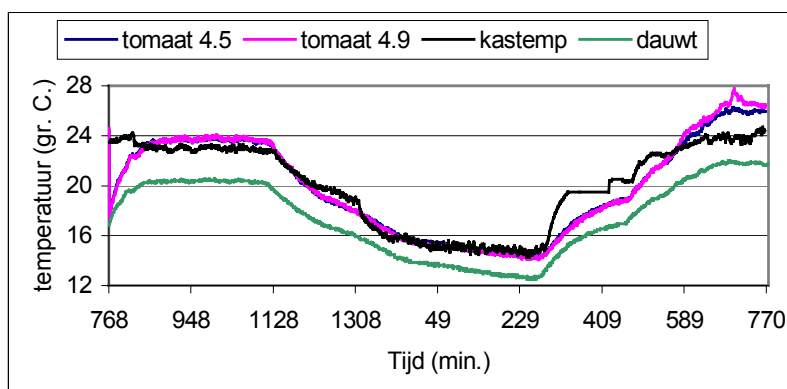
Vanaf dag 258 tot dag 304 (2002) is er gekeken naar de snelheid waarmee temperatuur verandering in de kas door vruchtgroenten wordt overgenomen. De temperatuur veranderingen werden gesimuleerd door de bloemen gedurende 24 uur te koelen bij 15°C, waarna ze in een geïsoleerde doos direct overgebracht werden naar de kas. Hier werd de temperatuur m.b.v. de Heimann sensoren gevolg gedurende langere tijd. In circa 60 minuten heeft de vrucht van een tomaat de temperatuur van de kas aangenomen (figuur 14).



Figuur 14 -Snelheid van opwarming van 2 tomaten aan kasttemperatuur op dag 266, 2002. De diameter van de tomaten was 4.5 resp. 5 cm.

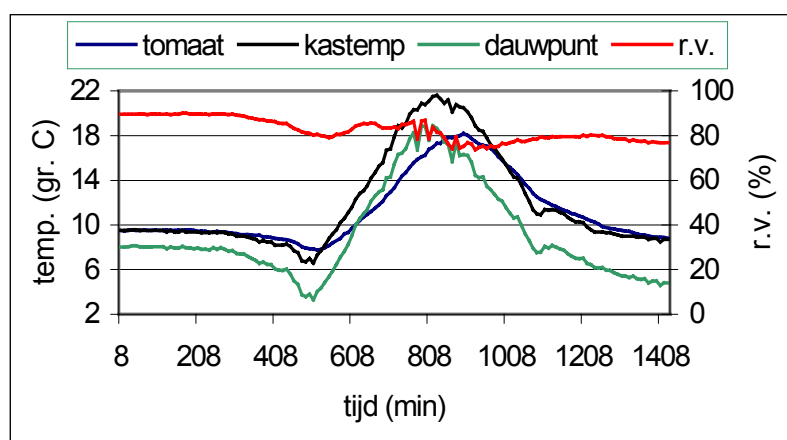
Gedurende 24 uur is de temperatuur van tomaten gevolgd met de Heimann sensoren en vergeleken met de

kastemperatuur en de berekende dauwpunt temperatuur gedurende die 24 uur. Figuur 15 laat zien dat de snelheid van opwarmen van de tomaten duidelijk achterbleef bij de kastemperatuur.



Figuur 15 - Temperatuur vrucht tomat (diameter 4.5 of 4.9 cm) gedurende etmaal (dag 276/277, 2002) met kastemperatuur en dauwpunt temperatuur.

