Proefstation voor Bloemisterij en Glasgroente
Vestiging Naaldwijk
Postbus 8, 2670 AA Naaldwijk
Tel. 0174-636700, fax 0174-636835

ISSN 1385 - 3015

HET OPLOSSEN VAN HORIZONTALE TEMPERATUURVERSCHILLEN OP SIERGEWASBEDRIJVEN

Project 004-1704

M. Esmeijer
R. Tuin
M.van der Meer

Naaldwijk, oktober 2000
Rapport 262
Prijs *f* 25,00

Rapport 262 wordt u toegestuurd na storting van *f* 25,00 op banknummer 300 177 976 ten name van Proefstation Naaldwijk onder vermelding van 'Rapport 262, Het oplossen van horizontale temperatuurverschillen op siergewasbedrijven'.

ISN 1602143

INHOUD

INHOUD 3

VOORWOORD 6

SAMENVATTING 7

1. INLEIDING 9

2. METINGEN OP BEDRIJVEN 10
   2.1 KEUZE VOOR BEDRIJFSTYPEN 10
   2.2 BEVINDINGEN BIJ HET METEN 11
      2.2.1 Wat meten 11
      2.2.2 Hoe meten 13
      2.2.3 Wanneer meten 14
      2.2.4 Problemen met de flesjes 14
      2.2.5 Extra waarnemingen tijdens het meten 15
   2.3 GEVONDEN VERSCHILLEN EN BELANGRIJKSTE OORZAKEN 15
      2.3.1 Invloed van de verwarming en gebouwen 15
      2.3.2 Verschillende stooktemperaturen in één kas 16
      2.3.3 Aparte constructies en andere aanpassingen 16
   2.4 UITTESTEN OPLOSSINGEN IN DE HANDLEIDING 17
   2.5 MEDEWERKING TUINDERS 18

3. WARMTEAFGIFTEPROGRAMMA 20
   3.1 ACHTERGROND VAN HET PROGRAMMA 20
   3.2 TESTPERIODE 20
      3.2.1 Indruk van de geteste bedrijven 21
   3.3 TESTRESULTATEN 21
   3.4 CONCLUSIES WARMTEAFGIFTEPROGRAMMA 23

4. ALTERNATIEVE MEETMETHODEN 24
   4.1 MINIDATALOGGERS 24
      4.1.1 Aanvullende testen met minidataloggertjes 245
   4.2 NOGMAALS THERMOKOPPELS 26
   4.3 REACTIES TECHNET 28
      4.3.1 Telemeten 28
      4.3.2 Infrarood meten 28
      4.3.3 De daalders van Twince 28
   4.4 AKOESTISCH METEN 29

5. AANPASSINGEN IN DE HANDLEIDING 30
   5.1 OVER HET WERKEN MET DE HANDLEIDING 30
   5.2 STAP 3 BEPALEN VAN DE MEETMETHODE 30
   5.3 STAP 4 METEN 30
   5.4 STAP 5 HET VERWERKEN VAN DE GEGEVENS 31
   5.5 STAP 6 OORZAKEN EN OPLOSSINGEN ZOEKEN 31

6. DISCUSSIE 32
6.1 TEMPERATUURVERLAGING EN ENERGIEBESPARING 32
6.2 NUT VAN VERBETERINGEN 32

7. CONCLUSIES 34

LITERATUUR 35

BIJLAGE 1 SAMENVATTING VAN HET TUSSENRAPPORT 36

BIJLAGE 2 WARMTEAFGIFTEPROGRAMMA 37

BIJLAGE 3 RESULTAAT BEGELEIDING TOEPASSING HANDLEIDING 41

VOORWOORD

Tussen 1993 en 1997 is door het PBG onderzoek gedaan naar de horizontale klimaatverschillen op praktijkbedrijven met het buisrailsysteem en mattenteelt. De bevindingen in dit project resulteerden in een handleiding voor het opsporen en oplossen van horizontale klimaatverschillen, bij het PBG verkrijgbaar als rapport 112. Omdat horizontale klimaatverschillen ook voorkomen op andere typen glastuinbouwbedrijven is een vervolgproject ontwikkeld ten einde de handleiding en de daarin geboden oplossingen te testen op meer bedrijven. Het project 'Praktijkimplementatie van een systeem om klimaatverschillen in kassen op te lossen' ging eind 1997 van start.
Door wisselingen van baan en functie en door ziekte heeft de projectgroep in wisselende samenstelling gewerkt. C. Bloemhard, F. Tak, R. Tuin, H. Lamers, M. van der Meer, G. van den Berg en M. Esmeijer hebben het grootste deel van het werk uitgevoerd, ondersteund door tal van anderen. Desalniettemin heeft de projectgroep een grote verscheidenheid aan bedrijven kunnen meten waarop de bevindingen in dit eindrapport gebaseerd zijn.
Inmiddels heeft dit geresulteerd in een gewijzigde versie van de handleiding en diverse artikelen in de vakpers. Daarnaast is de elektronische vraagbaak, 'www.agriquestor.nl', gevuld met de bevindingen uit beide onderzoeken.

M. H. Esmeijer

SAMENVATTING

Het eerste doel van dit project was het verbreden van de toepasbaarheid van een meetprotocol voor horizontale klimaatverschillen zoals beschreven in de 'Handleiding voor het opsporen en oplossen van horizontale klimaatverschillen' (Nijs, 1997). Dit protocol was getest op een tiental buisrailbedrijven. Gezien het belang van een goed horizontaal klimaat voor een energie-efficiënte teelt was verbreding naar andere teeltsystemen gewenst.
De methode werd gedurende twee winters getest op een uiteenlopend scala aan bedrijfstypen, te weten:

1) Beddenteelt in de grond met grondverwarming en bovennet (Amaryllis bloemen)
2) Volveld teelt in de grond met grondverwarming zonder bovennet (Amaryllis bollen)
3) Beddenteelt in de grond of substraatbakken met hijsverwarming en bovennet, warme teelt (Chrysant) en koude teelt (Anjers).
4) Betonvloer met vloerverwarming en een bovennet (potplanten)
5) Rijenteelt met bovennet en gewasverwarming (Gerbera)
6) Beddenteelt met ondernet met en zonder bovennet (Roos)

Het werken met het stappenplan uit de handleiding was over het algemeen eenvoudig. Het uitvoeren van de stappen op de gekozen bedrijfstypen was minder eenvoudig. Dit kwam door de slechtere toegankelijkheid. Al in het eerste jaar werd daarom naar alternatieve meetmethoden gezocht en werden aanpassingen ontwikkeld om de bestaande methode ook op deze bedrijfstypen te kunnen gebruiken. Een goede alternatieve meetmethode is nog niet gevonden, maar met de controlemetingen, de ontwikkelde correctiefactor en de plakmethode is het goed mogelijk een betrouwbaar beeld van de horizontale temperatuurverdeling te krijgen. Het zoeken naar oorzaken en oplossingen voor horizontale temperatuurverschillen bleek voor mensen die nog niet zoveel zicht hebben op kassen en kasklimaat behoorlijk ingewikkeld en foutgevoelig.
Na twee jaar onderzoek zijn er een aantal punten gevonden waarop de handleiding aangepast gaat worden. De handleiding wordt daarmee breder toepasbaar, dat wil zeggen ook op niet buisrailbedrijven, en de kans op fouten kleiner. De aanpassingen betreffen zowel het meten zelf, als het verwerken van de meetgegevens en het verbeteren van de gevonden verschillen. De handleiding wordt aangepast. Slechts op één bedrijfstype blijft het meten moeilijk. Dit zijn de sterk geautomatiseerde bedrijven met een spuitrobot en rolcontainers of transporttafels. Deze bedrijven kunnen niet met mattemperatuur of flesjesmetingen uit de voeten. Zij blijven aan gewezen op het duurdere inhuren van minidataloggers.
Het tweede doel was het uittesten van een speciaal ontwikkeld warmteafgifte-programma. Het programma berekent de evenwichtstemperatuur van een stukje kas. Hiermee is het mogelijk om verschillen in ruimtetemperatuur, veroorzaakt door de verwarming op te sporen. Nadat het programma ook op onze computers draaide werd het uitvoerig getest met gegevens van de bezochte bedrijven. Tijdens het testen kwam een groot aantal kleine en grote verbeterpunten aan het licht. Een gedeelte hiervan is tijdens het project nog aangepast, als gevolg van de aanpassingen kwamen ook weer nieuwe problemen naar voren. Uiteindelijk bleek er goed te werken met het huidige programma mits een paar belangrijke kanttekeningen bij verdere verwerking meegenomen worden. Dit betreft met name de onderschatting van de warmteverliezen van buizen vlak onder het dek en het overschatten van de afgifte van dikke buizen.
Het IMAG is verder verantwoordelijk voor de toekomst van dit programma.

