



Bladtemperatuur in relatie tot de vochtvoorziening en klimaat bij chrysan- t, Impatiens, Spathiphyllum, Anthurium, gerbera en roos

Rob Baas

Projectnummer 425168, 420048

© 2002 Wageningen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, 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 is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

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

Dit onderzoek werd gefinancierd door het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Sector Glastuinbouw

Adres : Linnaeuslaan 2a
: 1431 JV Aalsmeer
Tel. : 0297 – 352525
Fax : 0297 – 352270
E-mail : info@ppo.dlo.nl
Internet : www.ppo.dlo.nl

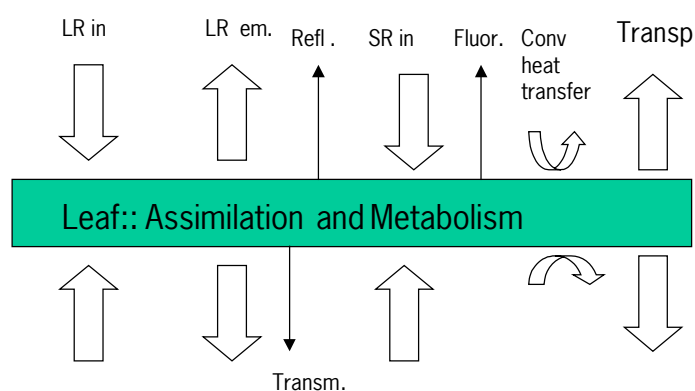
1	Inleiding.....	6
	Energiebalans bladeren	6
	Relatie tussen bladtemperatuur en waterstatus	7
	Planttemperatuur metingen	8
	Telerservaringen en mogelijkheden in de Glastuinbouw	9
	Doel onderzoek	10
2	Materialen en methoden.....	11
2.1.	Kasinrichting en gebruikte apparatuur	11
2.2.	Chrysant.....	12
2.3.	Impatiens nieuw-Guinea	12
2.4.	Spathiphyllum.....	13
2.5.	Gerbera.....	13
2.6.	Anthurium	14
2.7.	Roos	14
3	Resultaten	15
3.1	Chrysant.....	15
3.1.1	Variatie tussen planten	15
3.1.2	Oogstwaarnemingen	15
3.1.3	On-line metingen	18
3.2	Impatiens nieuw-Guinea	18
3.2.1	Variatie binnen/tussen planten	18
3.2.2	Oogstwaarnemingen	18
3.2.3	Relaties oogstwaarnemingen	21
3.2.4	On-line metingen	22
3.3	Spathiphyllum.....	23
3.4	Gerbera.....	24
3.5	Anthurium	28
3.6	Roos	28
4	Discussie.....	30
	Betrouwbaarheid sensoren	30
	Noodzakelijk aantal metingen	30
	Planttemperatuur als stressindicator en stressdiagnostische parameter	30
	Planttemperatuur als schatter verdamping.....	31
	Planttemperatuur als schatter condensatierisico.....	32
	Planttemperatuur als indicator ontwikkelingsprocessen	32
5	Gebruikte Literatuur	33
6	Samenvatting.....	34

1 Inleiding

De laatste jaren is er een hernieuwde belangstelling voor het meten van planttemperaturen in de tuinbouw ontstaan. Dit heeft zowel te maken met de beschikbaarheid van betere en goedkopere infraroodmeters als met een groeiende belangstelling voor monitoring van plant- en omgevingsparameters met commercieel beschikbare systemen.

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). Lambers et al 1998). 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 emissie, convectie warmtetransport (C) en transpiratie (λE). Emissie gebeurt via langgolvlige infrarood straling (long-wave radiation LR: golflengte ca. 2000-20000nm). Convectie warmtetransport (C) gebeurt door molecuultransport in de richting van de temperatuur gradiënt door middel van luchtbeveging.

De warmtebalans wordt wel geschreven als:

$$SR_{\text{net}} + LR_{\text{net}} + C + \lambda E = 0 \text{ (zie figuur 1)}$$

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 knoppen 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.

De componenten convectie warmtetransport (Eng: sensible heat flux) en transpiratie (latent heat flux) kunnen beschreven worden met formules waarin de bladtemperatuur voorkomt. Zo wordt de convectie afhankelijk gesteld van het verschil tussen blad en omgevingstemperatuur en de grenslaaggeleidbaarheid voor warmteoverdracht (g_{ah}), die op zich proportioneel gerelateerd is aan de diffusieweerstand voor CO_2 en H_2O :

$$C = g_{\text{ah}} * (T_l - T_a)$$

De grenslaaggeleidbaarheid (boundary layer conductance) heeft invloed op g_{ah} middels de factoren windsnelheid en bladdimensie.

Warmte transport d.m.v. transpiratie is het gevolg van de energiebehoefte voor verdamping van water. Transpiratie hangt af van de bladgeleidbaarheid voor waterdamp g_w , (welke bepaald wordt door de geleidbaarheid van de stomata (g_s) en van de grenslaaggeleidbaarheid (g_a)) en het vochtdeficiet tussen blad en lucht ($e_r - e_a$). Deze laatste is weer afhankelijk van de bladtemperatuur en de absolute luchtvochtigheid:

$$\lambda E = \lambda * g_w (e_r - e_a)$$

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 warmtetransport geringer wordt (Lambers 1998). Afhankelijk van de componenten van de warmtebalans kan de bladtemperatuur juist hoger dan wel lager dan de omgevingstemperatuur zijn. Zo worden bij gewassen onder natuurlijke omstandigheden vaak juist hogere bladtemperaturen gemeten dan omgevingstemperatuur, omdat de verdamping in vergelijking met tuinbouwkundige of akkerbouwgewassen geringer is. Het is –gezien bovenstaande - te verwachten dat door de verscheidenheid in tuinbouwkundige gewassen (vruchtgroenten, snijbloemen, potplanten) de absolute waarden van gerealiseerde planttemperaturen onder uniforme teeltomstandigheden zal verschillen (m.a.w. de planttemperatuur van een tomaat en een Ficus geteeld onder gelijke omstandigheden zal kunnen 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 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.

Relatie tussen bladtemperatuur en waterstatus

De temperatuur van een blad wordt sterk beïnvloed door de transpiratie. Er is gevonden dat 42-60% van de stralingsenergie voor verdamping verbruikt werd (Guenther 1989). Wanneer de transpiratie door wat dan ook beperkt wordt, bouwt zich een warmtegradiënt op, die alleen door convectie en warmtestraling (LR emissie) afgevoerd kan worden. Deze warmtestraling kan met de IR meter gemeten worden. De ontstane blad- of planttemperatuur wordt in de literatuur vaak vergeleken met de omgevings-, of luchttemperatuur. Op deze manier zijn vaak lineaire verbanden aangetoond tussen de verdamping en het verschil blad-luchttemperatuur ΔT (Wolff 1998). Steiner et al. (1985) formuleerde aan de hand van de warmtebalans de relatie als volgt:

$$\lambda ET = (R_N - G) + f(u) * \Delta T$$

waarin:

R_N : nettostraling

G: bodemwarmteflux

$f(u)$: coëfficiënt als functie van windsnelheid. M.a.w. de verdamping is groter wanneer instraling, windsnelheid of ΔT hoger zijn. In ander onderzoek is niet zozeer een verband gelegd tussen de instraling en ΔT , maar tussen het vochtdeficiet en ΔT .

Dit is de basis geweest voor het concept crop water status index CWSI (Idso 1981, Jackson 1981), waarbij voor verschillende (akkerbouw)gewassen de relatie tussen VPD en ΔT voor planten bekend verondersteld wordt onder stress en niet-gestreste omstandigheden. De CWSI wordt berekend als:

$$CWSI = (T_c - T_{cl}) / (T_b - T_{cl}) \quad \text{met } 0 < CWSI < 1 \quad (\text{figuur 2})$$

Waarbij:

T_c : canopy temperature, de actuele planttemperatuur

T_{cl} : lower limiting canopy temperature, de planttemperatuur onder niet-gestreste omstandigheden

T_b : upper limiting canopy temperature, de planttemperatuur onder volledig gestreste omstandigheden.

Deze benadering is voor akkerbouwgewassen in semi-aride gebieden een hulpmiddel om irrigatietijdstippen te bepalen. Probleem bij deze benadering is dat aan de betrouwbaarheid van de relaties te twijfelen valt.

Jackson et al (1977) gebruiken een aanpassing van dit concept met de zgn. stress degree days index

(SDD), waarbij irrigatie plaats vindt bij een bepaalde waarde.

Een andere benadering is die van de canopy temperature variability (CTV; Blad et al 1981, Clawson en Blad 1982), waarbij de variatie binnen een proefveld wordt bepaald. Irrigatie zal dan moeten plaats vinden wanneer de variatie in temperatuur boven een kritische waarde komt. Uitgangspunt is dat droogtestress niet tegelijkertijd bij alle planten in een bestand optreedt, waardoor variatie in bladtemperaturen kan optreden.

Planttemperatuur metingen

Er zijn verschillende manieren om de planttemperatuur te meten. Meestal worden metingen uitgevoerd met thermokoppels of met infrarood detectors.

Bij de meting met thermokoppels wordt gebruik gemaakt van de eigenschap dat een potentiaalverschil ontstaat bij temperatuurverschillen tussen meetpunt en referentiepunt bij gebruik van bepaalde typen metalen die op een 'junction' met elkaar verbonden zijn. De bekendste thermokoppels zijn van het zogenaamde K-type, waarbij chromel en alumel draad gebruikt zijn, en het T-type, bestaande uit koper en constantaandraad. Thermokoppels zijn relatief goedkoop en reageren snel op temperatuurveranderingen. Bovendien heeft de kabellengte geen invloed op de meting. Thermokoppels kunnen in serie of parallel geschakeld worden. Bij serieschakeling (een thermopile) worden de temperaturen gesommeerd. Bij parallelschakeling wordt een gemiddelde temperatuur bepaald. Deze laatste configuratie (met 3-5 thermokoppels) wordt wel gebruikt bij bladtemperatuurmetingen om de variatie te ondervangen. Meestal wordt een diameter van 0.13 mm gebruikt voor bladmetingen en 0.5 mm voor lucht- en grondmetingen. De tijdconstanten (tijd nodig om 1/e ofwel 37% van de temperatuurverandering te volbrengen) voor 0.13 mm is 0.09 sec, voor 0.5 mm 0.9 sec.

Ideaal zou het thermokoppel de temperatuur in het mesofyl vanaf de onderzijde moeten meten. De plaatsing zou moeten gebeuren met een minimum aan beschadiging van de epidermis. Verder moet de bladpositie niet veranderen bij gebruik van het thermokoppel. Hoewel verticale gradiënten in het blad niet bestaan, kunnen horizontale verschillen binnen een blad t.g.v. verschillen in bladgrenslaagweerstand wel aanzienlijk zijn. Voor grotere bladeren bij lage windsnelheden (in kassen!) en hoge instraling is een meting met meerdere thermokoppels noodzakelijk.

De nadelen van thermokoppels van de min of meer vaste plaatsing en noodzakelijk controle maken dat de laatste jaren de infrarood temperatuurmeting aan populariteit gewonnen heeft. Deze meting is contactloos, waardoor in principe de meting langere tijd ongestoord kan plaats vinden.

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):

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

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.

Telerservaringen en mogelijkheden in de Glastuinbouw

In de tuinbouwkundige vakbladen zijn de laatste jaren een aantal artikelen verschenen met betrekking tot ervaringen en mogelijkheden met de door Brinkman geleverde planttemperatuurmeter. De artikelen hebben betrekking op vruchtgroentegewassen.

Volgens Jasperse en Dumont (2001) kan door het meten van de planttemperatuur gericht rekening worden gehouden met het verschil tussen plant- en kasluchttemperatuur, waardoor energiebesparing binnen bereik komt. Enerzijds wordt hier geduid op het beter in kunnen schatten van condensatierisico, waardoor b.v. lagere nachttemperaturen getolereerd kunnen worden. Anderzijds kunnen mogelijk door het bepalen van de temperatuur van het groeipunt lagere kastemperaturen aangehouden worden. Bovendien zou uit de met planttemperatuur berekende verdampingsdruk (vochtdeficiet blad-lucht) naar voren komen dat effecten van minimumbuis zeer gering zijn. Het gebruik van de minimumbuis zou hierdoor mogelijk achterwege kunnen blijven, waardoor energie bespaard kan worden.