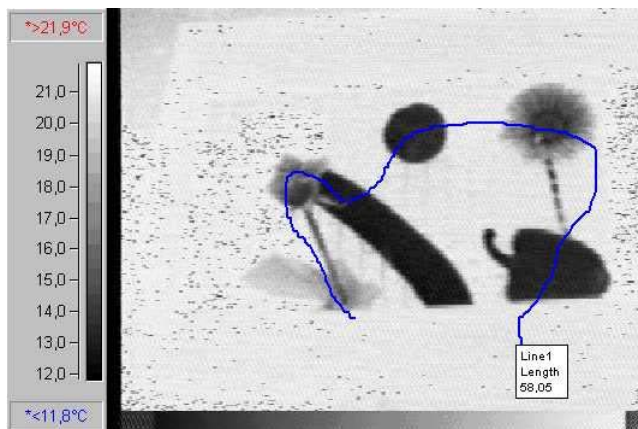
Vanaf dag 32 tot dag 48, 2003 is de temperatuur gevolgd met Heimann sensoren van tomaten in een kas waar de temperatuur als gevolg van temperatuurintegratie tot 8 graden kon dalen. Onder deze specifieke omstandigheden bleef de vruchttemperatuur vanaf ca. 10 uur gedurende enkele uren onder de dauwpunt temperatuur (figuur 16). Het maximale verschil tussen vruchttemperatuur en kasluchttemperatuur bedroeg ca. 4°C.



Figuur 16 - Temperatuur tomat gedurende een etmaal (dag 47, 2003) in vergelijking met de kastemperatuur en de dauwpunt temperatuur.

3.3 Thermografie om opwarmingsnelheid te bepalen.

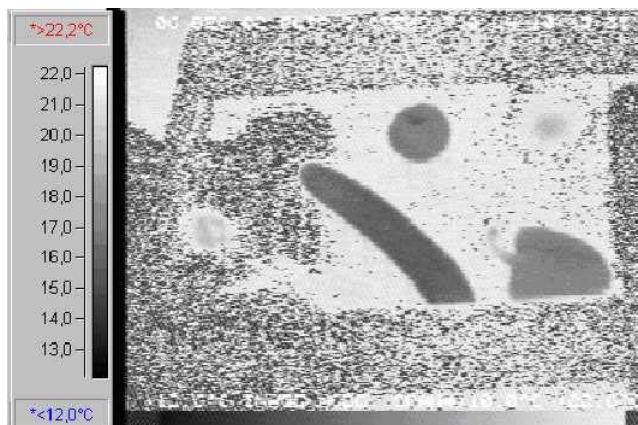
Op dag 339, 2002 zijn met behulp van thermografie opnamen gemaakt van roos, gerbera, komkommer, paprika en tomaat (zie 2.3). Opnamen 3 tot 7 geven het verloop van de temperaturen. Uit deze opnamen blijkt dat gerbera en de roos de temperatuur aan de omgevingstemperatuur aangepast hebben na 15-30 minuten, terwijl bij tomaat en de paprika dit tussen de 1 en 2 uur duurt. De aanpassing van de komkommer aan de omgevingstemperatuur duurt nog langer dan 2 uur.



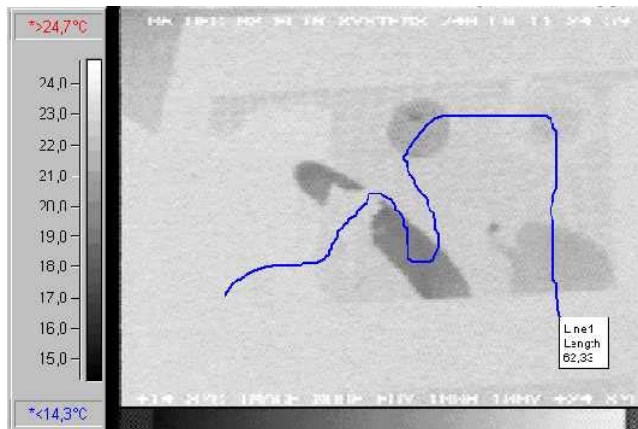
Opname 3 - Thermografieopname van roos, gerbera, tomaat, komkommer en paprika in klimaatcel van 20°C direct na plaatsing vanuit 15°C.