De conclusies van twee jaar onderzoek zijn als volgt:

1. De handleiding om horizontale klimaatverschillen op te sporen en op te lossen voldoet prima voor standaard buisrail bedrijven.
2. Met enkele aanpassingen is de handleiding ook geschikt voor andere bedrijfstypen, al is het meten hier vaak wat bewerkelijker. Een uitzondering hierop zijn sterk geautomatiseerde bedrijven waar de handleiding niet bruikbaar blijft.
3. Het warmteafgifteprogramma WARMV is momenteel bruikbaar voor buisrailbedrijven en met kanttekeningen ook toepasbaar op andere bedrijven. Met een aantal aanpassingen wint het aan gebruiksgemak en toepasbaarheid.
4. Minidataloggers zijn in het donker goed bruikbaar om een beeld van het horizontale klimaat te krijgen. Onder invloed van zon en assimilatielicht wijken de metingen af van de werkelijkheid.

1. INLEIDING

In Nederland worden veel gewassen in verwarmde kassen geteeld. Verwarmen van kassen kost energie. Voor goede teeltresultaten alsmede een goede teeltplanning is een gelijkmatige gewasontwikkeling gewenst, zowel in de loop van de tijd als over het teeltoppervlak heen. Temperatuur heeft een grote invloed op de ontwikkeling van de planten. Koude en warme plekken vertragen respectievelijk versnellen de ontwikkeling van het gewas ter plaatse. Voor eenmalig oogstbare gewassen betekent dit dat het gewas niet gelijktijdig oogstrijp is. Het oogsten kost meer arbeid (terugkomen) of er is meer uitval (te rijp of te onrijp). Bij meermalig oogstbare gewassen kunnen temperatuurverschillen leiden tot locale opbrengst- en kwaliteitsverschillen. Daarnaast kan het gewas op koude plekken eerder natslaan, waarmee een invalspoort voor ziekten ontstaat. Om te natte plekken te voorkomen wordt extra gestookt, onder andere door inzet van de minimumbuis. Daarnaast gebruiken veel tuinders ventilatoren om het klimaat op hun tuin te homogeniseren. Ventilatoren kosten energie, ze verhogen het warmteverlies door het kasdek en ze vangen onnodig licht weg. Extra stoken en ventilatoren zouden niet nodig zijn als de oorzaak van de temperatuurverschillen werd weggenomen.

Horizontale klimaatverschillen op praktijkbedrijven zijn niet nieuw. Het bestaan hiervan was eind jaren zeventig al bekend. Pas in 1984 kwam goede meetapparatuur beschikbaar waarmee de verschillen geregistreerd konden worden. Toch bleef het opsporen en oplossen van de verschillen van ondergeschikt belang, mede omdat tuinders er de noodzaak niet van in zagen/ zien. In het voorgaande project werd daarom ook aandacht besteed aan de gevolgen van klimaatverschillen. Op twee bedrijven werden opbrengstwaarnemingen uitgevoerd. Op het tomatenbedrijf was het verschil tussen de hoogste en de laagste productie 4 kg, en op het paprikabedrijf 4,4 kg. Als resultaat van dit project verscheen in 1997 een handleiding om op eenvoudige wijze horizontale klimaatverschillen in kassen met een buisrailsysteem op te sporen en op te lossen. Aansluitend werd besloten om de resultaten te verbreden naar meer, liefst alle, bedrijfstypen voor siergewassen.
Tussen november 1997 en december 1999 ging een projectgroep hiermee aan de gang. In het eerste winterseizoen werden drie bedrijfstypen onderzocht, te weten Amaryllis, chrysant en potplanten. In het tweede seizoen werd dit uitgebreid met roos, gerbera en anjers. De bevindingen in het eerste winterseizoen zijn beschreven in een tussenverslag. De samenvatting van dit verslag staat in bijlage 1. Wanneer nuttig is ook in dit verslag informatie uit het eerste jaar opgenomen.
Naar aanleiding van het eerste project heeft het IMAG-DLO een computerprogramma geschreven, WARMV, waarmee de warmteafgifte van de verwarming in de kas kon worden berekend. Dit programma is gebaseerd op de buisrailbedrijven met groeibuis die in het eerste onderzoek meededen. De projectgroep heeft in het tweede jaar de bruikbaarheid van dit programma getest op de andere bedrijfstypen, waarna het op een aantal punten is aangepast.

2. METINGEN OP BEDRIJVEN

2.1 KEUZE VOOR BEDRIJFSTYPEN

Nadat besloten was om de bevindingen uit het eerste project toe te passen op siergewasbedrijven is begonnen met een inventarisatie van de verschillende teeltsystemen. Zowel in- als externe bronnen werden geraadpleegd ten einde tot een lijst van gangbare systemen te komen. Deze bleek niet te bestaan. Het LEI hanteerde bij hun inventarisaties de volgende tabel:

Tabel 1- Aandeel van het areaal met volledige vaste buisverwarming en de verdeling naar ligging in de kas in de glastuinbouw per subsector eind 1992 (%)

Plaats van het verwarmingsnet	subsectoren Groente	Bloemen	Potplanten	Totaal
Alleen buisverwarming	74	72	84	75
waarvan:				
- alleen onder in de kas	54	7	3	29
- tussen grond en goot	13	36	12	22
- alleen boven in de kas	-	15	5	7
- combinaties	33	42	80	42
	100	100	100	100

Overgenomen uit Energie in de glastuinbouw van Nederland – Ontwikkelingen in de sector en op de bedrijven t/m 1994. LEI rapport 39-93

De sectie teelt siergewassen van het PBG stelde het in Tabel 2 staande lijstje voor productiesystemen van potplanten op. Het verschil tussen roltafels en transporttafels is de afstand waarover de tafels worden verplaatst. Roltafels blijven min of meer op dezelfde positie in de kas, transporttafels gaan door het hele bedrijf, tot aan de centrale verwerkingsruimte aan toe. Vooral groene planten worden op betonvloeren geteeld, bloeiende planten staan vaker op tafels.

Tabel 2- Productiesystemen van potplanten in 1989 en de veranderingen hierin in 1997.

systeem	% in 1989	1997	verwarming
op de grond	34	- -	slangen + bovennet
betonvloer	14	+ +	vloerverwarming + bovennet
vaste tafels	18	- / 0	ondernet / tafelverwarming + bovennet
roltafels	14	0	ondernet / tafelverwarming + bovennet
transporttafels	11	+ +	ondernet + bovennet
overig	9		

- = afname 0 = gelijk + = toename

Na overleg met de gewasonderzoekers voor siergewassen op het PBG is in het eerste jaar gekozen voor drie bedrijfstypen te weten: chrysant, Amaryllis en potplanten op betonvloeren. Vier Amaryllisbedrijven, vier bedrijven met chrysant en vijf met potplanten

werden gemeten. Van deze bedrijven werd een verslag gemaakt dat met de betrokken tuinder in het najaar van 1998 is doorgesproken. Helaas bleken slechts een paar van de deelnemende tuinders bereid om ook daadwerkelijk op korte termijn aanpassingen te doen. Deze tuinders zijn vervolgens in de winter opnieuw meegenomen in het onderzoek. Daarnaast zijn verschillende nieuwe bedrijven bezocht, te weten drie anjerbedrijven, twee rozentelers, vier gerberatelers en twee potplantenbedrijven. In het eerste seizoen is ook een tomatentuinder begeleid die zelf met de handleiding op zijn bedrijf aan de slag ging. Dit betrof een bedrijfstype dat reeds uitvoerig getest was, namelijk het buisrailsysteem met groeibuis. In bijlage 3 staat een verslag van de bevindingen op dit bedrijf. De methode is uiteindelijk getest op de volgende 'nieuwe' bedrijfstypen:

1) Beddenteelt in de grond met grondverwarming en bovennet (Amaryllis bloemen)
2) Volveld teelt in de grond met grondverwarming zonder bovennet (Amaryllis bollen)
3) Beddenteelt in de grond of substraatbakken met hijsverwarming en bovennet, warme teelt (Chrysant) en koude teelt (Anjers).
4) Betonvloer met vloerverwarming en een bovennet (potplanten)
5) Rijenteelt met bovennet en gewasverwarming(Gerbera)
6) Beddenteelt met ondernet met en zonder bovennet (Roos)

Buiten het in de groenteteelt gebruikelijke Venlowarenhuis, is ook gemeten in diverse breedkappers met verschillende goothoogten. De hoogste kas had een goothoogte van 12 m.