Volgens van Gastel (2000) is het met planttemperatuur nu mogelijk te zien wat het effect van sterke uitstraling tijdens heldere nachten is. Dit gegeven wordt wel gebruikt om zetting te stimuleren. Volgens een theorie zou bij de lagere planttemperatuur en lagere respiratie meer assimilaten beschikbaar zijn voor de vruchten. Bovendien is de assimilatenvoorraad bij heldere nachten mogelijk extra hoog als gevolg van de hoge assimilatie op de veronderstelde heldere voorafgaande dag.

De verdampingsdruk gaf voor een andere tuinder een goed beeld of stoken nodig is om vocht kwijt te raken c.q. de verdamping op gang te houden.

Volgens een andere tuinder kan met de planttemperatuur bepaald worden wanneer de huidmondjes sluiten. Op dat moment heeft CO₂ dosering geen zin meer. Daksproeiers zouden het moment van sluiting van de huidmondjes kunnen verlaten. Een andere toepassing heeft betrekking op het moment en effect van luchten. Indien luchten een te grote verlaging van de planttemperatuur tot gevolg heeft (b.v. afhankelijk van windrichting) kan besloten worden minder te luchten.

Volgens anderen reageert de planttemperatuur sneller dan de kasluchttemperatuur. Dit gegeven zou gebruikt kunnen worden om te anticiperen op de kasluchttemperatuur door eerder te stoppen met verwarmen.

Samenvattend kunnen de volgende praktijkmogelijkheden genoemd worden t.a.v. gebruik van planttemperatuurmetingen:

- 1) Een directe bepaling van de planttemperatuur zou waardevolle informatie kunnen genereren ten aanzien van mogelijke **condensatie** op gewassen. Condensatie ontstaat in de ochtend indien de temperatuur van gewasdelen lager is dan het dauwpunt. Deze situatie kan zich voordoen indien het verloop van de temperatuur van plantdelen anders is dan dat van de kasluchttemperatuur. Meer inzicht hierin zou de toepassing van temperatuurintegratie – met lage kasluchttemperaturen gedurende de nachtperiode - kunnen vergroten. Bij sterke uitstraling (helder weer) kan b.v. geanticipeerd worden op de lagere planttemperatuur door schermen c.q. stoken. Anderzijds zou bij een snellere opwarming van het gewas dan de kaslucht eerder gestopt kunnen worden met stoken, waardoor energie bespaard kan worden.
- 2) Fysiologische processen zoals fotosynthese en respiratie, maar zeker ook **ontwikkeling** worden bepaald door de temperatuur. De planttemperatuur is hierbij in principe een betere maat dan de kastemperatuur. Zeker bij plaatselijke verschillen zoals te verwachten zijn bij assimilatiebelichting, kan de planttemperatuur hierbij mogelijk een betere verklarende c.q. regelparameter zijn dan de luchttemperatuur.
- 3) Met de planttemperatuur kan het **vochtdeficiet blad-lucht** berekend worden, hetgeen beschouwd wordt als een betere maat voor de drijvende kracht van de verdamping is dan het vochtdeficiet van de kaslucht. Indien deze parameter inderdaad een goede maat is voor de verdamping van een gewas zou de verdamping ingeschat kunnen worden waardoor verdampingsstimulerende (minimumbuis) maatregelen wellicht soms achterwege kunnen blijven waardoor energiebesparing mogelijk is. Anderzijds zou de noodzaak van vochtbesparende (b.v. luchtbevochtiging) of temperatuurverlagende (b.v. daksproeiers, buitenscherm) maatregelen hiermee zichtbaar gemaakt kunnen worden.
- 4) Bij de teelt van pot- of perkgoed waarbij droogtestress als groeiregulerende maatregel wordt toegepast zou de planttemperatuur wellicht als **stressindicator** een hulpmiddel kunnen zijn voor het bepalen van het tijdstip van watervoorziening. Ook bij andere gewassen kan een tijdige signalering van stress in de waterhuishouding een hulpmiddel zijn om maatregelen in het klimaat te treffen.

Doel onderzoek

In het in dit verslag beschreven onderzoek is met name het aspect van vochtstress onderwerp van studie (planttemperatuurmeting als stressindicator). Hiertoe zijn proeven uitgevoerd waarbij de vochtvoorziening gelimiteerd is. Daarnaast is onderzoek aan andere bovengenoemde aspecten (condensatierisco, effecten assimilatiebelichting) verricht.

Doel van het project was de potentiële bruikbaarheid van planttemperatuurmetingen in een meet- en regeltechniek in de glastuinbouw te evalueren.

2 Materialen en methoden

2.1. Kasinrichting en gebruikte apparatuur

De proeven met chrysant, Impatiens nieuw-Guinea en Spathiphyllum werden uitgevoerd in kas L302: een kas van 150 m² waarin 24 eb/vloedtafels met afmeting 2.0*1.5 m geplaatst waren. Alle tafels hebben een eigen tank met voedingsoplossing en de watergift kan onafhankelijk ingesteld worden. In de kas is een luchtbevochtigingssysteem en energiescherm aanwezig. Dagverlenging kan plaats vinden d.m.v. SL lampen. Als meetapparatuur zijn gebruikt:

- twee TFDL meetboxen voor bepaling natte/drogebol temperatuur. Deze werden opgesteld tussen het gewas.
- twee buissolarimeters (meetbereik 350 – 2500 nm). Deze hingen op ca. 0.5 m boven het tafeloppervlak.
- acht infrarood sensoren van Apogee instruments, geleverd door Growlab (meetbereik 6-14 µm). Deze sensoren waren gepositioneerd op ca. 1-3 cm van het bladoppervlak. Uit voorgaand onderzoek was gebleken dat deze korte afstand noodzakelijk was om storende omgevingsinvloeden te minimaliseren.



Foto 1. Infraroodsensor Apogee

- twee infrarood sensoren van Heimann (KT 19; meetbereik 8-12 µm; resolutie 0.1 °C). Deze camera's waren betrouwbaar tot op 1m van het meetobject, en werden op 0.5-1 m van de planten op statief geplaatst, waarbij de diameter van het meetobject 2-3 cm was. De ingestelde emissiefactor was 1.000.



Foto 2. Infraroodsensor Heimann/Heitronics

- twintig FD sensoren, IMAG-DLO. De FD sensoren waren verticaal in de potgrond gestoken zodanig dat de behuizing de bovenzijde van de potgrond raakte.

Alle metingen behalve de FD metingen werden per minuut uitgevoerd, waarna een gemiddelde berekend werd per uur op een HP datalogger. De FD metingen werden ieder uur uitgevoerd.

De gebruikte potgrond was een eb/vloedmengsel met perliet. Aan de potgrond was geen voorraadbemesting toegevoegd, wel spoorelementen (Libramix).

2.2. Chrysant

Stekken van chrysant cv. Improved Reagan werden direct gestoken in 12 cm potten en weggezet onder plastic op dag 37 2001. Nadat planten slap waren gegaan is op dag 46 een extra vloed- en broesbeurt gegeven. Op dag 51 werd het plastic verwijderd en werden de potten uitgezet (10*6 potten per tafel in aaneengesloten blok) op 12 tafels. Er werden 3 watergeefregimes aangehouden nml. om de 24, 84 of 168 uur een vloedbeurt. Iedere vloedbeurt duurde 5 minuten en de opvoerhoogte was 2 cm. Om de chrysanten vegetatief te houden werd van 2 tot 4 uur nachtonderbreking gegeven met behulp van SL lampen. De planten van de frequentie 168 uur kregen op dag 78 en dag 85 een extra vloedbeurt om ernstige verwelking tegen te gaan.

Destructieve oogsten werden uitgevoerd op dagen 57, 60, 67, 74, 79 en 88. Op deze dagen werden het spruit versgewicht en taklengte bepaald, 2x per plant de bladtemperatuur gemeten met een losse Apogee IR meter, en vochtgehalte, EC en temperatuur van de potgrond bepaald met een WET FD meter (6 planten per veld). Op dag 74 en 88 is m.b.v. een porometer (Li - Cor) tevens de huidmondjesgeleidbaarheid bepaald.

2.3. Impatiens nieuw-Guinea

Stekken van Impatiens nieuw-Guinea cv. Paradise werden opgepot op dag 37 2001 in 13 cm potten. De eerste twee weken werd geen vloedbeurt gegeven. Vervolgens werden de behandelingen gestart op dag 51. Er werden 2 watergeefregimes aangehouden nml. om de 24 of 84 uur een vloedbeurt. Vanaf dag 110 kregen planten om de 168 uur een vloedbeurt. Iedere vloedbeurt duurde 5 minuten en de opvoerhoogte

was 2 cm. Destructieve oogsten werden uitgevoerd op dag 57, 60, 67, 74, 92, 99 en 110. Op deze dagen werden het spuitversgewicht en lengte van het langste blad bepaald, 2x per plant de bladtemperatuur gemeten met een losse Apogee IR meter, en vochtgehalte, EC en temperatuur van de potgrond bepaald met een WET FD meter (4 planten per veld). Op dag 74 en 99 en 110 is m.b.v. een porometer (Delta T) tevens de huidmondjesgeleidbaarheid bepaald.

In een vervolgprouf werden stekken van Impatiens nieuw-Guinea cv. Paradise opgepot op dag 93 2001 in 13 cm potten. Op dag 99 werden de watergeefbehandelingen ingesteld. Er werden in eerste instantie 3 watergeefregimes aangehouden nml. om de 24, 84 of 168 uur een vloedbeurt. Op dag 113 werden de vloedbeurten om de 24, 42 en 84 uur gegeven. Oogsten werden uitgevoerd op dag 115 en dag 122. Dezelfde parameters werden bepaald als in de eerste proef.

Naast de reguliere proef hebben enkele planten ook bloot gestaan aan verdroging (dag 130) dan wel waterverzadiging (dag 107) om de effecten hiervan op de bladtemperatuur te bepalen.

2.4. Spathiphyllum

Stekken van Spathiphyllum cv. Cupido werden in 13 cm potten gestoken op dag 159 2001. Op dag 170 werden de behandelingen ingesteld: vloedbeurten om de 12, 24, 42 en 84 uur. Destructieve oogsten werden verricht op dag 198 en dag 229. Vanaf dag 229 heeft tevens een uitdrogingsproef plaats gevonden.

2.5. Gerbera

In 2002 is gestart in L305 met een gerbera teeltsysteem waarbij op minuutbasis het gewicht van goten + matten + gewas werd gemeten.



Foto 3. Weegsysteem bij gerbera

Het gewicht van de drain werd eveneens bepaald. Het vochtgehalte werd bepaald met 1 FD sensor per mat, geplaatst tussen twee planten in. Een meer gedetailleerde beschrijving van het teelt- en meetsysteem zal elders plaats vinden. Met de metingen kon simultaan op 3-minuutbasis het vochtgehalte in de steenwolmat en op 5-minuutbasis de bladtemperatuur bij gerbera bepaald worden. Daarnaast kon op deze manier de verdamping en groei van het gewas per minuut berekend worden. Er waren twee meetopstellingen aanwezig in de kasafdeling, ieder van 2 m² (4 goten van 1 meter). De bladtemperatuur werd zowel met Apogee als met Heiman sensoren gemeten, waardoor tevens het vochtdeficiet blad-lucht (door de fa.

Brinkman als 'verdampingsdruk' gedefinieerd (Jasperse en Dumont 2001)) berekend kon worden. Van 14 augustus tot en met 16 augustus heeft een droogtestressbehandeling plaats gevonden in 1 van de twee meetopstellingen. Dit gebeurde door overdag geen druppelbeurten te geven. De gevolgen hiervan op verdamping, groei, watergehalte en bladtemperatuur konden hierdoor onderzocht worden.

2.6. Anthurium

In een Anthuriumgewas is in augustus 2002 met behulp van 10 thermokoppels (K-type) de temperatuur van bladeren en bloembladeren aan het gewas bepaald. Daarnaast is van afgesneden blad al dan niet op water de bladtemperatuur bepaald gedurende een periode van enkele weken. De temperatuur werd vergeleken met de temperatuur van de meetbox.