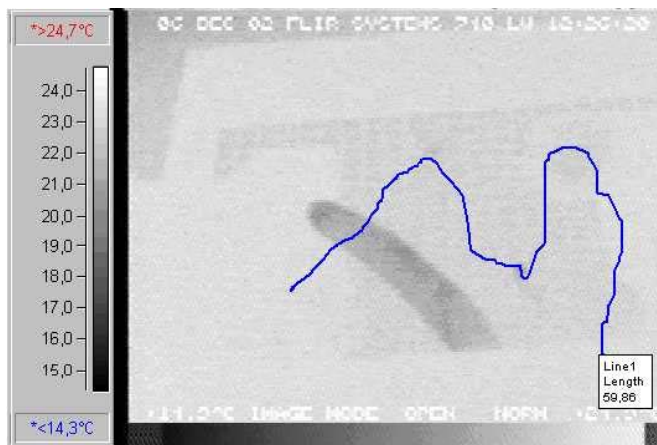
Opname 4 - Thermografieopname als opname 3 na 5 minuten



Opname 5 - Thermografieopname als opname 3 na 15 minuten



Opname 6 - Thermografieopname als opname 3 na 1 uur



Opname 7 - Thermografieopname als opname 3 na 2 uur en 10 minuten

4 Discussie

4.1 Betrouwbaarheid sensoren

Een uitgebreid onderzoek naar de betrouwbaarheid van de verschillende typen sensoren viel buiten de doelstelling en het bestek van dit project. Toch kan worden gesteld dat onder omstandigheden waarin geen directe zonneinstraling op de meetobjecten plaats vindt een redelijk goede overeenstemming (afwijking max. 1.0°C) tussen de verschillende sensoren gevonden werd. Onder omstandigheden met directe instraling overdag konden echter grotere verschillen optreden, die mogelijk verband hielden met een veranderde emissiefactor, schaduwwerking van de sensor, of sensoreigenschappen.

Een ander type betrouwbaarheid hangt samen met het gebruik van de IR sensoren en is bij gebruik in de praktijk vaak moeilijk te toetsen. Omdat het meetveld op afstand van de sensor ligt, zal regelmatige controle vereist zijn om er zeker van te zijn dat wat gemeten wordt, ook werkelijk bedoeld is als meetobject. Met name bij de meting van grotere eenheden (enkele m²) is het risico aanwezig dat ook objecten tussen de plantedelen gemeten worden. Met andere woorden, de naloop van de sensoren is – afhankelijk van het gebruik en het gewas – groot (1-7 dagen) om gegarandeerd te zijn van betrouwbare metingen. Mogelijk dat in de toekomst het gebruik van thermografie tot de mogelijkheden behoort op praktijkbedrijven, waardoor wel duidelijk is welke objecten gemeten worden.

4.2 Plaatselijke verschillen in gewastemperatuur

Op verschillende manieren is de plaatselijke variatie die kan optreden bij het bepalen van gewastemperatuur met infraroodmetingen onderzocht.

De pleksgewijze variatie is onderzocht door te meten met een infrarood (IR) handmeter bij roos (3.1) en gerbera (3.2.1), met 8 IR sensoren bij gerbera (3.1), en met behulp van thermografie bij gerbera (3.2.1) en Anthurium (3.2.2).

Uit de gegevens blijkt dat de variatie overdag en in de nacht niet gelijk is. In de nacht, bij afwezigheid van directe instraling, is de variatie relatief gering. De variatie kan echter sterk toenemen onder invloed van directe zoninstraling, zoals geïllustreerd door figuur 1 en opname 2. De bruikbaarheid van een enkele IR sensor lijkt daarom beperkt te zijn onder omstandigheden van directe zonneinstraling, zelfs indien grotere oppervlakten gemeten worden.

Met thermografie werden standaardafwijkingen tussen de 0.2 (gerbera) en 0.6-1.6°C (anthurium) gemeten. In droogteproeven met chrysanthe (in direct zonlicht) werd een standaardafwijking van 0.4-1.1°C gevonden (Baas et al 2002). Dit betekende dat voor chrysanthe - afhankelijk van de gewenste nauwkeurigheid - een gemiddelde met een betrouwbaarheid van 0.5-1°C te schatten is met 4 tot maximaal 62 meetpunten (Miller 1971).