2.2 BEVINDINGEN BIJ HET METEN

2.2.1 Wat meten

In de handleiding (Nijs, 1997) wordt geadviseerd om bijvoorkeur de mattemperatuur te meten en bij grondteelten de grondtemperatuur. De grond en in mindere mate de mat bufferen de ruimtetemperatuur, zodat plotselinge veranderingen tijdens een meting deze niet beïnvloeden. Het meten van de grondtemperatuur heeft een groot nadeel. De grondtemperatuur hangt af van de vochttoestand van de grond en wordt sterk bepaald door het moment en de plaats van water geven. Het vochtgehalte van de grond of potten is zelden overal in de kas gelijk, en het gevaar bestaat dat temperatuurverschillen worden gemeten die in werkelijkheid vochtverschillen in de grond zijn. Ook het meten van de pottemperatuur op diverse plaatsen in de kas om zo een temperatuurverdeling te vinden is hierdoor onbetrouwbaar. Om die reden heeft de projectgroep bij grondteelten en containerteelten gekozen voor het meten in flesjes.
Het is bijna altijd mogelijk om op een bedrijf de mattemperatuur te meten of om bierflesjes te plaatsen. Een handige ophangmethode bij beddenteelt is het ophangen aan de staanders van het steungaas. Het bovenste dwarsbalkje wordt in de hoogste stand gezet en hier wordt het flesje aan gehangen. Daarmee hangen de flesjes overal ongeveer even hoog, één van de vereisten voor een goed beeld. Bij teelten in de volle grond of in grote potten kunnen de flesjes met tape aan tonkinstokken worden bevestigd en deze stokken vervolgens in de (pot)grond gestoken (zie ook de foto in paragraaf 2.2.2).

Ophangmethode van flesje aan de bovenste dwarsbalk van het steungaas

Op deze regel is één uitzondering. Op geautomatiseerde bedrijven met rolcontainers en een spuitrobot is het niet mogelijk om de flesjes op te hangen. Ze hinderen de robot in zijn werk. Een mogelijke oplossing is de flesjes weg te halen voor er wordt gespoten en weer op te hangen voor een volgende meetsessie. Dit maakt het meten omslachtiger. De positie van de flesjes in de kas moet dan uiteraard goed terug te vinden zijn. Het plaatsen van de flesjes in de potten is evenmin mogelijk omdat deze niet op één positie blijven en / of het niet mogelijk is de meetpunten snel te bereiken. Om deze redenen zijn diverse potplantenbedrijven afgevallen alhoewel ze zeer geïnteresseerd waren in deelname. Dit betekent dat deze bedrijven aangewezen zijn op andere meetmethoden, zoals het inhuren van minidataloggers.
Het meten van de mat bij een meerjarig rozengewas bleek erg moeilijk. De mat was vrijwel geheel doorworteld, en de rozenstruiken zelf vormden een nagenoeg ondoordringbare hindernis. Hoewel mattemperatuur de voorkeur heeft, moet in een dergelijke situatie toch voor flesjes worden gekozen.

2.2.2 Hoe meten

De meetmethode zelf werkte goed op alle bedrijven waar gemakkelijk door de kas gelopen kan worden. Zoals ook in het tussenrapport (Bloemhard et al., 1999) al beschreven is, waren de gekozen bedrijfstypen meestal minder toegankelijk. Het was vaak onmogelijk om tijdens de teelt snel tussen het gewas door te lopen, waardoor het moeilijk was om dwars door de kas op verschillende plaatsen te meten. De tuinders lopen zelf ook minder tot niet tussen het gewas door. Soms zijn er wel zogenaamde schouwpaden, die gebruikt worden voor het controleren van het gewas op ziekten en plagen. De verdeling van deze paden over de kas is niet altijd direct bruikbaar voor een meting. Door gebruik te maken van een hengel was het mogelijk om niet beloopbare flesjes te meten vanaf een in de buurt liggend pad. De foto toont het gebruik van de hengel. Alleen het ophangen en weer weghalen van de flesjes kostte nog relatief veel tijd.

De temperatuur van een flesje aan een stok in een grote pot wordt gemeten met behulp van een 'hengel'.

Een aantal bedrijven beschikt over een 'overgewaswagen' of gewasfiets. Deze hangen aan de buizen van het bovennet, dat tevens als transportrail dienst doet. Deze fiets dan wel wagen gebruiken de tuinders bij het verzorgen van het gewas, en bij het ziekte-schouwen. Het verplaatsen van de gewaswagen van de ene kap naar de andere kap is zwaar en tijdrovend werk, waar twee mensen voor nodig zijn. Een sterk persoon kan een fiets in zijn eentje tillen. Dit bleek voor een bruikbare temperatuur meting uiteindelijk bezwaarlijk.
Ook voor tuinders die zelf gaan meten vormt dit een probleem. Dit is onder meer op te lossen door de ontwikkelde correctiefactor. Ook is het mogelijk de metingen uit te voeren op een moment dat er wel tussen het gewas gelopen kan worden, bijvoorbeeld omdat het nog klein is. Dit betekent echter dat een tuin slechts in gedeelten gemeten

kan worden. Voor een totaalbeeld moet de tuinder de plaatjes aan elkaar plakken. In paragraaf 5.3 wordt meer aandacht besteed aan de correctiefactor en de 'plakmethode'. Een alternatief is het inhuren van minidataloggertjes via de Stichting Teeltbegeleiding of de DLV. Omdat hier ook gelijk een verslag van de resultaten bij hoort, met daarin mogelijke oplossingen kan dit voor een tuinder ondanks de prijs toch aantrekkelijk zijn. In paragraaf 4.1 staat meer over het werken met deze dataloggers.

2.2.3 Wanneer meten

Naast de in de handleiding (Nijs, 1997) genoemde punten waar bij aanvang van een meting op gelet dient te worden, bleek bij de nieuw gekozen teelten nog een aspect van belang. Een aantal van de door ons gekozen teelten wordt beregend. Dit heeft tot gevolg dat de flesjes nat worden. De waterdruppels op het flesje verdampen en hierdoor koelt het flesje af. Ook vallen er druppels met een lagere temperatuur in het flesje. Het flesje heeft tijd nodig om weer op de omgevingstemperatuur te komen. Water geven gebeurt zelden in de gehele kas tegelijk, en zelfs binnen een verwarmingsgroep kunnen kraanvakken nog verschillend water krijgen. Kort na een regenbeurt meten geeft een vertekent beeld. De flesjes uit de beregende paden geven een lagere temperatuur aan dan er in werkelijkheid is. Daarom moet altijd voor een regenbeurt worden gemeten, of anders minimaal twaalf uur daarna.
Wanneer het rond zonop niet voldoende koud meer is om te meten, is het ook mogelijk om 's nachts te meten. In kassen met assimilatiebelichting is tijdens branduren voldoende licht om de thermometers af te lezen. Het geeft tevens de mogelijkheid om in een stabiele situatie de invloed van de lampen te meten. De flesjes dienen wel allemaal op dezelfde afstand van de lampen te hangen. In kassen zonder belichting kan het erg donker zijn. Het gebruik van een hoofdlamp of mijnwerkerslamp is dan aan te raden. Uit oogpunt van veiligheid is het beter om 's nachts met twee mensen te meten. De meeste tuinders hadden echter bezwaar tegen onze aanwezigheid in de avonduren of nacht, zodat dit voor de projectgroep slechts sporadisch een oplossing was. Voor tuinders zelf kan dit een goede optie zijn, zeker als ze naast het bedrijf wonen.

2.2.4 Problemen met de flesjes

Op dagen met veel instraling warmen de flesjes door de zon op. In de handleiding wordt hier ook al melding van gemaakt. Uit onze experimenten bleek een instraling beneden de 75 W geen problemen te geven (Bloemhard et al., 1999). Dit betekent dat de zon een meting al snel kan verstoren. Op sombere, egaal bewolkte dagen kan ook overdag worden gemeten, op alle andere dagen moet rond zonop worden gemeten.
Het water in de flesjes verdampte na verloop van tijd. Ook werden flesjes al dan niet per ongeluk omgestoten. Bij iedere meetsessie werd daarom een flacon water meegenomen om de flesjes na meting aan te vullen. Aanvullen voor meten geeft verstoring van de meting omdat het bijgevulde water enige uren nodig heeft om op de plaatselijke kastemperatuur te komen. Om verdamping uit de flesjes tegen te gaan werd eerst op het water een dun laagje slaolie aangebracht. Dit was geen succes. De olie bedierf en verspreide een misselijk makende geur. De (bedorven) olie bleef ook aan de thermometer hangen en belandde aldus op de handen. Dit werd als zeer onplezierig ervaren. Minerale olie is geen goede vervanger, het bederft weliswaar niet, maar is uit milieuoverwegingen ongewenst en ruikt ook niet bepaald prettig.