Foto 4. Bladtemperatuurmeting met thermokoppel bij Anthurium

2.7. Roos

In het kader van een project synchronisatie rozenteelt wordt onderzoek uitgevoerd met roos First Red in temperatuur geconditioneerd afdelingen. Hierbij worden bij First Red de behandelingen 21°C hoog licht (10000 lux) en 23°C laag en hoog licht (4000 resp. 10000lux) en 26°C laag licht (4000 lux) met elkaar vergeleken. Bladtemperatuurmetingen zijn uitgevoerd op twee tijdstippen op dag 122 met een mobiele bladmeter van Apogee bij bovenste vijfbladeren van ontwikkelende scheuten (n=10).

3 Resultaten

3.1 Chrysant

3.1.1 Variatie tussen planten

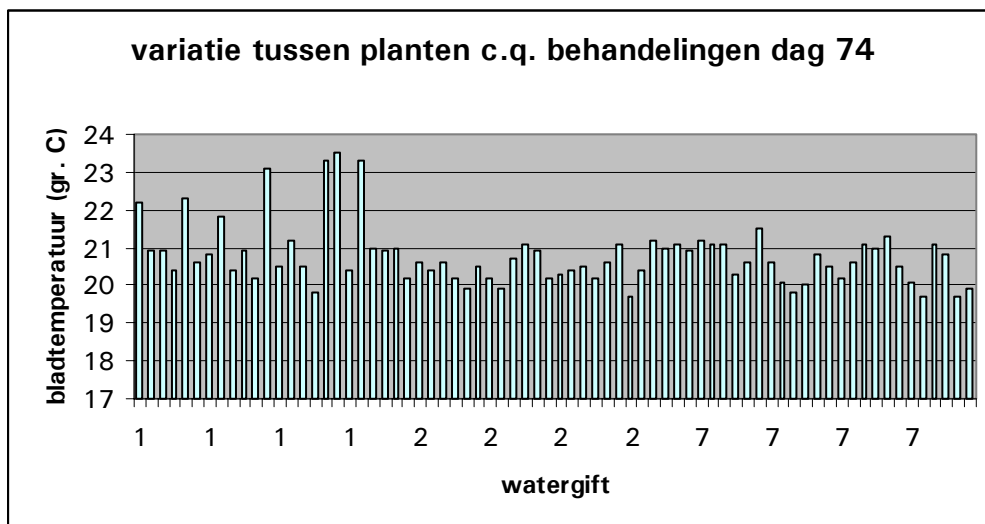


Fig. 1. Gemeten variatie in bladtemperatuur (**3^e volgroeide blad van groeipunt**) tussen chrysanten binnen zelfde watergiftbehandeling en tussen watergiftbehandelingen.

In Fig. 1 is de variatie weer gegeven zoals die gemeten is bij chrysant. De gemiddelde bladtemperatuur (met standaardafwijking) was 20.6 (0.5), 20.5 (0.4), 21.3 (1.1) voor respectievelijk de behandelingen 7, 2 en 1 gietbeurt(en) per week. De gemiddelde temperatuur (en standaardafwijking) voor meting aan **het grootste blad** was 20.8 (0.6), 20.8 (0.5), 21.4 (1.0) voor respectievelijk de behandelingen 7, 2 en 1 gietbeurt(en) per week. Het blijkt dat de variatie toeneemt bij de drogere behandeling. Hoewel dit niet is vastgelegd was er de indruk dat de hoogste bladtemperaturen correspondeerden met planten die turgorverlies vertoonden op het moment van meting.

3.1.2 Oogstwaarnemingen

De verschillen in groei als gevolg van de aangelegde verschillen in watergeeffrequentie werden snel zichtbaar en konden op dag 60 (9 dagen na aanleg van de behandelingen) reeds gemeten worden in spruitgewicht en taklengte (Tabel 1). Op dat moment konden echter nog geen verschillen in bladtemperatuur gemeten worden. Blijkbaar was het verschil in verdamping op dat moment onvoldoende om een verschil in bladtemperatuur te doen ontstaan, of was de variatie te groot. Hierbij moet bedacht worden dat de teelt in de winter/vroege voorjaar plaats vond.

Tabel 1. Resultaten van de destructieve oogsten van chrysant (n=6). Het oogsttijdstip was tussen ca. 13 en 15 uur. Weergegeven kasttemperatuur en vochtdeficiet eveneens van deze periode.

	Droogteperiode (Uren)	Dag 57	Dag 60	Dag 67	Dag 74	Dag 79	Dag 88
Kasttemperatuur (°C)		22	18	18.5	24	21	21.6
Vochtdeficiet (g/kg)		7.5	5.1	4.6	9	7	7.5
Blad Temperatuur (°C)	24	18.7	15.6	16.7	20.6	19.5	19.6
	84	18.7	15.6	16.6	20.5	19.3	19.7
	168	19	15.6	16.5	21.3	19.5	19.4
	LSD	ns	ns	0.1	0.4	ns	ns
Vochtgehalte potgrond (% v/v)	24	42	45	47	40	46	48
	84	32	37	35	30	38	23
	168	32	29	23	16	19	20
	LSD	2	2	3	2	4	4
Spruit versgewicht (g)	24		4	10.1	17.7	26.6	
	84		3.4	8.5	15.8	24.8	
	168		3.4	8.4	14.2	20.4	
	LSD		0.4	0.9	1.7	3.0	
Lengte tot groeipunt (cm)	24		13.9	20.1	29.4	38	45.3
	84		13.4	18.5	27.5	37	41.2
	168		13.4	18.5	27.3	35.4	38.1
	LSD		ns	1.0	1.5	2.0	4.2
Stomataire geleidbaarheid (cm/s)	24				1.5		0.7
	84				1.4		0.7
	168				1.1		0.7
	LSD				0.2		ns

Figuur 2 geeft een aantal gevonden relaties weer van de relatief warme dag 74. Hieruit blijkt dat de hoogste bladtemperaturen in het algemeen gevonden werden bij de laagste vochtgehalten (linksboven). De hoge bladtemperaturen gingen gepaard met lage stomataire geleidbaarheden (rechtsboven en linksonder). Het takgewicht was positief gecorreleerd met het vochtgehalte (rechtsonder).

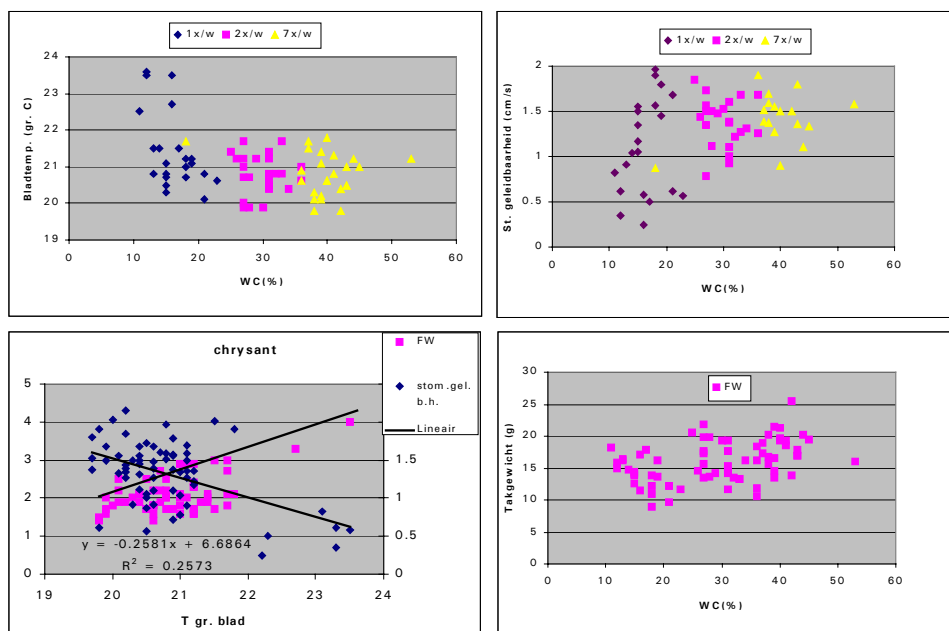


Fig. 2. Dag 74. Bladtemperatuur, stomataire geleidbaarheid en takgewicht in relatie tot vochtgehalte potgrond. Relaties tussen takgewicht en stomataire geleidbaarheid met bladtemperatuur.

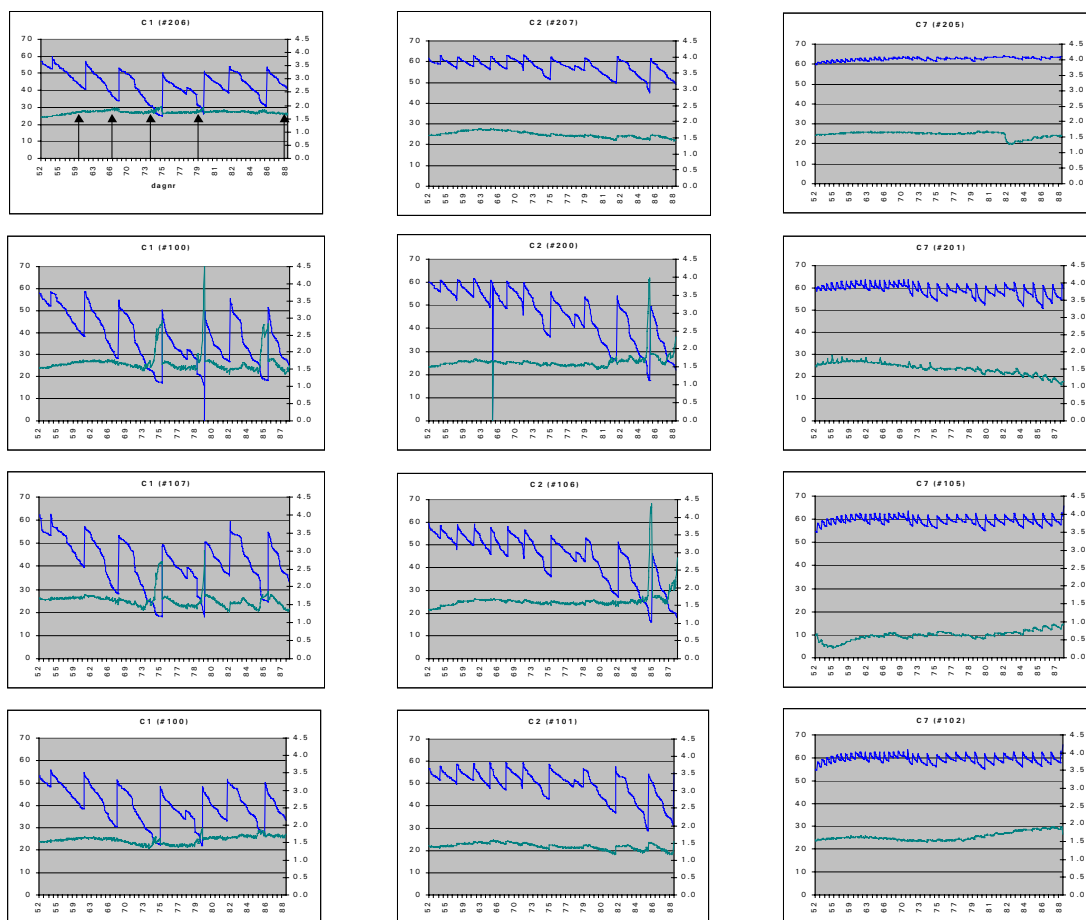


Fig. 3. Vochtgehalten (% v/v) en EC (mS/cm) zoals gemeten met FD sensoren tijdens de chrysantenproef in herhalingen van de verschillende watergeefbehandelingen (C1 = 168, C2=84, C3=24 uur droogte). De pijlen in de figuur linksboven geven oogstdata weer.

3.1.3 On-line metingen

In Fig. 3 is weergegeven hoe de vochtgehalten en de EC varieerden tussen en binnen de aangelegde behandelingen gedurende de proefperiode bij chrysant. De oogsten zijn door middel van pijlen in de figuur linksboven weergegeven. De watergiften zijn duidelijk waarneembaar in de 'zaagtanden'. De variaties in EC bleven beperkt tot maximaal 0.3 mS/cm binnen een etmaal.