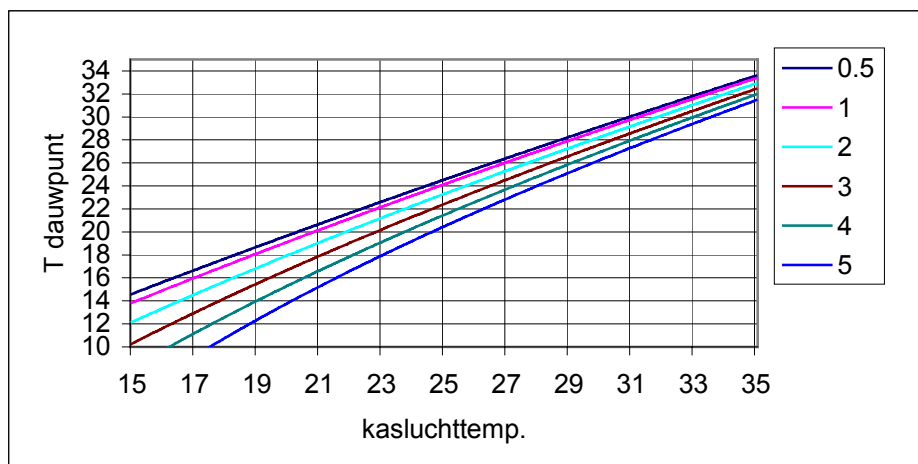
Onder omstandigheden waarbij directe instraling niet aanwezig was zoals in figuur 2, werden maximale verschillen van 2°C tussen rozenknoppen gemeten. Er bleek een duidelijke gradiënt in de kas aanwezig te zijn. Onder praktijkomstandigheden worden echter verschillen tot 5-7°C gemeten. Deze horizontale temperatuurgradiënten hebben gevolgen indien planttemperatuur als indicator voor condensatierisico gebruikt zou worden. Om de 'worst case scenario' te meten zal meting op plekken moeten gebeuren met de laagste temperaturen.

4.3 Snelheid van temperatuurveranderingen plantendelen in relatie tot condensatie

Condensatie op plantendelen kan optreden indien bij snelle opwarming van de kas de temperatuur van de

plantdelen achterblijft. In figuur 16 is de relatie tussen kasluchttemperatuur en dauwpunttemperatuur bij verschillende vochtdeficieten weergegeven. Uiteraard is het condensatierisico afhankelijk van het vochtdeficiet in de kas. Zo is in de figuur te zien dat bij 19°C de dauwpunttemperatuur bij een vochtdeficiet van 0.5 g/kg 18.3°C is en bij 4 g/kg 14°C. Een verlaging van het vochtdeficiet in de ochtend als gevolg van een beginnende verdamping heeft dan een verhoging van de dauwpunttemperatuur tot gevolg. Het komt in de praktijk regelmatig voor dat het dauwpunt 's morgens binnen een uur 4-6°C stijgt.

Het vochtdeficiet in de kas heeft uiteraard grote gevolgen voor de tolerantie die is toegestaan in de snelheid van temperatuurveranderingen van plantdelen en van kasluchttemperatuur.



Figuur 16 – Relatie tussen kasluchttemperatuur en dauwpunttemperatuur bij verschillend vochtdeficiet (g/kg).

N.b. de relatieve luchtvochtigheid bij b.v. 19°C is voor de vochtdeficieten 0.5, 1, 2, 3, 4, 5 g/kg (overeenkomend met 0.5, 1.15, 2.3, 3.45, 4.6 en 5.75 g/m³), resp. 96, 93, 85, 78, 71, 63%, en bij 24°C resp. 97, 95, 90, 88, 84, 73%.