2.2.5 Extra waarnemingen tijdens het meten

Hoogte van de verwarming
Veel teelten maken gebruik van een groeibuis of hijsverwarming. Een groeibuis is een dunne metalen buis tussen het gewas, meestal met een diameter van 28 mm. De hijsverwarming bestaat meestal uit een dunne verwarmingsslang bevestigd op het bovenste steungaas. De temperatuur is altijd begrensd om verbranding van het gewas te voorkomen. Bij de start van de teelt ligt deze op de grond om met het groeien van het gewas omhoog te komen. De hoogte van groeibuis varieert ook vaak binnen een teelt. De hoogte van de groeibuis of hijsverwarming in een meetpad moet ook worden genoteerd. Naarmate deze verwarming dichter bij een flesje komt heeft deze namelijk meer invloed op de temperatuur van het flesje.

Hoogte van het gewas
Diverse siergewassen worden 'continu' geteeld. Dat wil zeggen dat vrijwel steeds alle stadia, van net gepoot of opgepot tot oogstklaar in een kas voorkomen. Dit had tot gevolg dat de hoogte van het gewas in een meetpad regelmatig veranderde. Vooral de overgang van vlak voor de oogst naar nieuwe teelt was groot. Soms lag een teeltvak tijdelijk leeg. De temperatuur in een vak zonder of met een heel laag gewas veranderde sneller dan in een vak met een aanzienlijk gewas. Vaak werd gevonden dat het iets warmer was dan in de ernaast gelegen vakken met hoger gewas. De verdamping van het gewas was hier verantwoordelijk voor. Hier moet rekening mee worden gehouden. Bij deze teelten moet ook steeds de hoogte van het gewas in het meetpad en aangrenzende paden genoteerd worden. Dit geldt bij eenmalig oogstbare snijbloemen als chrysanten, maar ook bij potplanten waar regelmatig geraapt en opnieuw opgezet wordt.

2.3 GEVONDEN VERSCHILLEN EN BELANGRIJKSTE OORZAKEN

2.3.1 Invloed van de verwarming en gebouwen

Net als in het voorgaande project werden vaak grote verschillen in temperatuur gevonden. Op vrijwel alle bedrijven zorgden het ketelhuis en menggroepen verspreid in de kas voor warme plekken. De invloed van menggroepen was op lange smalle bedrijven groter dan op korte brede bedrijven. Een betere isolatie van ketelhuis of menggroep lost dit op. Ook andere aangrenzende ruimtes met een afwijkende temperatuur verstoorden het horizontale klimaat. Een betere isolatie van de koude of warme ruimte is de beste oplossing.
Een ander probleem vormden deels ingebouwde kassen. De gevelverwarming was over de gehele gevel of rondom vaak gelijk. Omdat langs een deel van de gevel een belendend gebouw stond en langs een deel niet of langs de ene gevel wel en de andere gevel aan open terrein grensde, ontstonden er temperatuurverschillen. De buitentemperatuur langs de gevels is in deze gevallen namelijk niet gelijk. Tussen beide gebouwen is deze hoger. Ook de k-waarde van een ingebouwde gevel is anders dan die van een open gevel. De k-waarde is van belang voor de warmteoverdracht vanuit de kas. Dit heeft tot gevolg dat het warmteverlies vanuit de kas bij de ingebouwde gevel lager is dan bij het open gedeelte. In dergelijke situaties moet worden gekozen voor isolatie van de 'open' gevel met bijvoorbeeld folie of voor het verminderen van de warmteafgifte van de gevelverwarming in het ingebouwde deel. De eerste optie verdient uit oogpunt van energiebesparing de voorkeur.

Voorbeeld 1
Op één bedrijf beïnvloedde het ketelhuis van de buurman de warmteverdeling in de kas. Hier werd steeds een warmere gevel gevonden rechtsonder in de kas. De verwarming in de kas was gelijkmatig verdeeld en kon dit niet veroorzaken. Direct tegen de warme gevel stond het ketelhuis van de buurman.

Voorbeeld 2
Op een tuin werd steeds langs een stuk schuur een koude strook gevonden. De schuur werd niet verwarmd. Het was de verwerkingsruimte van de bloemen en werd om die reden zo koud mogelijk gehouden. De koude muur beïnvloedde de temperatuur in de kas er naast.

2.3.2 Verschillende stooktemperaturen in één kas

Veel bloementuinders doen aan oogstspreiding door in verschillende weken te planten. Dit betekent dat in de kas verschillende plantstadia tegelijk groeien. Elk plantstadium heeft zijn eigen optimale temperatuur. Tuinders spelen daar op in door per afdeling een verschillende stooktemperatuur in te stellen. De afdelingen zijn meestal niet van elkaar gescheiden door een tussenwand. Dit zorgt voor verschillen in horizontale temperatuurverdeling binnen afdelingen. Immers daar waar een 'koude' afdeling aan een 'warme' grenst ontstaat menging. Bijgevolg ontstaat er een temperatuurverloop van warm naar koud.

Voorbeeld 3
Bij een chrysantentuinder vonden we bijvoorbeeld in één afdeling horizontale verschillen van 1 °C als de buurafdelingen dezelfde stooktemperatuur hadden, en van 2,2 °C als dit niet het geval was.

Een verschil van 2 °C in teelttemperatuur veroorzaakt verschillen in groei en ontwikkeling. Juist bij chrysanten en andere eenmalig oogstbare gewassen is een zo gelijk mogelijke gewasgroei gewenst om het vak in één keer te kunnen oogsten. Om machinaal te kunnen oogsten is dit zelfs een vereiste. Horizontale stromingen onder in een kas zorgen ook voor verticale stromingen en een stroming langs het kasdek. Stroming langs het kasdek verhoogt de warmteafgifte aan het kasdek en daarmee de warmteverliezen uit de kas. Dit heeft extra energiegebruik tot gevolg. Om deze twee redenen, gewasongelijkheid en energieverlies, is een verschil in stooktemperatuur in één ruimte ongewenst. Een oplossing zou zijn om in de periode dat de stooktemperatuur van afdelingen verschilt, deze afdelingen te scheiden met een folie. Bij chrysant kan dit door het verduisteringsscherm tussen beide afdelingen neer te laten, tegelijk met het sluiten van de schermen voor de korte dag. Overdag kan dit ook, zolang het de doorval van licht niet continu belemmert, wat alleen bij een noord-zuid oriëntatie zo is. Bij belichte teelten, waar de gevelschermen continu gesloten zijn, kan in de winter het tussenscherm gesloten blijven zolang de temperatuur verschilt. Voor andere teelten, zoals anjers, kunnen vakken tijdelijk met een folie afgeschermd worden. Vooral bij grote verschillen in stooktemperatuur is dit noodzakelijk, zeker als die langere tijd in stand worden gehouden.

2.3.3 Aparte constructies en andere aanpassingen

Op een aantal tuinen werden de warme en koude plekken niet veroorzaakt door de verwarming. Naast de bekende problemen als kapotte en slecht sluitende luchtramen, slecht aansluitende gevelvoeten en dergelijke werden sommige afwijkende plekken

veroorzaakt door een 'gedachtekronkel' dan wel een uiterst creatieve zelfbedachte oplossing voor een ander probleem. Dit soort zaken vallen alleen op bij een gerichte inspectie in de kas.

Voorbeeld 4
Bij één tuinder was de kopgevel steeds kouder. Bij controle op de tuin bleken hier de verwarmingspijpen geïsoleerd, wat langs de andere buitengevels niet het geval was. Navraag bij de tuinder leerde dat hij de buizen bewust geïsoleerd had omdat deze gevel in de zomer aanmerkelijk warmer was. De gevel lag op het zuiden.
De tuinder wilde de isolatie niet verwijderen omdat het anders in de zomer te warm zou worden. Diverse betere oplossingen zijn hier mogelijk.
- *isolatie verwijderen en in de zomer de gevel krijten, eventueel alleen de onderste helft,*
- *isolatie verwijderen en de verwarming langs de gevel afsluitbaar maken,*
- *de gevel in de winter extra isoleren met folie,*
- *isolatie verwijderen en een beweegbaar zonnescherm langs de gevel maken.*

Voorbeeld 5
Eén tuinder had langs een deel van de gevel tussen de verwarmingsbuizen en het gewas piepschuimplaten geplaatst. De achterliggende gedachte was om stralingsschade aan het gewas te voorkomen. Om de kas op temperatuur te krijgen moest nu wel harder worden gestookt. Het was beter geweest indien hij de isolatie tussen gevel en verwarming had aangebracht. Dan had hij minder hoeven stoken en met een lagere buistemperatuur is de kans op schade aan het gewas ook kleiner. Daarnaast is bladcontact tussen buis en plant ook te voorkomen door de buis te omhullen met geplastificeerd gaas of om dit tussen buis en planten te plaatsen.