3.2 Impatiens nieuw-Guinea

3.2.1 Variatie binnen/tussen planten

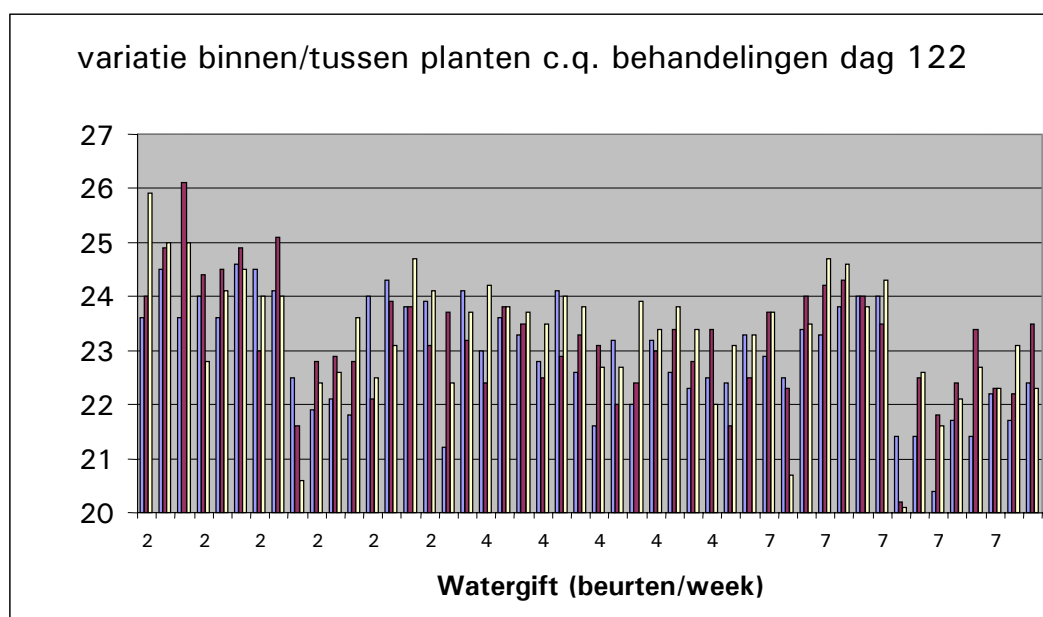


Fig. 5. Gemeten variatie in bladtemperatuur binnen Impatiens nieuw-Guinea planten, tussen planten binnen zelfde watergiftbehandeling, en tussen watergiftbehandelingen op dag 122.

Bij Impatiens werd op drie verschillende bladeren van een plant de bladtemperatuur met een planttemperatuursensor (Apogee) gemeten. Opvallend was de relatief grote variatie die hierbij aanwezig was. De gemiddelde temperatuur (met standaardafwijking) was 22.8 (1.1), 23.0 (0.5) en 23.7 (1.0) °C voor respectievelijk 7, 4 en 2 beurten/week.

3.2.2 Oogstwaarnemingen

Betrouwbare verschillen in bladtemperatuur werden niet voor dag 92 gevonden (Tabel 2). Op dat moment waren er – in tegenstelling tot de eerdere resultaten van chrysant – nog geen betrouwbare verschillen in versgewichtproductie als gevolg van de watergiften c.q. droogteperioden.

Bij de tweede teelt, waarbij extremere behandelingen werden aangelegd, werden eerder verschillen waarneembaar: een hogere bladtemperatuur ging gepaard met een lagere stomataire geleidbaarheid, en een lager vochtgehalte en plantgewicht.

Uit de resultaten van dag 130 valt op te maken dat de stomataire geleidbaarheid snel afnam (met ca. 50%) in een paar uur tijd. In dezelfde tijd nam de bladtemperatuur toe met ca. 3-4 gr. C. De relatie tussen stomataire geleidbaarheid, vochtgehalte en bladtemperatuur van dag 130 is weergegeven in Fig.6.

	Proef Impatiens 1								Proef Impatiens 2		Uitdrogingsproef		
	Droogte- periode (uren)	Dag 57	Dag 60	Dag 67	Dag 74	Dag 92	Dag 99	Dag 110	Dag 115	Dag 122	Droogte- periode (uren)	Dag 130 10-11 uur	Dag 130 13-14 uur
Kastemperatuur (°C)		22	18	18.5	24	31	20.5	22	21.5	26.5		28.5	36.4
Vochtdeficiet kaslucht (g/kg)		7.5	5.1	4.6	9	19	6.9	9	8	14		15	27
Vochtdef. blad-lucht (g/kg)		4.5	2.8	3.2	4.5	10.7	2.3	2.9	1.4	6.0		5.30	19.9
Blad Temperatuur (°C)	24	18.7	15.7	15.9	21	25.2	18.8	19.9	20.5	22.8	84=>24	25.7	28.7
	42-84	18.5	15.7	15.9	21.4	26.4	19.4	20.1	21.2	23	42=>24	25.2	29.1
	84-168								21.7	23.7	24=>84	27.8	31.1
LSD		ns	ns	ns	ns	1.2	0.2	Ns	0.8	0.6		1.2	1.2
Vochtgehalte potgrond (% v/v)	24	52	54	59	52	62	64	63	59	62	84=>24	58	58
	42-84	42	46	47	39	24	29	49	39	55	42=>24	62	63
	84-168								31	42	24=>84	44	40
LSD		2	3	2	2	2	2	2	3	3		4	4
Spruit versgewicht (g)	24		5.1	9.8	16.4	40.3		96.1	14.4	24.5			
	42-84		6.7	10.9	14.9	37.8		87.3	14.4	24.6			
	84-168								12.5	21.8			
LSD			ns	ns	ns	ns		8.6	1.7	2.5			
Stomataire geleidb.heid (cm/s)	24				2.5		1.1	1.1	1.37	3.1	84=>24	4.8	2.2
	42-84				2.4		0.7	1.1	1.25	2.9	42=>24	4.8	2.4
	84-168								1.25	1.8	24=>84	3.2	1.3
LSD					ns		0.1	ns	ns	0.5		0.7	0.4

Tabel 2. Resultaten van de destructieve oogsten van Impatiens (n=4). Het oogsttijdstip was tussen ca. 13 en 15 uur behalve dag 130. Weergegeven kastemperatuur en vochtdeficiet eveneens van deze periode.

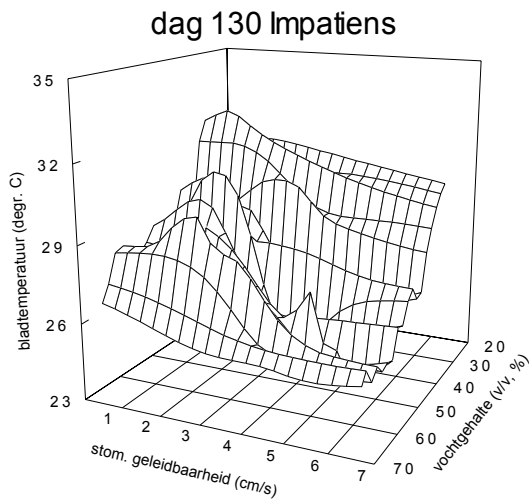


Fig. 6. Relatie tussen vochtgehalte, stomataire geleidbaarheid en bladtemperatuur bij Impatiens nieuw-Guinea op dag 130.

3.2.3 Relaties oogstwaarnemingen

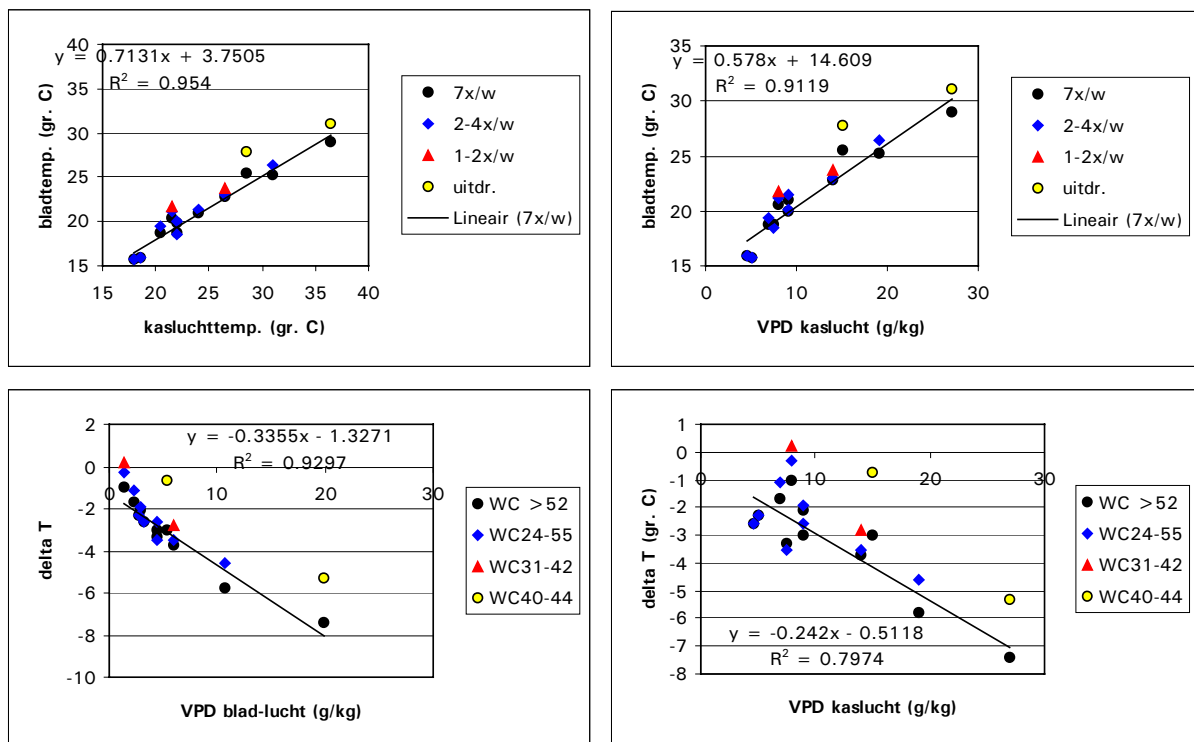


Fig. 7. Relaties tussen vochtdeficiet kaslucht, vochtdeficiet blad-lucht, kas- of bladtemperatuur enerzijds en bladtemperatuur en verschil blad- en kasluchttemperatuur anderzijds. De data zijn gemiddelden van de oogstdata afkomstig van de gehele proefperiode (tabel 2).

De gemeten bladtemperatuur op de oogsttijdstippen bleek positief te correleren met zowel VPD (zowel van blad-lucht als alleen van kaslucht) als met de kasluchttemperatuur van het moment van oogsten (Fig. 7). In de literatuur wordt gebruik gemaakt van het verschil tussen planttemperatuur en luchttemperatuur (delta T)

in relatie tot het vochtdeficiet om te bepalen of planten waterstress hebben (zie hoofdstuk 1); een algemene lijn per gewas zou dan moeten aangeven welke delta T verwacht mag worden bij welke VPD. Uit de hier gepresenteerde data blijkt dat het beste te gaan voor VPD blad-lucht. Zo kan een delta T van ca. 8 gr. C verwacht worden bij een VPD blad-lucht van 20 g/kg.

3.2.4 On-line metingen

In Fig. 8 is de bladtemperatuur weergegeven en het bijbehorende vochtgehalte in de tijd. Het blijkt dat – zoals ook bij de aparte oogsten het geval was, de bladtemperatuur gaat stijgen boven de controle behandeling bij het uitdrogen van de grond. Opvallend is verder dat bij herstel van de vochtvoorziening, het verschil in temperatuur tussen stress- en controlebehandeling nog enige dagen in stand blijft. Dit verschijnsel is op meerdere dagen zichtbaar geweest.

Bij het onder water zetten van een pot bleek na een aantal dagen de bladtemperatuur ook sterk te gaan stijgen (Fig. 9). Waarschijnlijk is dit het gevolg van een geremde verdamping en zichtbaar optredend turgorverlies als gevolg van een verstoorde wateropname. Hierbij kon het verschil met een controlebehandeling oplopen tot 10 gr. C.