Bij de tijdsduur voor opwarming van elementen (b.v. thermometers) wordt vaak gebruik gemaakt van de zogenaamde thermische tijdconstante. Dit is de tijd die nodig is om 63% van het aangelegde temperatuurverschil te overbruggen, en is afgeleid uit het asymptotische gedrag van temperatuurverandering van materialen na een plotselinge temperatuurverandering van de omgeving. Dus wanneer er een temperatuurverschil wordt aangelegd van 17 naar 21°C is de thermische tijdconstante de benodigde tijd om van 17 tot 19.52°C te geraken. Uit de figuren 5, 9, 11 en 13 worden de thermische tijdconstante voor gerbera hart op 4-5 minuten, gerbera lintbloem 2 minuten, Anthurium 3 minuten, roos 14 minuten en tomaat 44 minuten gevonden (tabel 1).

Een iets andere manier om de gewassen c.q. organen te vergelijken is door de opwarmingssnelheid lineair te veronderstellen. Hierdoor is het eenvoudiger de data verkregen onder natuurlijke kasomstandigheden te vergelijken met de data verkregen na koeling: in tabel 1 worden de maximale (c.q. potentiële) snelheid zoals bepaald na kunstmatige koeling van de gewassen, en de maximale opwarmingssnelheid zoals gemeten in een etmaal onder kasomstandigheden weer gegeven.

De gegevens met thermografie verkregen (opname 3-7) zijn moeilijker te kwantificeren, maar worden geschat op 0.33°C/min (gerbera, roos), 0.04-0.08°C/min (tomaat, paprika) en < 0.04°C/min (komkommer). De potentiële opwarmingssnelheid in de kas was derhalve groter dan met thermografie bepaald in de klimaatkamer. De mogelijke aanwezigheid van directe instraling in de kas met een sterkere opwarming tot gevolg zou een verklaring voor dit verschil kunnen zijn.

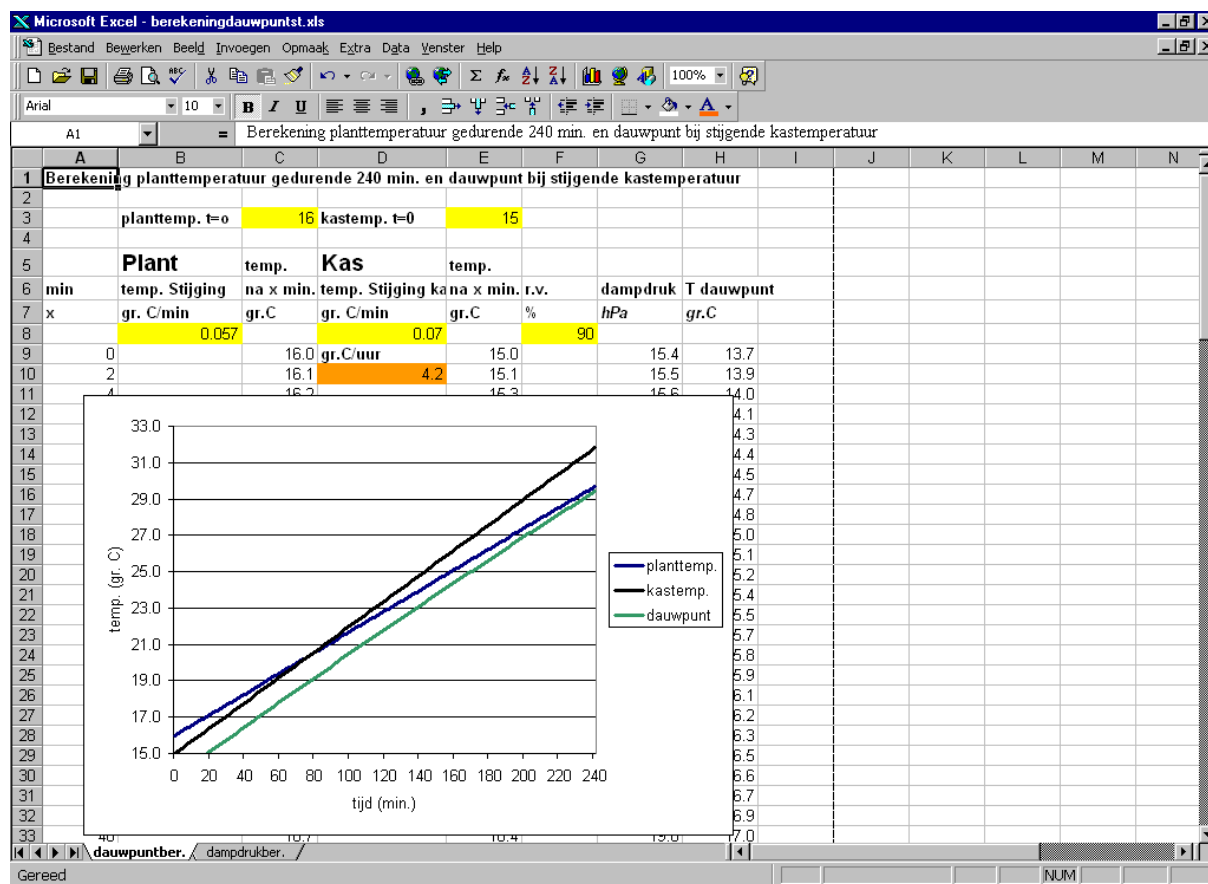
Zowel uit de resultaten verkregen met sensoren als met thermografie blijkt het verschil in opwarmingssnelheid tussen de organen, en de gewassen. Niet verwonderlijk is de grootste 'traagheid' te vinden bij de organen met het grootste volume. Met name speelt dit bij de vruchtgroenten tomaat, paprika en komkommer en bij Amaryllis. Bij modelberekeningen om de vruchttemperatuur te berekenen wordt dan ook de vruchtdiameter c.q. vruchtvolume als invoergrootte gebruikt om de conductieve warmteoverdracht te berekenen (Akchar 1998).