Voorbeeld 6
Het eerste pad was altijd kouder en natter. Naast de kas lag een extra stukje glas met daarin de mestbakken en een silo met regenwater. Verder werden er druiven in geteeld. Volgens de tuinder werd dit niet verwarmd. Toch was de kou in het eerste pad groter dan op grond van WARMV werd berekend. Inspectie in de kas leerde dat de tuinder om bevriezing van dit stukje glas te voorkomen, zelf een constructie had gemaakt. De aanvoer van de verwarming lag achter in de kas. Hier was een doorvoer naar het koude stukje gemaakt. De spiraal van de eerste buisrail was verlengd en liep eerst door dit stukje koud glas alvorens naar het pad in de kas te keren. Tegen de tijd dat het water de kas bereikte was de temperatuur de helft lager dan in de overige buisrailspiralen die direct vanuit de aanvoer gevoed werden. Het pad grensde dus niet alleen aan een koude ruimte maar werd ook nog eens minder verwarmd.

2.4 UITTESTEN OPLOSSINGEN IN DE HANDLEIDING

Slechts vier tuinders van het eerste jaar waren bereid om aanpassingen te doen. Het betrof een potplantenteler, twee amaryllis en een chrysantentuinder. Eén tuin was inmiddels verkocht, maar de nieuwe eigenaar zette het project voort. Eén amaryllistuinder haakte alsnog om persoonlijke omstandigheden af. In het tweede jaar bleek de temperatuurverdeling bij één tuinder verbeterd en bij twee gelijk gebleven.
Het was nogal moeilijk om een juiste conclusie te trekken uit de plaatjes, mede omdat een betrouwbaar beeld van de warmteafgifte vooralsnog ontbrak. Belangrijk is om te weten op welke plek de aandacht het eerst gericht moet worden; de warme of de koude. Soms ontstaan warme plekken als gevolg van een koude plek elders of omgekeerd. Om dit goed in te kunnen schatten is enige ervaring noodzakelijk.
Zoals in de handleiding ook al werd genoemd kan een kleine aanpassing soms al te groot zijn. Soms werd ook te voorzichtig geadviseerd, uit angst om het tegenovergestelde effect te bereiken. Het bleek erg moeilijk om zonder veel ervaring op dit gebied de juiste isolatiegraad in te schatten.

Figuur 1. Horizontale klimaatverdeling op een tuin voor (a) en na (b) aanpassing.

2.5 MEDEWERKING TUINDERS

Anders dan bij de groentetuinders het geval was beschikten veel van de bezochte siergewassentuinders niet over een historisch opslag van klimaatgegevens. Zo werd het erg moeilijk om het verloop van kas- en buistemperatuur en het buitenklimaat tijdens de meting te achterhalen. We losten dit op door direct voor en na de meting een computer-uitdraai te maken en zo mogelijk ook tijdens de meting.
Sommige tuinders wilden of konden de verwarming niet gedurende langere tijd op 60 °C vastzetten. Dit was nodig voor een betrouwbare meting van de verwarming. Ze waren erg huiverig voor het effect op hun kasklimaat. Inderdaad bleken veel buizen tijdens een meting lager in temperatuur te zijn. Lang vastzetten op 60 °C had dan voor een in hun ogen te hoge kastemperatuur gezorgd. Dit kwam omdat beide winters vrij mild waren, met slechts een enkele week vorst, zoals in figuur 2 te zien is. Vooral in seizoen 97/98 lag de buitentemperatuur vaak boven de 5 °C. Daarnaast lagen de gewenste kastemperaturen vaak lager dan bij vruchtgroenten. Naarmate de buistemperatuur lager is, komen verschillen als gevolg van de verwarming minder tot uitdrukking.
Ook het uitstellen van het opstoken, het op tijd openen of juist dicht houden van het scherm alsmede het aan- of uitschakelen van de assimilatiebelichting stuitte op problemen. Het was erg moeilijk om de tuinders te overtuigen dat het voor een enkele keer voor het gewas niet zo nadelig was als zij dachten. Des te opmerkelijk was dat ze daarbij vaak niet of nauwelijks wakker lagen van de gevonden verschillen. Alleen chrysantentuinders bleken goed doordrongen van de noodzaak tot een gelijkmatig horizontaal klimaat in verband met het voor de voet op oogsten. De gemeten verschillen waren in het algemeen op chrysantenbedrijven klein.
Op sommige bedrijven met personeel ontstonden moeilijkheden. Op een groot bedrijf, met veel medewerkers wilde niet iedereen meewerken aan de metingen. Regelmatig werden flesjes geleegd, flesjes hoog in de goot gehangen (4 m hoogte) of verdwenen gewoon. Het leek een sport om met de vorkheftruck zoveel mogelijk flesjes te raken. Nadat nogmaals de zin en noodzaak van het onderzoek aan al het personeel waren uitgelegd verminderde dit tot een werkbare situatie. Een enkel onwillig persoon kan de metingen behoorlijk frustreren, zeker als het anoniem kan. Op een ander bedrijf zag de bedrijfsleider de 'rompslomp' niet zitten en om die reden is dit bedrijf al vrij snel afgevallen.

Figuur 2. De gemiddelde etmaaltemperatuur tijdens de meetperioden van 1 december tot eind april in 1997/98 en 1998/99.

Zoals ook eerder genoemd vonden de meeste tuinders het niet prettig als we op de tuin werkten als er verder niemand aanwezig was. Sommige tuinders hadden hier juist helemaal geen problemen mee. Een aantal tuinders werkte gelukkig wel goed mee. Sommigen voerden zelfs af en toe voorzien van goede instructies metingen uit.

3. WARMTEAFGIFTEPROGRAMMA

Een van de doelen van het project was het uittesten van een warmteafgifte programma dat op aangeven van het PBG door het IMAG ontwikkeld was. In het voorgaande project was namelijk gebleken dat het nog niet mogelijk was om een goed beeld van de verwarming in een kas te krijgen. Daarmee werd het lastiger om een diagnose te stellen over de invloed van verwarming op de klimaatverschillen. Het doel van het programma, dat de werknaam WARMV kreeg, is het in beeld brengen van eventuele onevenwichtigheden in de geïnstalleerde verwarming en handvaten te bieden voor de oplossing hiervan (Swinkels, 1999).

3.1 ACHTERGROND VAN HET PROGRAMMA

Het programma berekent de evenwichtstemperatuur van een stukje kas, cel genoemd. Deze volgt uit het verwarmingsvermogen in dat stukje kas en de berekende warmteverliezen uit dat stukje kas. Het verwarmingsvermogen komt uit de buizen (pijpen), het programma is dus niet geschikt voor de zeldzaam wordende bedrijven met heteluchtverwarming. Alleen het warmteverlies aan dek en gevel worden berekend. Het programma houdt geen rekening met

- warmteverliezen door ventilatie
- warmteverliezen door convectie op grotere schaal
- weersinvloeden zoals zonnestraling
- lucht- en warmtestromingen tussen de cellen. (Swinkels, 1999)

Wel is het mogelijk om de invloed van de buitentemperatuur te berekenen. De warmteverliezen door dek en gevel zijn afhankelijk van de buitentemperatuur. Het warmteverlies wordt aangepast aan de gekozen buitentemperatuur. WARMV is uitdrukkelijk bedoeld om op gebruikersvriendelijke wijze lokale over- en ondercapaciteit van de verwarming in beeld te brengen, en niet om de werkelijke warmteverdeling te genereren (Swinkels, 1999). Met het programma is in beeld te krijgen of koude respectievelijk warme plekken ontstaan als gevolg van een plaatselijk tekort of overschot aan warmteafgevende oppervlakten onder omstandigheden waarbij de meeste energie wordt gebruikt, namelijk gesloten ramen en geen zon. In één van de eerste versies van het programma bleek dat een Tichelmann systeem automatisch een warmte piekje in het midden van de kas veroorzaakt. Dit komt overeen met de praktijkwaarnemingen van diverse ervaren voorlichters.

3.2 TESTPERIODE

Het programma is in het tweede jaar uitvoerig getest. Aanvankelijk waren er problemen met de moeizame communicatie tussen de computers. Het programma was na de opmerkingen uit het eerste project in Windows '95 herschreven. Windows '95 was toen een nieuw, opkomend besturingssysteem, dat pas eind 1998 op het PBG geïnstalleerd werd. In het voorjaar van 1999 kwam de bijbehorende handleiding gereed. Tot die tijd was het vrijwel onmogelijk om met het warmteafgifteprogramma te werken. Zo bestond er onduidelijkheid over de juiste meetwijze van de verwarmingsinfrastructuur op bedrijven en liep het programma regelmatig vast. Na de omschakeling werd van start gegaan met het invoeren van reeds gemeten bedrijven. Het programma bleek erg gebruikersonvriendelijk. Dit bleek uiteindelijk voor een deel aan de programmastructuur te liggen en voor een deel aan de ons toegestuurde versies. Zowel voor schrijver als

gebruiker onbekende eisen aan de computerconfiguratie verstoorden eveneens het werken met het programma.
Tegen de tijd dat het programma op alle computers goed functioneerde was het vrijwel onmogelijk nog metingen te doen op praktijk bedrijven. Enkele uren de verwarming vast zetten op 60 C, om zo te meten wat de temperaturen van elke spiraal en buis waren was inmiddels onmogelijk. Overdag zou dit beteken dat de temperatuur in de kas onaanvaardbaar opliep. In de nacht meten was op veel bedrijven ondoenlijk. Wel hebben we op de gemeten tuinen de verwarming in kaart gebracht. Tezamen met de opgegeven buistemperatuur tijdens meetsessies van het horizontale klimaat konden we gelukkig toch de gewenste testen uitvoeren.