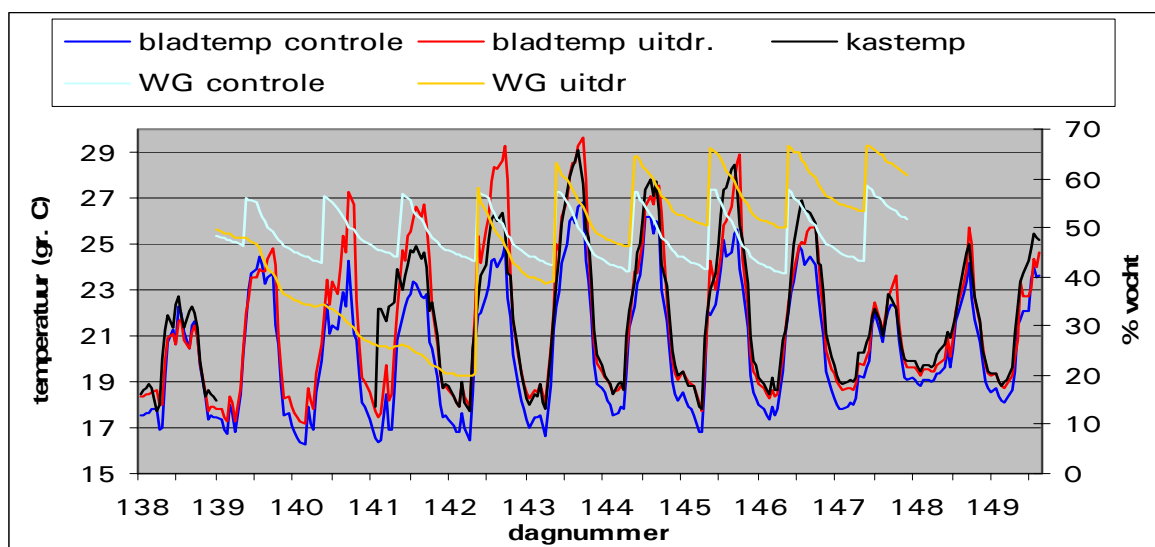


Fig. 8. Bladtemperaturen bij Impatiens bij controle en uitdrogende behandeling met bijbehorende vochtgehalten van de FD sensoren en kasttemperatuur gedurende de meetperiode dag 138-149.

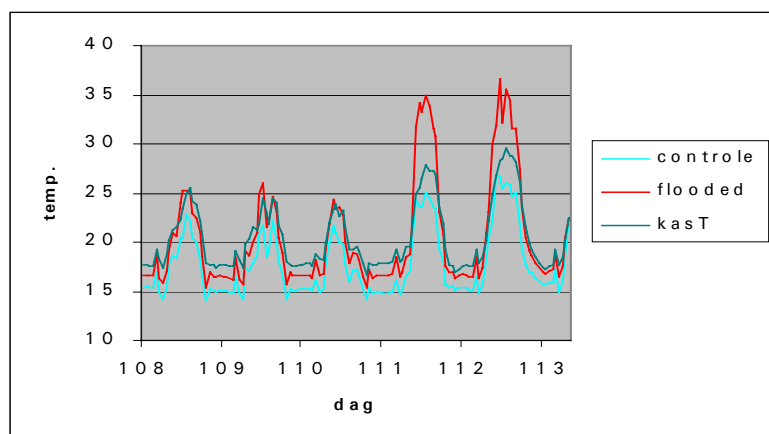


Fig. 9. Verloop van bladtemperatuur bij Impatiens nieuw-Guinea tijdens een periode van volledige verzadiging van de potkluit (flooded) vanaf dag 108 in relatie tot een controlebehandeling en de kasttemperatuur.

3.3 Spathiphyllum

Bij Spathiphyllum waren de resultaten vergelijkbaar met die van Impatiens nieuw-Guinea. In Tabel 3 is weergegeven dat bij de oogstdata slechts de bladtemperaturen op dag 229 in de droogste behandeling betrouwbaar hoger waren, hetgeen correspondeerde met de lagere vochtgehalten in deze behandeling. Er was wederom een duidelijk negatieve correlatie van de bladtemperatuur met de stomataire geleidbaarheid op dag 235 (Fig. 10).

Resultaten vergelijkbaar met Impatiens werden eveneens gevonden bij het uitdrogen van de potkluit en een vervolgens optredend herstel van de vochtvoorziening (Fig. 11). Ook hier duurde het herstel van de bladtemperatuur langer dan op grond van de vochtgehalten verwacht zou worden.

Tabel 3. Resultaten van de metingen bij Spathiphyllum. Het oogsttijdstip was tussen ca. 13 en 15 uur. Weergegeven kasttemperatuur en vochtdeficiet eveneens van deze periode.

	Droogteperiode (Uren)	Dag 198	Dag 229	Dag 235	Dag 240
Kasttemperatuur (°C)		28.4	28.8	30.0	24.6
Vochtdeficiet (g/kg)		14.9	11.5	8.9	8.3
Blad Temperatuur (°C)	12	30.4	28.5		23.4
	24	30.1	28.4		23.1
	84	30.5	28.5		23.5
	168	30.8	29.1		23.3
LSD		Ns	0.5		Ns
Vochtgehalte potgrond (% v/v)	12	65	69		74
	24	65	63		70
	84	62	63		61
	168	48	38		30
LSD		3	8		4
Spruit versgewicht (g)	12	31.3	93		125
	24	33.5	90		125
	84	31.0	87		118
	168	29.7	69		82
LSD		Ns	5		7
Stomataire geleidbaarheid (cm/s)	12	0.5		0.76	
	24	0.4		0.79	
	84	0.4		0.71	
	168	0.4		0.35	
LSD		Ns		0.11	

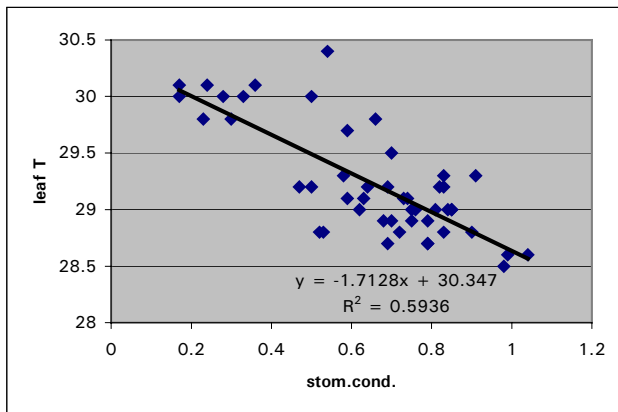


Fig. 10. Relatie tussen bladtemperatuur en stomataire geleidbaarheid op dag 235 bij Spathiphyllum.

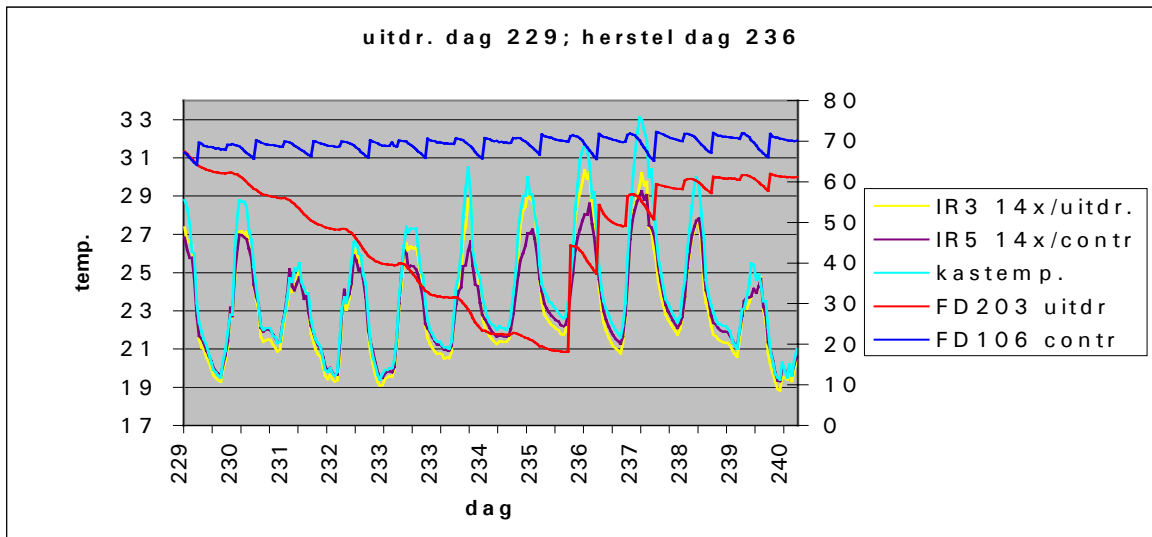


Fig. 11. Bladtemperaturen bij Spathiphyllum controle- en uitdrogende behandeling met bijbehorende vochtgehalten (volumepercentage rechters) van de FD sensoren en kasttemperatuur gedurende de meetperiode dag 229-240.

3.4 Gerbera

Bij gerbera zijn de meest uitgebreide metingen verricht en relaties met omgevingsfactoren onderzocht. Om het effect van waterstress bij gerbera te onderzoeken is de watervoorziening tijdens een warme periode overdag in een behandeling stil gelegd. In Fig. 12 (boven) is het verloop van het watergehalte van de steenwol gegeven. In Fig. 12 (onder) worden de gerealiseerde bladtemperaturen gegeven. Opvallend is dat de bladtemperatuur nauwelijks afneemt onder invloed van het afnemende vochtgehalte. Waarschijnlijk heeft dit te maken met de nauwelijks afnemende verdamping tussen de controle- en de stressbehandeling (Fig. 13).

Opvallend is verder dat de verdamping al veel sneller afneemt dan de blad- of kasttemperatuur. Dit is de belangrijkste reden dat het verband tussen verdampingsdruk en verdamping vanaf middag tot vroeg in de ochtend onvoldoende is (Fig. 14). In een periode dat assimilatiebelichting in de nacht werd toegepast (Fig. 15) was het verschil tussen verdampingsdruk en gerealiseerde verdamping nog groter.

De verdamping relateren op basis van het vochtdeficiet blad-lucht blijkt dus onvoldoende.

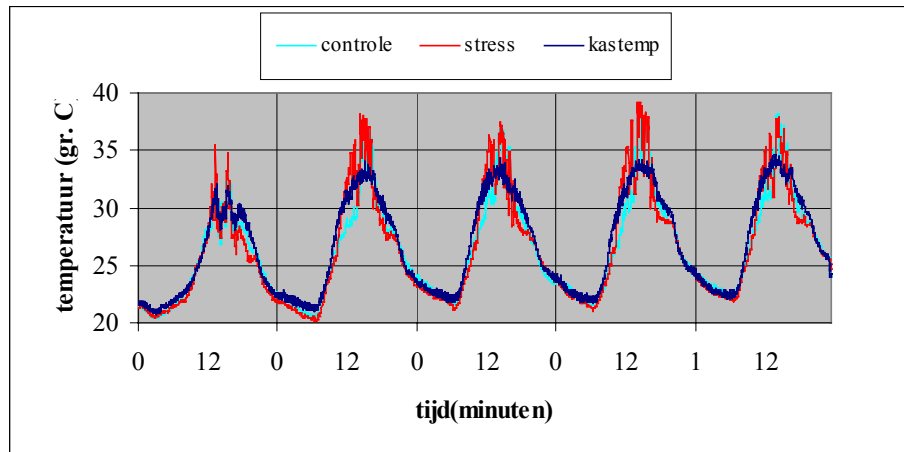
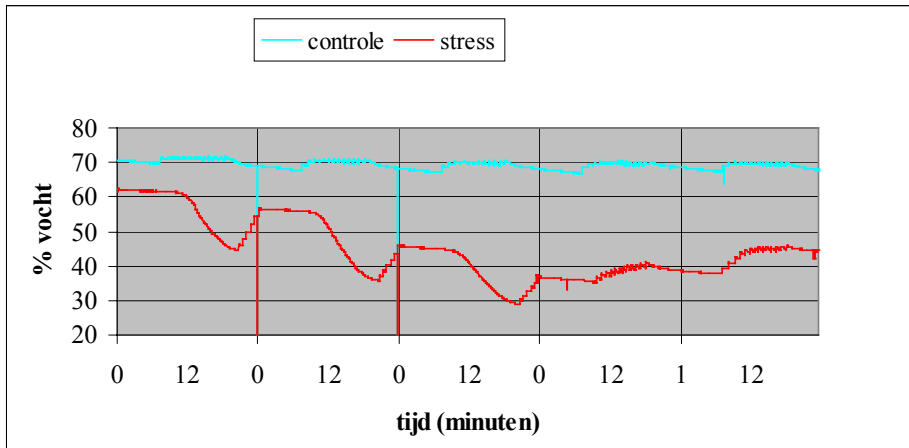


Fig. 12. Verloop van de vochtgehalten (boven) en bladtemperaturen (onder) in de controle en de gestresste behandeling bij gerbera tijdens de stressbehandeling en herstelperiode van dag 226-230. Na dag 228 is de vochtvoorziening hersteld.