Gewas / plantendeel	Na koeling: Thermische tijdconstante	na koeling: max. temp.stijging plantendeel	in kas: max. temp. Stijging plantendeel	in kas: max. stijging kasluchttemp.	verschil in max. stijging van temp. kaslucht en temp. Plantendeel
	<i>Minuten</i>	<i>°C / minuut</i>	<i>° C / minuut</i>	<i>° C / minuut</i>	<i>%</i>
Gerbera/ blad			0.077	0.073	-5
Gerbera/ bloemhart	4-5	0.86	0.049	0.053	8
Gerbera/ lintbloem	2	1.5			
Anthurium/ blad			0.032	0.028	-14
Anthurium/ bloem	3	1.83	0.038	0.028	-36
Roos/ knop (diam. 3.5-4 cm)	14	0.45	0.057	0.070	19
Amaryllis/ hart	n.v.t.	n.v.t.	0.057	0.080	29
Tomaat/ vrucht (diam. 4.5-5 cm)	44	0.1	0.037	0.078	53

Tabel 1. Berekende thermische tijdconstanten en opwarmingssnelheid van organen bij verschillende gewassen onder artificiële koelomstandigheden (zie 2.2) en onder kasomstandigheden.

Ten aanzien van blad en schutblad van anthurium blijkt de snelheid van opwarming vergelijkbaar met (of zelfs groter dan) de opwarmingssnelheid van de kaslucht te zijn. Risico van condensatie op bladeren of Anthuriumbloemen lijkt dan ook uitgesloten. Hetzelfde geldt voor gerberabladeren en lintbloemen van gerbera. Het ontstaan van Botrytis op de lintbloemen bij gerbera (bij luchtvochtigheid > 95%) is dan ook waarschijnlijk eerder te verklaren uit horizontale verschillen in luchtvochtigheid binnen een kas of wisselende omstandigheden tijdens de na oogstfase dan uit een vertraagde opwarming van de bloemen bij opwarming van de kas.