3.2.1 Indruk van de geteste bedrijven

Slechts zelden beschikten de tuinders nog over eigen bouwtekeningen. De verwarming bleek op veel sierbedrijven ingewikkelder dan op de 'standaard' buisrail bedrijven. Deze laatste hebben vrijwel allemaal per kap vier buizen van 51 mm onderin en twee groeibuizen. De verwarming op sierteeltbedrijven bestaat uit een aantal verschillende netten die op verschillende plaatsen in de kas kunnen liggen. Zelfs binnen een gewasgroep verschilt de ligging van de buizen vaak per bedrijf. Een standaard verwarmingsstructuur is dan ook niet te geven. De hoofdverwarming hing vaak bovenin, met een variabel aantal buizen per kap, maar kon ook bovenin tegen de poten liggen met een enkele of dubbele spiraal. Daarnaast beschikten de bedrijven over een bed- of grondverwarming al dan niet gecombineerd met een hijsverwarming. Het aantal slangen per meter verschilde van bedrijf tot bedrijf. Gelukkig bleek binnen een bedrijf de verwarmingstructuur vaak wel min of meer gelijk, alhoewel ook dat lang niet altijd opging.
Tijdens het in kaart brengen van de verwarming op de bedrijven viel nog eens op hoe 'rommelig' dit vaak lag. Op de nieuwere bedrijven was het vaak redelijk keurig aangelegd, maar met name op de oudere bedrijven was het soms onnavolgbaar. Dit kwam dan omdat de tuinder zelf ook nog wat geklust had, of omdat de tuin tussentijds uitgebreid was waarbij niet voldoende aandacht was besteed aan de gevolgen voor de verwarming. Ook de gevelisolatie getuigde vaak van grote creativiteit. Verschillende soorten folie op één gevel, stukken wel en stukken niet voorzien van folie. Isolatie tot de eerste gording, de tweede gording of de gehele hoogte of juist weer niet. Gedeelten met piepschuim tussen de verwarmingsspiralen en het gewas, gedeelten niet.

3.3 TESTRESULTATEN

In de tweede helft van 1999 kon er goed met het programma gewerkt worden. Al gauw bleken er diverse onvolkomenheden en onhandigheden in het programma te zitten. Het programma werd dientengevolge tussentijds op een aantal punten aangepast. Naarmate het programma beter werkte, kwamen nieuwe onvolkomenheden en mogelijke verbeteringen aan het licht. Niet alles kon meteen worden aangepast, en sommige punten vielen pas bij langer gebruik op. Voor een echt optimaal gebruik behoeft het programma dan ook nog enige aanpassingen die niet meer binnen het huidige project voltooid konden worden.
De gemaakte plaatjes zien er over het algemeen goed uit en geven een acceptabele indicatie van de energie input in de kas. Samen met de resultaten van de temperatuur-meting en de stroomdiagrammen uit de handleiding is het veelal goed mogelijk om

problemen met de temperatuur verdeling op te sporen. Het is echter niet voldoende om alleen op het beeld van WARMV af te gaan.

Figuur 3. De daadwerkelijke meting op een tuin en de warmteafgifte zoals berekend door WARMV

Discussie bleef bestaan over het gebruik van de K-waarde en de berekening van de warmteafgifte. Dit kan op verschillende manieren en elke methode heeft zijn eigen pro's en contra's. Het is belangrijker dat de gemaakte keuze consequent doorgevoerd wordt. De warmteafgifte van buizen aanmerkelijk dikker dan 51 mm wordt overschat. Met name bij dikke transportleidingen kan dit een verkeerd beeld geven. Zo berekent WARMV voor een buis met een doorsnede van 102 mm een warmteafgifte van twee keer die van 51 mm, terwijl in werkelijkheid de warmteafgifte ongeveer 1,8 maal die van 51 mm is. WARMV houdt geen rekening met de ligging van de buizen. Daardoor worden de warmteverliezen van vlak onder het dek liggende buizen onderschat. Deze beide zaken hebben tot gevaar dat WARMV een overschot berekend daar waar het in werkelijkheid niet is.

Voorbeeld 7
Bij een tuinder met dikke transportleidingen hoog boven het pad berekende WARMV bijvoorbeeld een enorm warmteoverschot. In de daadwerkelijke horizontale warmtemetingen bleek de temperatuur op gewashoogte juist hoger in het midden van de afdelingen en niet bij het pad.

Bij de interpretatie van WARMV moet rekening gehouden worden met bovenstaande punten. Een advies mag nooit alleen op basis van WARMV gegeven worden. Vooral voor wat betreft de buisligging kan dit simpel worden opgelost als de keuze mogelijkheid 'dek met hoge buizen' versus 'dek met lage buisligging' wordt opgenomen, uiteraard met bijbehorende k-waarde.

In bijlage 2 staat een volledig overzicht van de aanpassingen en kanttekeningen bij het gebruik van WARMV.

3.4 CONCLUSIES WARMTEAFGIFTEPROGRAMMA

- Het programma werkt goed, mits de juiste computerconfiguratie is geïnstalleerd. Dit betekent dat bij het programma duidelijk opgegeven moet worden welke software en instellingen noodzakelijk zijn.
- Een aantal kleine en minder kleine aanpassingen maakt het werken met het programma een stuk prettiger, waaronder de mogelijkheid om de gemaakte plaatjes verder te verwerken en te printen. In de bijlage staan deze genoemd.
- De resultaten van het programma zijn minder geschikt om direct als oplossing voor verwarmingsproblemen op praktijkbedrijven dienst te doen. Voor buisrailbedrijven werkt het goed, maar voor bedrijven met een ander type verwarming moeten teveel zaken worden gegokt om een betrouwbaar beeld te krijgen. Voor het oplossen van problemen met het horizontaal klimaat op bedrijven blijft in eerste instantie de PBG-handleiding een beter instrument. WARMV kan wel goed als extra hulp gebruikt worden.
- De door het programma verzorgde plaatjes zien er indrukwekkend uit.
- Gezien de suboptimale structuur van veel bedrijven kost het veel werk om de verwarming en gevelisolatie van een bedrijf goed in te voeren.

4. ALTERNATIEVE MEETMETHODEN

Omdat in het eerste seizoen bleek dat sommige teelten zich niet of minder goed lenen voor de in de handleiding beschreven meetmethode is de projectgroep in het voorjaar van 1998 gestart met het zoeken van andere meetmethoden. Gezocht werd onder meer op internet. Daarbij kwamen we ook terecht op TECHNET. Op dit net, dat vooral bezoekers/ gebruikers met een technische achtergrond heeft, werd een vraag achtergelaten. Gevraagd werd naar een eenvoudige meetmethode om ruimte-temperaturen op moeilijk bereikbare plaatsen te meten, onder meer via contactloze thermometers. Vanuit diverse instellingen waaronder TNO en de T.U.D. kwamen ongeveer vijf reacties. Helaas brachten die ons niet veel verder.