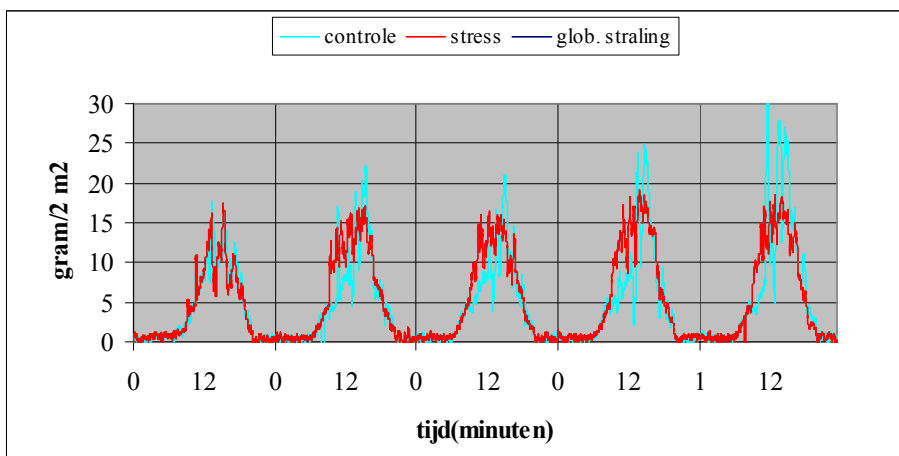


Fig. 13 Verloop van minuutverdamping (voortschrijdend gemiddelde van 20 minuten) in controle en stressbehandeling van gerbera.

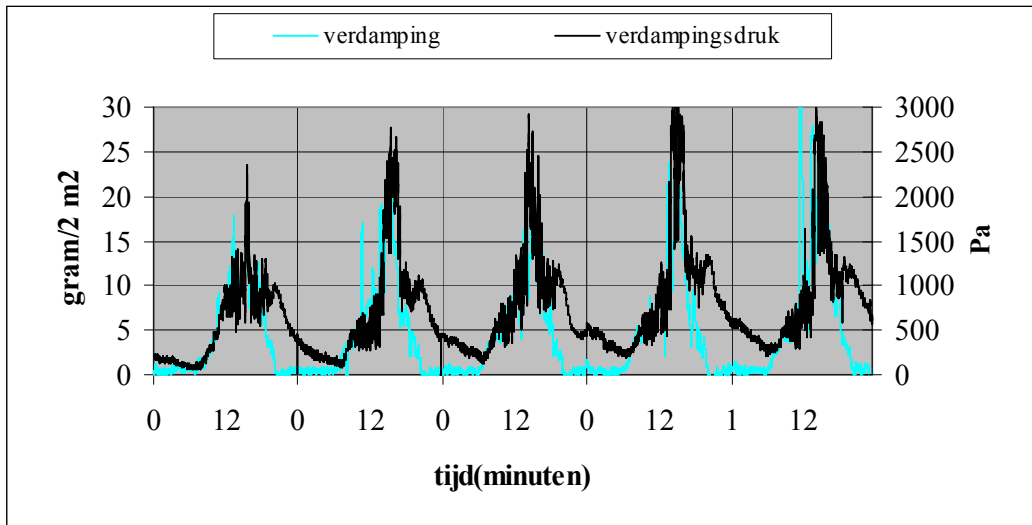


Fig. 14. Vergelijking tussen gerealiseerde minuutverdamping en berekende 'verdampingsdruk' in controlebehandeling tijdens de periode analoog aan Fig.12 en 13.

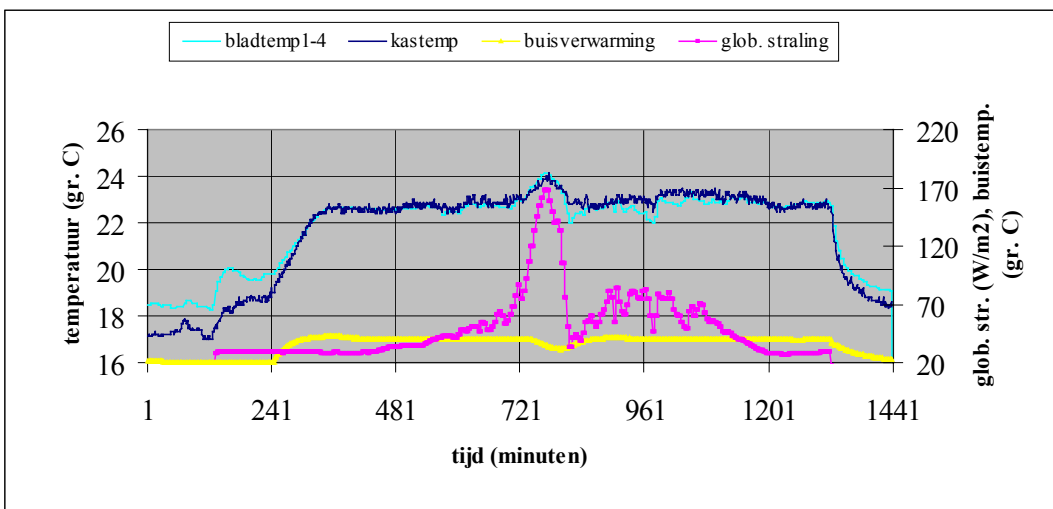
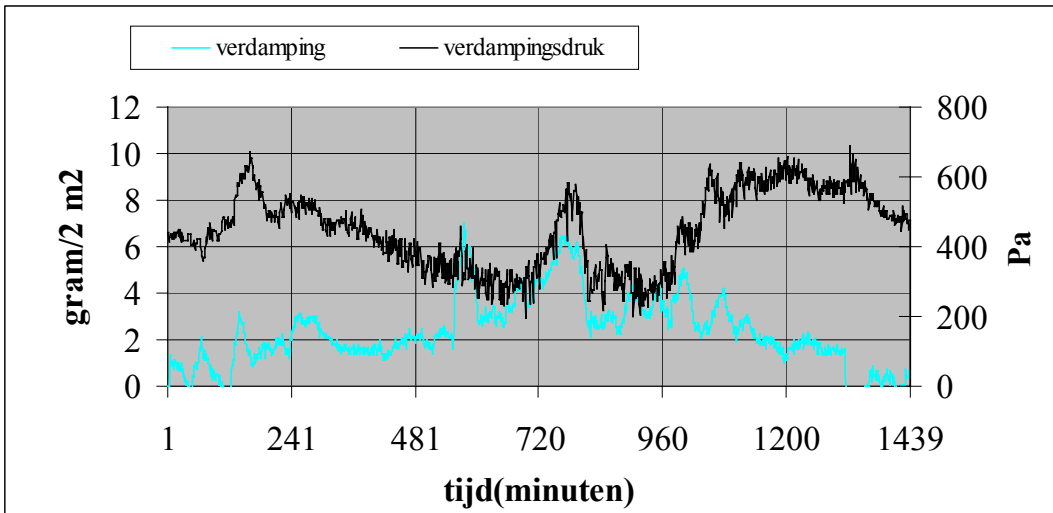


Fig. 15. Vergelijking tussen gerealiseerde verdamping en berekende 'verdampingsdruk' op dag 260 bij gerbera (boven). Assimilatiebelichting ging aan op 120 minuten. Het temperatuurverloop van de verwarmingsnetten en de binnen gemeten globale straling is eveneens gegeven (onder).

De planttemperatuur kan ook gebruikt worden om te onderzoeken in hoeverre risico bestaat voor condensatie. In Fig. 17 is daarom ook de berekende dauwpuntstemperatuur opgenomen. Het is duidelijk dat op verschillende tijdstippen gedurende deze dag met zeer hoge luchtvochtigheid de bladtemperatuur dicht in de buurt van de dauwpuntstemperatuur komt.

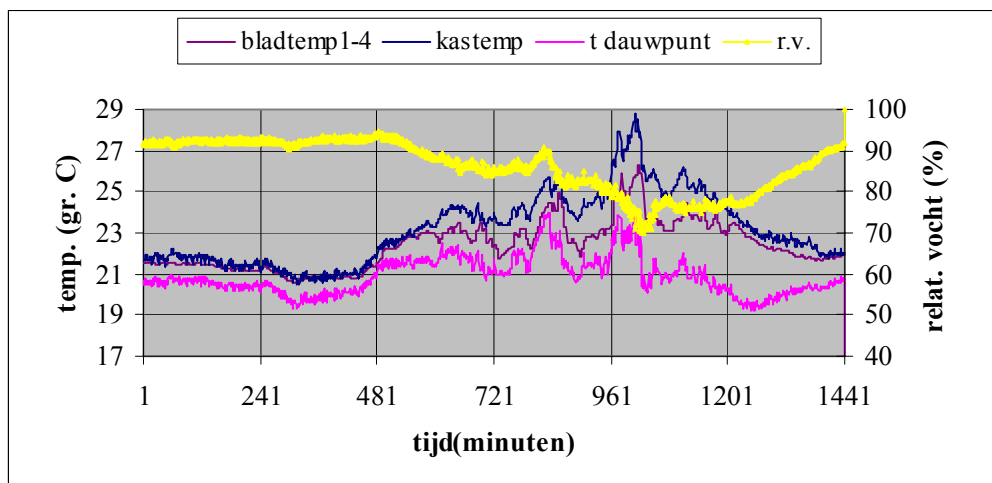


Fig. 17. Kas- en bladtemperatuur, de relatieve vochtigheid en de berekende dauwpuntstemperatuur op dag 218.

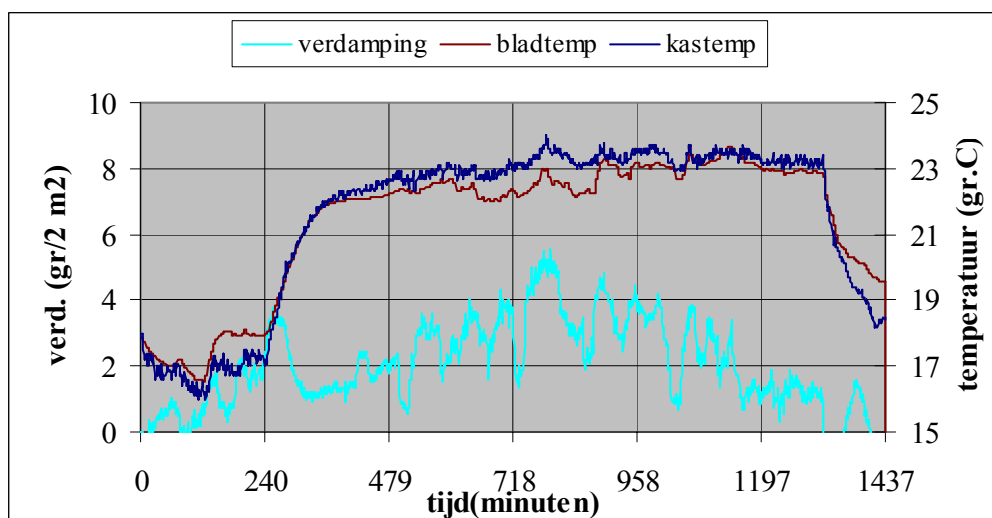


Fig. 18. Verloop van kas-, plant- en dauwpuntstemperatuur en verdamping op dag 253. N.b. assimilatiebelichting was ingeschakeld gedurende 120-600 en 1020-1320 minuten. De kasttemperatuur werd verhoogd op 240 minuten (setpoint 20 gr. C) en verlaagd op 1320 minuten.