Met de gegevens uit tabel 1 is te berekenen wanneer de orgaantemperatuur de dauwpunt temperatuur bereikt. De in te voeren variabelen hierbij zijn de opwarmingssnelheid van het orgaan en de kas, de luchtvochtigheid in de kas, en de temperatuur van orgaan en kas op het tijdstip dat de temperatuurstijging gaat plaats vinden (figuur 17). Wanneer de gegevens uit tabel 1 hierin ingevoerd worden blijkt bij voorbeeld dat condensatie beneden een r.v. van 85% bij roos en gerbera niet snel zal plaats vinden.



Figuur 17. Voorbeeld van berekening van planttemperatuur en dauwpunt uitgaande van R.V. en kastemperatuurstijging .

4.4 Gebruik planttemperatuurmeting in klimaatregeling?

In dit verslag is met name onderzocht of de planttemperatuur als indicator voor het optreden van condensatie of 'nat slaan' gebruikt zou kunnen worden. Andere mogelijkheden voor wat betreft de planttemperatuurmeting als stressindicator of als schatter van de verdamping zijn in een ander verslag beschreven (Baas e.a. 2002).

Het is gebleken dat de snelheid van opwarming van verschillende plantenonderdelen c.q. gewassen verschilt. Met name voor de vruchtgroentegewassen bleek de opwarmingssnelheid dusdanig laag te zijn, dat condensatie onder bepaalde omstandigheden kan optreden. De vraag is, wat de meerwaarde kan zijn van een meting van de planttemperatuur, indien de relatie tussen kastemperatuur en planttemperatuur bekend is. Deze relatie kan ingebracht worden als modelberekening, waardoor de temperatuur van plantendelen geschat kan worden.

Op de koudste plekken in de kas zal, indien de gewastemperatuur de kasluchttemperatuur heeft aangenomen, de dauwpuntstemperatuur ook lager zijn (Figuur 16)., waardoor condensatie daar ook niet hoeft op te treden. Echter, meting van de kasluchttemperatuur en de luchtvochtigheid gebeurt in de (geventileerde) meetbox. Bij het beginnen van de verdamping in de vroege ochtend, zal de luchtvochtigheid in de kas hoger worden, waardoor het dauwpunt zal stijgen. Condensatie zal dan dus plaats kunnen vinden op de koude plaatsen indien hier onvoldoende rekening mee wordt gehouden.

De vraag is wel of een – relatief dure - planttemperatuurmeter noodzakelijk is om de koude plekken in de kas op te sporen c.q. te volgen met de mogelijke meetfouten die kunnen optreden (b.v. onvoldoende zicht op meetveld van sensor, aanwezigheid verwarmingsbuizen). Metingen met relatief goedkope sensoren

hebben ook grote temperatuurverschillen binnen praktijkkassen aangetoond (Vrieze 2002). Om de vertragende eigenschappen van langzaam opwarmende vruchten na te bootsen kunnen mogelijk 'kunstvruchten' met vergelijkbare thermische eigenschappen gemeten worden. Voordeel hiervan kan een geringere prijs en naloop zijn.

5 Samenvatting

Onderzocht is in hoeverre het gebruik van planttemperatuur relevante informatie kan leveren die uiteindelijk in een kasklimaatregeling gebruikt zou kunnen worden. Hiertoe zijn temperatuurmetingen uitgevoerd om de optredende plaatselijke en tijdelijke variatie binnen een kas te bepalen. Naast metingen met thermokoppels en infraroodsensoren, zijn met een infraroodscanner thermografische beelden gemaakt.

De plaatselijke variatie was met name gering onder omstandigheden waarbij directe zonneinstraling afwezig was. Meting onder omstandigheden zonder directe instraling komt de representativiteit van planttemperatuurmetingen daarom ten goede.