4.1 MINIDATALOGGERS

Een reeds gebruikt alternatief voor de handmetingen zijn de minidataloggertjes. Dit zijn kleine apparaten die de temperatuur en luchtvochtigheid meten en deze met een vooraf ingesteld tijdsinterval opslaan. De DLV beschikt over vier koffers met 65 minidata-loggers. Eén koffer kostte in 1997 f30.000,-. Met één koffer kan afhankelijk van de gewenste nauwkeurigheid ruim een hectare worden gemeten. Om de loggers uit te lezen en de gegevens te verwerken is aparte software nodig. De minidataloggers worden verspreid in de kas opgehangen. Na enkele dagen worden ze weer weggehaald. Het plaatsen en weer weghalen kost bij onder meer chrysant en potplanten heel veel tijd. Ook de Stichting Teeltbegeleiding beschikt over minidataloggers en doet hiermee onderzoek op praktijkbedrijven. Zij hebben eveneens eigen software ontwikkeld om de verkregen gegevens te verwerken.
Hoewel de minidataloggers leuke plaatjes opleveren en het mogelijk wordt om de temperatuurverdeling over één of enkele etmalen te volgen, komt het eindresultaat nagenoeg overeen met de resultaten uit de simpele methode (Nijs en van den Berg, 1997). Deze laatste heeft bovendien als voordeel dat het mogelijk is om gedurende langere tijd, onder verschillende buitenomstandigheden, te meten. Het huren van een set minidataloggers kon in 1997 in principe voor maximaal zes dagen. Gedurende deze periode moet het weer geschikt zijn om te meten, dus in de nacht voldoende koud.
Een belangrijk nadeel van de dataloggertjes is dat zonnestraling en assimilatiebelichting de meting beïnvloeden. Als gevolg van de straling warmen de dataloggers teveel op en geven een hogere temperatuur aan dan er in werkelijkheid is.
Voor een optimale interpretatie van de verkregen gegevens is historische opslag van de klimaatcomputer noodzakelijk. Dat wil zeggen dat gedurende de meetperiode tegelijk met een meetmoment ook de stand van schermen, ramen, ventilatoren en vooral de kas- en buistemperatuur als mede het buitenklimaat wordt opgeslagen. Eén logger moet bovendien in of bij de meetbox hangen om te controleren of deze goed werkt. Dat blijkt in de praktijk nogal eens tegen te vallen.

We hebben diverse keren geconstateerd dat de meetbox van een afdeling afweek van de door ons gemeten temperaturen, terwijl de overige meetboxen wel overeen kwamen. Dit duidt erop dat de betrokken meetbox niet goed werkte.

Ter vervanging van grote dataloggers met daarop aangesloten thermokoppeldraad zijn de dataloggertjes wel zeer geschikt. Een ander voordeel is dat een temperatuurverloop in de tijd veroorzaakt door ongelijk opstoken zichtbaar wordt.

4.1.1 Aanvullende testen met minidataloggertjes

In 1998 kwam er een nieuw, goedkoper minidataloggertje ter grootte van een filmbusje op de markt voor nog geen f200,- per stuk. De prijs van 65 stuks blijft daarmee onder de f13.000,-. We hebben er enkele aangeschaft en de meters in de kas getest. In het donker werkten de meters goed, ze hadden een constant verschil van 0,1 °C met de meetbox. De loggers verschilden onderling niet. Problemen ontstonden weer overdag als de zon begon te schijnen, of als de assimilatiebelichting aanging.
De volgende afdekmethoden werden uitgetest in klimaatcellen en diverse kassen op het PBG:

1. Een ondersteboven opgehangen zwarte plastic bloempot omhuld met folie,
2. Een verticaal hangende PVC-koker met een diameter van 11 cm en een lengte van 16 cm bekleedt met aluminiumfolie waarin de datalogger hing. De bovenzijde was met aluminium folie dichtgemaakt. Op 3 cm van de bovenkant en bovenin zaten enkele gaten voor de luchtdoorstroom,
3. Een horizontaal hangende PVC-koker met een diameter van 11 cm en een lengte van 16,5 cm, al dan niet bekleed met aluminiumfolie waarin de datalogger hing,
4. Een horizontaal hangende PVC-koker met een diameter van 7,5 cm en een lengte van 16,5 cm, al dan niet bekleed met aluminiumfolie waarin de datalogger hing,
5. Extra omhulling met een zwart, een metalen of een mat wit fotofilmbusje. De dataloggertjes zijn zo klein dat ze hierin passen.
6. Een horizontaal hangende koker van grijs isolatiemateriaal. De koker was niet helemaal gesloten, de cirkel was ongeveer 7/8.
7. Een horizontaal hangende halve PVC-koker van 7,5 cm doorsnee en 11 cm lengte. In het midden van de aldus ontstane kap was een klem geschroefd. De logger hing in de klem, het schroefoog aan de buitenzijde van kap diende tevens als ophangpunt.

Bij alle afdekmethoden liep de temperatuur in de loggers hoger op dan de kastemperatuur zodra de zonnestraling boven de 100 W/m^2 kwam of de assimilatiebelichting ging branden. De gevonden verschillen als gevolg van straling lagen tussen de 0,5 en 4,5 °C. De afwijking hing af van de hoeveelheid licht en de afstand tot de lamp. Meer straling of dichter bij een lamp resulteerde in een hogere temperatuur.
Het metalen filmbusje voldeed minder goed dan het zwarte en het mat-witte busje. Het omhullen van de kokers met aluminium folie gaf eveneens een slechter resultaat dan de gewone grijze kokers. De dunne koker schermde beter af dan de dikke. Methode 7, de halve koker gaf de minste afwijking mits tussen het gewas opgehangen. Geen enkele methode schermde echter afdoende af. Alleen een goed afgeschermde en geventileerde meetopstelling kan het probleem van ongewenste opwarming door straling verhelpen. Voor minidata-loggers blijft gelden dat alleen de meetwaarden in het donker en de meetwaarden bij constant bewolkt weer betrouwbaar en bruikbaar zijn. Om een afdeling goed te meten zijn er vaak minimaal 12 stuks nodig. Voor dit project was het makkelijker geweest om met de loggers te kunnen werken op moeilijk toegankelijke bedrijven, maar de bedoeling was juist een goedkope methode te testen dan wel te vinden. Voor de tuinders is het zelf aanschaffen van de minidataloggertjes een te dure optie. Gezien ook de onbetrouwbaarheid bij straling is er op de bedrijven verder geen onderzoek mee gedaan.

Het geteste minidataloggertje met de beste afschermmethode.

4.2 NOGMAALS THERMOKOPPELS

Een bezwaar van de thermokoppels in eerder onderzoek was dat de erop aangesloten dataloggers regelmatig stoorden, waardoor metingen onbetrouwbaar werden. Daarom is gekozen voor een andere manier van meten. Bij één chrysantentuinder is een thermokoppelmeetsysteem aangelegd. Voor het planten van de chrysanten werden op diverse punten op het steungaas thermokoppels bevestigd, zie de foto. Vanuit deze meetpunten liep het draad tot aan het middenpad. De digitale thermometer (type PRONTO PTS-40505) werd eenvoudig aangesloten op het padeinde van het thermokoppel en zo kon op elk gewenst moment de temperatuur afgelezen worden. De waarden werden vervolgens genoteerd. Op deze manier kostte het meten van één punt een halve minuut; de tijd die nodig was om het aan te sluiten en de meter stabiel te laten worden. Met vier en een halve minuut was een heel meetpad gemeten dat met vier meetpunten aan weerszijden van het middenpad lag. In het oude systeem kostte het bereiken van het eerste van de acht punten al meer tijd. Gedurende de teelt bleven de thermokoppels liggen en gingen met het gaas mee omhoog. Aan het einde van de teelt werden ze weer verwijderd en in een nieuw leeg vak aangebracht. De tuinder kon zo zelf ook eenvoudig meten.
Op zich werkte deze methode prima. Groot voordeel was dat er niet tussen het gewas gelopen hoefde te worden. Toch bleek deze methode praktisch minder geschikt, en wel om de volgende redenen.

- Allereerst is het toch vrij duur, één meter thermokoppeldraad kost één gulden.
- Het uitleggen en zorgvuldig bevestigen van het meetpunt kost veel tijd.
- De methode is vrij kwetsbaar. Tijdens gewaswerkzaamheden worden meetpunten gemakkelijk los gestoten of draden losgetrokken.

Het thermokoppelmeetnet met uitlezing aan het pad. De inzet toont het meetpunt achter in de kas.

- Een teelt duurt ongeveer drie maanden, het duurt lang voor een volgende afdeling gemeten kan worden. Een grote kas helemaal in beeld brengen vergt gigantisch veel thermokoppeldraad of het duurt jaren.
- De stekkertjes bleken na verloop van tijd te oxideren als gevolg van het voor stekkertjes weinig gezonde kasklimaat.

De methode is wel geschikt om een goed beeld te geven van een enkele afdeling waar een tuinder twijfels over heeft. Omdat het meten snel gaat, kan er vaak en onder veel verschillende omstandigheden worden gemeten. Zelfs zonder historische opslag is met één momentuitdraai van de instellingen en het buitenklimaat al voldoende informatie over de omstandigheden beschikbaar. Deze kunnen dan worden gekoppeld aan de gemeten temperaturen. Op deze manier ontstaat een breed beeld van de wisselingen in temperatuur gedurende een gehele teelt. Bij de teeltwisseling kan de tuinder eventuele aanpassingen uitvoeren en gedurende de volgende teelt kijken of het afdoende geholpen heeft.

4.3 REACTIES TECHNET

4.3.1 Telemeten

Iemand stelde voor om thermometers op strategische posities op te hangen en deze vervolgens met een verrekijker vanaf het pad af te lezen.
Dit lijkt heel aardig maar hier zijn veel betrouwbare thermometers voor nodig en een hele sterke verrekijker. Daarnaast ontstaan er problemen als het gewas voor de thermometer groeit. De meest geschikte thermometer is er één met digitale weergave. Bij vloeistofthermometers bestaat het gevaar van vertekening. En ook hier geldt weer dat de straling de thermometers op kan warmen.