De invloed van assimilatiebelicht van 4700 lux (gemeten $62 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ PAR of $28 \text{ W}/\text{m}^2$ globale straling) op de bladtemperatuur is bepaald. In Fig. 15 en Fig. 18 is te zien dat de bladtemperatuur ca. 1.5 gr. C verhoogd werd bij het aanschakelen van de belichting op 120 minuten. De kasluchttemperatuur werd in geringere mate verhoogd als gevolg van de assimilatiebelichting. Bij een hogere kasttemperatuur op 1020 minuten was het effect van assimilatiebelichting veel geringer.

3.5 Anthurium

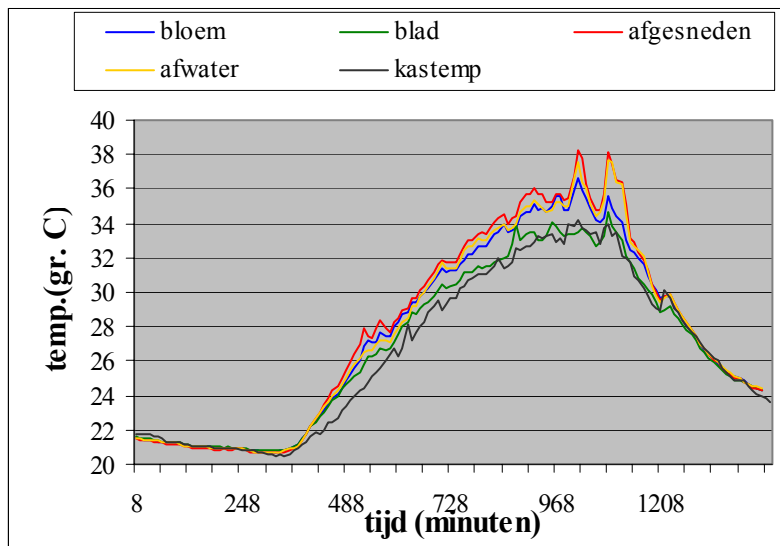


Fig. 19. Verloop van kasttemperatuur, blad- en bloemtemperatuur bladtemperatuur van afgesneden bladeren (wel en niet op water) gedurende dag

Bij Anthurium werden, in tegenstelling tot Gerbera, Spathiphyllum, Impatiens en chrysant geen lagere bladtemperaturen dan de kasttemperatuur gemeten. De bloemtemperatuur maar ook afgesneden bladeren vertonen waarschijnlijk een geringere verdamping dan blad aan de plant, waardoor de temperatuur overdag 2-4 graden hoger was.

3.6 Roos

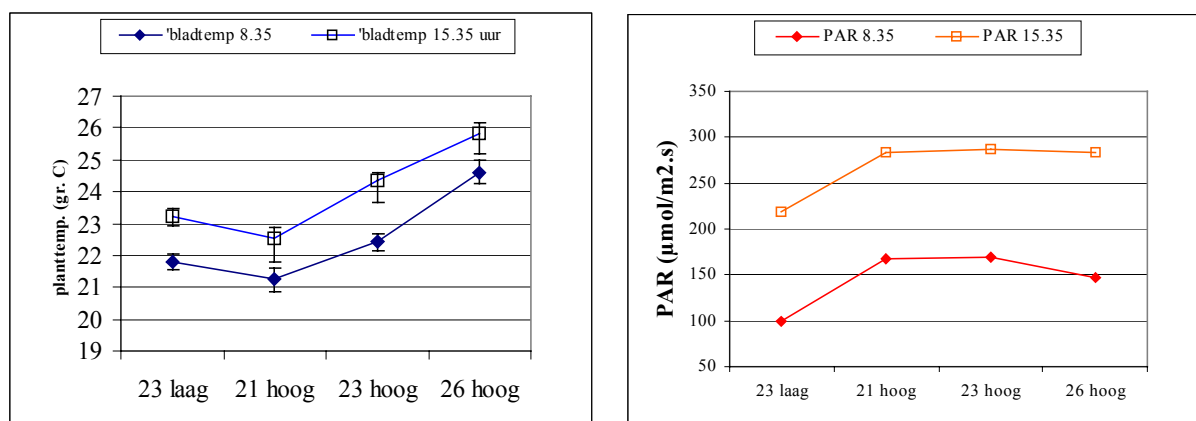


Fig. 20. Gemiddelde bladtemperaturen van First Red (links, n=10) en bijbehorende lichtintensiteit (rechts) op twee tijdstippen op dag 122 in vier afdelingen.

Bij de metingen aan roos is ook gebleken dat onder temperatuur geconditioneerde omstandigheden bij 23^o C de bladtemperatuur door het verhogen van de lichtintensiteit met ca. 70 µmol/m².s de temperatuur 0.7-1^oC verhoogd werd. Bij 21^oC was het effect groter aangezien de behandelingen 23 laag en 21 hoog minder

dan 0.5°C verschilden. Dit grotere effect van assimilatiebelichting bij lagere temperaturen correspondeert met de resultaten zoals gevonden bij gerbera (Fig. 18). Een verhoging van de lichtintensiteit van ca. $125 \mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$ als gevolg van natuurlijk licht had een verhoging van de bladtemperatuur van ca. 1.5°C tot gevolg.

4 Discussie

Betrouwbaarheid sensoren

In de resultaten zijn geen waarnemingen t.a.v. de *meetnauwkeurigheid* van de sensoren opgenomen. Toch zijn er wel oriënterende metingen uitgevoerd (b.v. met smeltend ijs) om de zgn. field of view (FOV) vast te stellen. Hieruit bleek dat de door de fabrikant opgegeven FOV van 3:1 (een nauwkeurige meting van een cirkel met diameter van b.v. 3 cm op 9 cm afstand) niet gehaald werd. Bij de Apogee sensoren werd geconstateerd dat de temperatuur af nam als de afstand groter was dan de helft van de diameter van het te meten object, m.a.w. een FOV van 0.5:1. Dit heeft tot gevolg dat schaduwwerking van de sensorbody op het meetoppervlak een rol kan gaan spelen, waardoor lagere bladtemperaturen gemeten kunnen worden. Anderzijds zal schaduwwerking bij een continuummeting gedurende de dag door de wijziging in zonnestand ook kunnen optreden door andere factoren (gevel, kasdek etc.). Afhankelijk van de toepassing zal dit meer of minder gevolgen hebben. Bij gebruik van de planttemperatuur als stressindicator zal vooral de maximale bladtemperatuur van belang zijn. Schaduwwerking van de sensor kan dan een onderschatting van de bladtemperatuur en dus mogelijk optredende stress geven. Hetzelfde geldt overigens bij het bepalen van een gemiddelde temperatuur over een groter oppervlakte. Hierbij zal de temperatuur van objecten met en zonder directe instraling gemeten worden. Bij planttemperatuur ter bepaling van condensatierisico zal dit probleem echter waarschijnlijk van geen belang zijn, omdat condensatie veelal optreedt op delen in de schaduw (b.v. vruchtgroenten).

Noodzakelijk aantal metingen

Het aantal metingen (n) dat nodig is om een betrouwbaar gemiddelde te krijgen van de bladtemperatuur met een gewenste nauwkeurigheid c wordt volgens Miller (1971) gegeven als $n=(2ts/c)^2$, waarin t Student's t is, die in eerste instantie als 1.96 genomen kan worden, en s de standaardafwijking in bladtemperatuur is. Deze standaardafwijking was bij chrysant $0.4-1.1^{\circ}\text{C}$ (zie 3.1.1). In tabel 4 is het aantal benodigde waarnemingen berekend op 4 tot 62 afhankelijk van s en c

S	C	N
0.5	1	4
1	1	15
0.5	0.5	15
1	0.5	62

Tabel 4. Benodigde aantal waarnemingen (n) om gemiddelde bladtemperatuur met betrouwbaarheid (c) van $0.5-1^{\circ}\text{C}$ te schatten bij een standaardafwijking (s) van $0.5-1^{\circ}\text{C}$. Dit betekent dat een groot aantal sensoren dan wel een mobiele meter dan wel thermografie nodig is om het aantal benodigde metingen te verkrijgen.

Planttemperatuur als stressindicator en stressdiagnostische parameter

In principe zou planttemperatuur een potentiële stressindicator voor het gebruik in de praktijk kunnen zijn. Wanneer tevens de variatie bepaald kan worden (canopy temperature variability Blad et al 1981), kan deze waarde een indicatie kan geven van de mate waarin watergebrek optreedt. Fig. 1 en Fig. 5 geven aan dat

deze variatie inderdaad toeneemt bij lagere vochtgehalten.

Wanneer er niet de mogelijkheid is om de ruimtelijke variatie in beeld te brengen door veel betrouwbare metingen uit te voeren, en alleen on-line metingen beschikbaar zijn van een gefixeerde sensor, is er alleen de mogelijkheid om de gewastemperatuur te vergelijken met b.v. de omgevingstemperatuur in de tijd. Dit verschil blad-omgevingstemperatuur (de zogenaamde delta-T) kon bij zonder stress verdampende bladeren zowel negatief (b.v. bij chrysanthe, Impatiens nieuw-Guinea, Spathiphyllum en Gerbera) als positief (bloem en blad van Anthurium) zijn. De delta-T kon oplopen tot 7°C bij Impatiens (Fig. 7). Een positieve delta-T is ook gevonden bij fotosyntheseonderzoek van Cymbidium (Warmenhoven et al. 1998), en tomaat en komkommer (Nederhoff en de Graaf 1993), terwijl roos (van Telgen en Baas 2001) een negatieve delta-T vertoonde onder niet-gestreste omstandigheden. Bladkarakteristieken (dikte, mate van verdamping) kunnen hiervoor verantwoordelijk zijn, en/of mogelijke meetfouten (ijking, plaatsing meetbox, meetmethode).

De grootte van delta-T wordt bovendien sterk bepaald door de verdamping; om hier rekening mee te houden is de crop water status index CWSI geformuleerd (IDSO 1981). Voor een berekening van de CWSI is de relatie tussen vochtdeficiet en gerealiseerd temperatuurverschil blad-lucht onder niet-gestreste omstandigheden van belang. Voor akkerbouwgewassen kan deze werkwijze wellicht bruikbaar zijn omdat enige stress getolereerd kan worden bij een limiterende waterbeschikbaarheid. In de tuinbouw zijn de toleranties echter geringer. Bovendien lijkt het voor praktijkomstandigheden vrij lastig om deze relaties vast te stellen. Daarnaast is geconcludeerd dat een milde vorm van waterstress met bladtemperaturen niet of nauwelijks te detecteren was bij chrysanthe (Tabel 1). Blijkbaar is bij lage instraling het effect op de verdamping onvoldoende om verschillen in bladtemperaturen betrouwbaar te meten, terwijl de verschillen in vochtgehalte en groei wel duidelijk te meten waren. Geconcludeerd wordt dat betrouwbare verschillen in bladtemperaturen alleen bij relatief hoge potentiële verdamping kunnen optreden b.v. bij een VPD > 7 g/kg. Bij gerbera, is geconstateerd dat verschillen in bladtemperatuur niet optreden (Fig. 13) bij het limiteren van de vochtvoorziening (Fig. 12), terwijl er wel verschillen in groei en productie optreden (R. Baas, niet gepubliceerde resultaten). Een kanttekening moet hierbij wel geplaatst worden. Niet uit te sluiten bij zowel gerbera als chrysanthe is dat een gebrek aan nutriënten m.n. stikstof, gedurende de 'droogteperiode' een effect op de groei (chrysanthe en gerbera) of bloeinductie (gerbera) hebben gehad. Verdamping bladtemperatuur zullen dan geen goede parameter voor de optredende stress zijn geweest.

Bovenstaande zaken geven aan dat bladtemperatuur als stressindicator parameter is met een beperkte bruikbaarheid. In combinatie met een vochtmeting, kan de bladtemperatuur een indicatie geven van waterstress (b.v. Impatiens in Fig. 8 en Spathiphyllum in Fig. 11) maar dat hoeft niet altijd het geval zijn (chrysanthe en gerbera).