De bladtemperatuur was lager dan de bloemtemperatuur bij gerbera en Anthurium, en was in het algemeen ook lager dan de kasluchttemperatuur. Naast invloed van de verdamping speelde de nabijheid van assimilatielampen hierbij een rol: een verhoging van de lichtintensiteit met $50 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ (ca. 4500 lux) verhoogde bij gerbera de blad- of bloemtemperatuur met ca. $1.5 \text{ }^\circ\text{C}$.

Condensatie op plantedelen kan voorkomen indien de planttemperatuur af gaat wijken (lager is) van de kasluchttemperatuur en beneden het dauwpunt komt. Het risico wordt bepaald door het vochtdeficiet in de kaslucht, en de snelheid waarmee plantedelen zich aanpassen aan een veranderde kasluchttemperatuur. Deze snelheid van temperatuuraanpassing van plantedelen is op verschillende manieren gemeten bij een aantal gewassen c.q. organen. Bij gerberabloemen, anthuriumbloemen, rozenknopen en tomaten is de oppervlaktetemperatuur na een plotselinge temperatuurverhoging (na koeling) gemeten. Met behulp van thermografie is dit ook uitgevoerd bij gerbera, roos, tomaat, paprika en komkommer. Daarnaast is onder (redelijk extreme) kasomstandigheden continu het temperatuurverloop gevolgd in relatie tot de kasluchttemperatuur bij gerberabloem, anthurium, roos, amaryllis en tomaat. Het bleek dat de temperatuur van bladeren van gerbera en anthurium, en van bloemen van anthurium dusdanig snel veranderden als gevolg van temperatuurveranderingen in de kaslucht, dat condensatie als gevolg van vertraging in de opwarming onder normale omstandigheden vermoedelijk geen rol zal spelen. Hetzelfde geldt voor de lintbloemen van gerbera. Hoge luchtvochtigheden ($>95\%$) als gevolg van horizontale verschillen in kastemperatuur, waardoor b.v. Botrytis kan optreden kunnen uiteraard wel optreden binnen een kas. De vruchtgroenten (met het grootste volume) en het hart van amaryllis bleken wel vertraagd op veranderingen in temperatuur te reageren, waardoor de temperatuur in de ochtend onder de dauwpunttemperatuur kon komen.

Ten aanzien van regeling op planttemperatuur met het oog op condensatieproblematiek lijken de voordelen van directe metingen boven modelinschattingen beperkt te zijn. Gezien de bewerkelijkheid van plantmetingen m.b.t. naloop van de sensoren op juiste werking en instelling, lijken modelberekeningen c.q. metingen met 'kunstvruchten' een alternatief onder praktijkomstandigheden voor directe plantmetingen met infraroodsensoren.

6 Literatuur

- Akchar B 1998. Voorkomen van condensatie op kasgewassen door regeling op dauwpuntstemperatuur (stageverslag PBG)
- Baas R, Eveleens B, Warmenhoven M, Wurff T van der 2002. Bladtemperatuur in relatie tot de vochtvoorziening en klimaat bij chrysanth, Impatiens, Spathiphyllum, Anthurium, gerbera en roos. PPO rapport 557.
- Faust JE, Heins RD 1998. Modeling shoot-tip temperature in the greenhouse environment. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 123(2): 208-214.
- Lambers H, Stuart Chapin F, Pons TL 1998. *Plant physiological ecology*. ISBN 0-387-98326-0 Springer-Verlag
- Miller, P.C. 1971. Sampling to estimate leaf temperatures and transpiration rates in vegetation canopies. *Ecology* 52: 885-889.
- Shimizu H, Heins RD 2002. Prediction of plant shoot-tip temperature on a Penman-Monteith model. *Acta Hort.* 580: 169-176.
- Vrieze L. 2002. De kastemperatuur kan nog veel gelijkmatiger. *Vakblad Bloemisterij* 16: 40-41.
- Wolff P 1998. Using infrared-thermometry for the assessment of the water supply of crops under field conditions – a literature review. *Zeitschr. Für Bewässerungswirtschaft.* 33: 69-85.