Een geheel andere discussie is de vraag of het optreden van (water)stress negatief is. Bij een milde vorm van waterstress zullen met processen zoals de lengte en bladgroei geremd zijn. Voor de ontwikkelingssnelheid of uitgroei van vruchten of knoppen hoeven er echter geen negatieve effecten te zijn. Ook is bekend dat osmoregulatie bij waterstress gaat optreden, met als gevolg stresstolerantie dat van belang kan zijn bij volgende stressomstandigheden (Lambers et al. 1998).

Een toepassing van planttemperatuurmeting in de praktijk als stressindicator zou gezocht kunnen worden in die teelten waar droogtestress gehanteerd wordt als vorm van groeiregulatie. De watergift zou dan kunnen geschieden op basis van een gewijzigde delta-T (met drempelwaarde) t.o.v. voorgaande dagen.

Planttemperatuur als schatter verdamping

Bij gerbera was het mogelijk te onderzoeken in hoeverre de gemeten verdamping correleerde met het dampdrukverschil tussen huidmondjes en kaslucht, het vochtdeficiet blad-lucht, ofwel het door Brinkman geïntroduceerde begrip verdampingsdruk (Jasperse en Dumont 2001). Deze relatie bleek in de zomer vooral in de namiddag, avond en nacht de verdamping niet goed in te schatten (Fig. 14). Onder omstandigheden met assimilatiebelichting en stookinvloed bleek de relatie zelfs volledig te ontbreken (Fig. 15). De reden hiervoor is het feit dat het dampdrukverschil slechts een factor is die van belang is voor de verdamping (Kittas et al 1999). De globale straling op het gewas is een andere factor van belang voor de openingstoestand van de huidmondjes. De relatie tussen verdamping enerzijds en binnen gemeten globale straling (inclusief vochtdeficiet) anderzijds leverde dan ook een veel betere schatting van de verdamping op

(data niet gegeven). Voorlopige resultaten hiervan geven aan dat de verdamping eerder reageert dan de gemeten bladtemperatuur en bijbehorende verdampingsdruk. Er bleek dan ook geen relatie te leggen tussen verdampingsdruk en transpiratie onder donkere omstandigheden, mogelijk doordat bladeren boven in het gewas gemeten werden die nog niet opgewarmd waren, terwijl de verdamping van opgewarmde bladeren onder in het gewas al plaats vond. Een betere relatie werd gevonden tussen de buistemperatuur en de verdamping onder donkere omstandigheden (resultaten niet gegeven). De meerwaarde van planttemperatuurmetingen om effecten op verdamping in te kunnen schatten is dus niet aangetoond.

Planttemperatuur als schatter condensatierisico

Gedurende de nachtperiode lopen –bij afwezigheid van assimilatiebelichting - plant- en kasluchttemperatuur in het algemeen niet ver uit elkaar. Condensatie kan optreden indien bij opwarmen van de kaslucht de planttemperatuur achterblijft bij de kasluchttemperatuur. Vooral in het najaar, bij koudere nachten en hoge relatieve luchtvochtigheid is het risico groter. Het opwarmen en daarmee het risico van condensatie is bij organen met een grote waterinhoud groter, waardoor b.v. kieming van sporen van *Botrytis cinerea* kan optreden. Een model is ontwikkeld (Akchar 1998) en geïncorporeerd in klimaatcomputers van Hoogendoorn dat aan de hand van de vruchtdiameter de opwarming van vruchten kan voorspellen, waardoor het risico van condensatie ingeschat kan worden. Voor de opwarming van bloemen wordt tot op heden aangenomen dat er een vertraging van ca. 5 minuten is t.o.v. de kasluchttemperatuur (J. Voogt, persoonlijke mededelingen). Uit de in dit rapport gepresenteerd gegevens blijkt dat de bladtemperatuur inderdaad vrij parallel loopt aan veranderingen in de kasluchttemperatuur. Bij *Anthurium* bleek de reactie van blad en bloem zelfs sneller te reageren dan de kaslucht (Fig. 19). Voor bloemisterijgewassen met organen met een grotere waterinhoud (b.v. knoppen) zal nagegaan moeten worden of de snelheid van opwarming een extra risico op condensatie met zich meebrengt.

Planttemperatuur als indicator ontwikkelingsprocessen

In principe heeft de planttemperatuur een directere invloed op fysiologische processen dan de kasluchttemperatuur. Relaties tussen planttemperatuursommen en de uitgroeiduur van vruchten of bloemen of de ontwikkelingssnelheid van primordia zouden waarschijnlijk beter geschat kunnen worden op basis van groeipunttemperatuur dan op basis van kasluchttemperatuur (Shimizu en Heins 2002). Toch is de gehele kasklimaatregeling afgestemd op de kasluchttemperatuur. Verschillen tussen kas- en planttemperatuur (ΔT) treden echter op in afhankelijkheid van omgevingsfactoren. Faust en Heins (1998) maakten een schatting van de groeipunttemperatuur op basis van 4 factoren: globale straling, en temperaturen van natte en droge bol en van het kasdek. Hierbij zou dan de globale straling in de kas gemeten moeten worden om de effecten van assimilatiebelichting op planttemperatuur te verdisconteren. Meer onderzoek is nodig om te bezien of ontwikkelingsprocessen zoals knopontwikkeling of uitgroeiduur van vruchten beter relateert met metingen of schattingen van de temperatuur dan met alleen kastemperatuur.

5 Gebruikte Literatuur

- Akchar B 1998. Voorkomen van condensatie op kasgewassen door regeling op dauwpuntstemperatuur (stageverslag PBG)
- Anoniem 2000. Planttemperatuurmeter neemt twijfels weg. Groenten en Fruit 8 december 2000: 10-11.
- Blad BL, Gardner BR, Watts DG, Rosenberg NJ 1981. Remote sensing of crop moisture status. Remote sens. Q. 3: 4-20.
- Clawson KJ en Blad BL, 1982. Infrared thermometry scheduling irrigation of corn. Agron. J. 74: 311-316.
- Gastel T van, 2000. Naar PT-meter wordt voorlopig vooral veel gekeken. Groenten en Fruit 5 mei 2000: 4-7.
- Guenther R, 1989. Zum Verhältnis von Strahlungsenergie und der Verdunstung landwirtschaftlicher Pflanzenbestände. Arch. Acker- u. Pflanzenba und Bodenk. 33: 405-412.
- Idso SB, Reginato RJ, Reicovsky DC, Hatfield JL 1981. Determining soil-induced plant water potential depressions in alfalfa by means of infrared thermometry. Agron. J. 73: 826-830.
- Jackson RD, Reginato RJ, Idso SB 1977. Wheat canopy temperature: a practical tool for evaluating water requirements. Water Resource Research 13: 651-656.
- Jackson RD, Reginato RJ, Idso SB, Pinter PJ 1981. Canopy temperature as a crop water stress indicator. Water Resource Research 17: 1133-1138.
- Jasperse H en Dumont M. 2001. Planttemperatuurmeter opent mogelijkheden. Groenten en Fruit 2 maart 2001: 14-15.
- Kittas C, Katsoulas N, Baille A 1999. Transpiration and canopy resistance of greenhouse soilless roses: measurements and modeling. Acta Hort. 507: 61-68.
- 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.
- Nederhoff EM, Graaf R de 1993. Effects of CO₂ on conductance and transpiration of tomato and cucumber. J. of Hort. Sci. 68: 925-937.
- Shimizu H, Heins RD 2002. Prediction of plant shoot-tip temperature on a Penman-Monteith model. Acta Hort. 580: 169-176.
- Steiner JL, Smith RC, Meyer WS, Adeney JA 1985. Water use, foliage temperature and yield of irrigated wheat in South-Eastern Australia. Aust. J. Agric. Res. 36: 1-11.
- Telgen HJ van, Baas R 2001. Inzet plantmonitor bij CO₂-proef roos. Evaluatie metingen en gebruiksmogelijkheden. PPO publicatienummer 534.
- Warmenhoven MG, Blacquièrre T, Uitermark K 1998. Oriënterende fotosynthesemetingen bij Cymbidium Arcadian Sunrise 'Golden Fleece'. PBG Intern verslag 174.
- 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.

6 Samenvatting

Uit de literatuur blijkt dat de meting van planttemperatuur in principe als indicator voor (water)stress, voor het inschatten van de verdamping, voor het inschatten van risico van condensatie op het gewas, of als parameter voor groei/ontwikkeling gebruikt zou kunnen worden. In dit onderzoek is in een aantal experimenten de waarde van deze potentie onderzocht met het oog op toepassing in de glastuinbouw. De temperatuur van plantendelen kan zowel met infraroodsensoren als met thermokoppels bepaald worden. Het voordeel van infrarood is dat deze techniek niet-invasief is waardoor deze meting de voorkeur heeft voor praktijkomstandigheden. De beperkingen van de meting zijn de grote variatie die op kan treden binnen het gewas waardoor meerdere metingen noodzakelijk zijn om een betrouwbaar gemiddelde te verkrijgen.

Planttemperatuur is een onderdeel van de warmtebalans van bladeren. Afhankelijk van de componenten straling, convectie en verdamping kan planttemperatuur hoger of lager dan de omgevingstemperatuur zijn, en zal deze stijgen of dalen in de tijd.

Bij watergebrek zal de bladtemperatuur stijgen omdat de transpiratie vermindert als gevolg van het sluiten van de huidmondjes. Het probleem is echter, naast de optredende variatie, dat een referentietemperatuur bekend moet zijn om te beoordelen of er al dan niet sprake is van waterstress. Het in de akkerbouw gebruikte begrip crop water status index is voor de tuinbouw waarschijnlijk lastig hanteerbaar, omdat het vereist dat verbanden bekend zijn tussen het verschil blad- en kasluchttemperatuur enerzijds en vochtdeficiet onder niet limiterende omstandigheden. Daarnaast bleken effecten van waterstress alleen meetbaar op te treden bij relatief hoge verdamping c.q. hoog vochtdeficiet (chrysanth) of waren de temperatuureffecten relatief gering (gerbera). Al deze zaken tezamen (variatie in tijd en plaats, ontbreken referentie, geringe effecten op bladtemperatuur) geven aan dat voor stressdetectering planttemperatuur momenteel ongeschikt is.

Met thermografie, waarbij met infrarood de temperatuurverdeling ruimtelijk bepaald kan worden kan deze variatie bepaald worden, waardoor meer mogelijkheden – zoals bepaling variatie en maximale temperaturen binnen het gewas als maat voor optredende stress - binnen bereik komen.

Ten aanzien van het inschatten van de verdamping op basis van het vochtdeficiet blad-kaslucht werden slechts matige tot slechte relaties gevonden. Dit hing onder meer samen met sluiting van de huidmondjes (en verdamping) onder lage lichtintensiteiten. Ook werd geen toegevoegde waarde gevonden door het vochtdeficiet blad-lucht te betrekken bij de schatting van de verdamping op basis van globale straling binnen de kas. De verdamping in de ochtend bleek meer samen te hangen met de buistemperatuur, waarschijnlijk omdat deze temperatuur direct een effect op de verdamping had, terwijl de temperatuur van de bovenste gemeten bladeren pas na verloop van tijd beïnvloed werd.

De planttemperatuur kan gebruikt worden om het risico van condensatie te bepalen, waardoor hierop ingespeeld kan worden met klimaatmaatregelen. Bovendien kunnen dan de mogelijkheden van energiebesparende maatregelen zoals temperatuurintegratie wellicht beter worden benut.

Uit het onderzoek bleek het verloop van de bladtemperatuur bij de verschillende gewassen niet duidelijk te verschillen ten opzichte van veranderingen in de kasluchttemperatuur. Momenteel wordt nog onderzocht in hoeverre organen met een grotere waterinhoud kunnen achterblijven in temperatuur bij een oplopende kastemperatuur. Voor deze toepassing zou plaatsing van de sensor bij voorkeur op de koudste plekken in de kas en bij organen met de grootste omvang moeten geschieden.

Fysiologische processen zoals fotosynthese, respiratie en ontwikkeling zouden in principe beter door planttemperatuur (en planttemperatuursommen) dan door kastemperatuur (kastemperatuursommen) beschreven kunnen worden. Zo bleek assimilatiebelichting de planttemperatuur tot 2 graden te verhogen ten opzichte van de ruimtetemperatuur. Dit opent mogelijkheden energiebesparing te realiseren door de kasluchttemperatuur te verlagen.