4.3.2 Infrarood meten

Iemand anders opperde om met behulp van een infrarood thermometer op afstand de temperatuur van voorwerpen te meten.
Maar: De meeste infrarood-thermometers zijn niet nauwkeurig genoeg. De betrouwbaarheid is 1 °C. Dat is te groot om een goed beeld van het horizontale klimaat in een kas te geven. De duurdere typen claimen tot op 0,1 °C nauwkeurig te zijn. Hoe groter de afstand tussen meter en te meten oppervlak is des te groter wordt het meetvlak. Voor een gemiddelde tuinbouw kas kwam dat al gauw neer op een grote ballon of papier op A3 formaat. Het totale oppervlak moet ook nog dezelfde temperatuur hebben, het liefst onafhankelijk van de vochttoestand van de omgeving. Een nadeel van papier of ballonnen is dat ze nat worden als de regenleiding aangaat en daarna minder betrouwbaar zijn.

4.3.3 De daalders van Twince

We kregen een reactie van een bedrijf uit het oosten van het land. Ze waren een draadloos systeem aan het ontwikkelen waarmee op veel plaatsen goedkoop de temperatuur kon worden gemeten. Het bestaat uit een groot aantal metalen schijfjes, de spoelen met daaraan een kleine sensor, die overal te verspreiden zijn. De grote kan variëren, van Deze sensoren nemen hun omgevingstemperatuur aan. Met een specifieke handscanner is vervolgens simpel de temperatuur uit te lezen. Omdat de scanner geen directe verbinding hoeft te maken is dit een vorm van meten op afstand. De uitleesafstand hangt af van de grootte van de spoel, maar bedraagt maximaal een meter in verband met de gevoeligheid van de opnemer voor metaal. Met een grotere spoel kan verder weg worden gemeten. Hoewel het systeem relatief goedkoop is, heeft het als groot nadeel dat je toch weer zelf door de kas moet lopen om alle punten te meten. En dat wilden we juist vermijden.
In 1999 en 2000 is het systeem verder vervolmaakt. Inmiddels is er een fout opsporingssysteem ontwikkeld waarbij een melding komt als sensoren bij het meten overgeslagen zijn. Tevens kunnen de gegevens automatisch worden overgezet naar een p.c. De sensor kan nu zo klein worden uitgevoerd dat hij in een plant past om zo de planttemperatuur te kunnen meten. Maar...je moet er nog steeds zelf langslopen.

4.4 AKOESTISCH METEN

Via NOVEM kwamen we een veelbelovende meetmethode op het spoor. Een klein ingenieursbureau, Innovation Handling, was samen met de Technische Universiteit van Eindhoven bezig met de ontwikkeling van een akoestisch meetsysteem. Met dit systeem is het mogelijk om gelijktijdig zowel de luchttemperatuur als de luchtvochtigheid en de luchtstromingen te meten. Het meetprincipe berust op veranderingen in de geluidssnelheid als gevolg van verschillen in de luchtsamenstelling. Een wisselende CO_2-concentratie heeft dientengevolge invloed op de meting, zij het gering. De methode is wel ongevoelig voor straling en condensvorming op de sensoren. Daarnaast vergt het systeem weinig onderhoud. Met dit systeem is het mogelijk om een zeer nauwkeurig twee- of zelfs driedimensionaal beeld van temperatuur en luchtvochtigheid in een kas te krijgen. De aantallen sensoren bepalen de uiteindelijke resolutie van het beeld. In Figuur 4 staat een voorbeeld van een tweedimensionale meting.

Figuur 4. Voorbeeld van een tweedimensionale temperatuurverdeling.

Tot nu toe is alleen een enkelvoudig meetsysteem beschikbaar en uitgetest in kassen. Onduidelijk is dan ook nog hoe het systeem functioneert in een echte kas. De meting gaat dan over veel grotere afstanden dan de tot nu toe geteste meter en er staat een veranderend gewas tussen. Het ligt in de bedoeling het systeem in de toekomst uit te testen in kassen op het PBG. Als deze methode goed toepasbaar is, wordt het relatief eenvoudig om een goed beeld van de klimaatverdeling te krijgen. Afwijkingen kunnen dan snel worden opgespoord, ook is snel te volgen wat veranderingen of aanpassingen voor een gevolg hebben op het klimaat.

5. AANPASSINGEN IN DE HANDLEIDING

5.1 OVER HET WERKEN MET DE HANDLEIDING

Het eerste doel van dit project was het verbreden van de toepasbaarheid van een meetprotocol voor horizontale klimaatverschillen zoals beschreven in de 'Handleiding voor het opsporen en oplossen van horizontale klimaatverschillen' (Nijs, 1997). Het werken met het stappenplan uit de handleiding was over het algemeen eenvoudig en zelfs voor leken op tuinbouwgebied goed te doen. Het goed lezen van de handleiding bleek weliswaar voor sommige mensen een probleem, maar dit lag meer aan de lezers dan aan de handleiding. Het uitvoeren van de stappen op de gekozen bedrijfstypen was minder eenvoudig. Dit kwam door de slechtere toegankelijkheid van de teeltruimte. Al in het eerste jaar werd daarom naar alternatieve meetmethoden gezocht en werden aanpassingen ontwikkeld om met de bestaande methode te kunnen werken. Alternatieve meetmethoden bleken vooralsnog niet eenvoudig toepasbaar in de praktijk.
Het zoeken naar oorzaken en oplossingen voor horizontale temperatuurverschillen bleek voor mensen die nog niet zoveel zicht hebben op kassen en kasklimaat behoorlijk ingewikkeld en foutgevoelig. Daarom werd gedacht dat met de kleurenplaatjes, de uitkomst van WARMV en de handleiding op schoot de zaak op te lossen was. Meer dan eens bleken er echter oorzaken in de kas zelf te vinden die niet in de handleiding staan. Na twee jaar testen zijn er een aantal punten gevonden waarop de handleiding aangepast moet worden. De handleiding wordt daarmee breder toepasbaar, dat wil zeggen ook op niet buisrailbedrijven, en de kans op fouten kleiner.
De projectgroep stelt op grond van haar bevindingen de volgende aanpassingen in het stappenplan van de handleiding voor.

5.2 STAP 3 BEPALEN VAN DE MEETMETHODE

In deze stap worden de verschillende meetmethoden uitgelegd en wat de meest geschikte meetmethode voor de te onderzoeken kas is. De volgende wijzigingen zijn nodig:

- Het meten van de grondtemperatuur wordt bij grondteelten afgeraden omdat de vochttoestand van de grond invloed heeft op de temperatuur. Verschillen in watergift binnen maar vooral tussen kraanvakken bepalen mede de temperatuur van de grond. Hetzelfde bezwaar kleeft aan het meten van de pottemperatuur bij teelt in potten of kuipen. Verschillen in vochttoestand van de potten veroorzaken verschillen in temperatuur. Het advies wordt om bij grondteelten te kiezen voor bierflesjes of nog grotere plastic flessen, bijvoorbeeld groene PET frisdrankflessen. Hoe groter het watervolume, des te sterker de buffering en des te kleiner de invloed van tijdelijke verstoringen tijdens de meetsessie.
- Het meten van de mattemperatuur heeft de voorkeur, maar kan soms onmogelijk zijn. Wanneer het teveel tijd kost om de mat te bereiken, bijvoorbeeld bij een ondoordringbaar rozengewas, moet overgegaan worden op een andere meetmethode zoals de flesjes.

5.3 STAP 4 METEN

In deze stap wordt uitgelegd waar bij het meten allemaal rekening mee gehouden moet worden. De projectgroep stelt de volgende aanvullingen voor:

- Regelmatig moet het gedrag van de thermometer onder kascondities gecontroleerd worden. Het gebruik van een controlepunt, waar een geijkte kwikthermometer continu de temperatuur aanwijst, en dat regelmatig opnieuw gemeten wordt met de gebruikte thermometer verhoogt de betrouwbaarheid van de metingen.
- Als water met de regenleiding wordt gegeven, worden de flesjes ook nat. De waterdruppels op het flesje verdampen en hierdoor koelt het flesje af. Het flesje heeft tijd nodig om weer op de omgevingstemperatuur te komen. Meet daarom altijd voor een regenbeurt, of anders minimaal twaalf uur daarna.
- Let op de positie van de flesjes ten opzichte van assimilatielampen. Zorg dat deze overal gelijk is.
- Noteer tijdens het meten de hoogte van het gewas in het meetpad en ook de hoogte van de hijsverwarming. Omdat deze in de loop van de teelt omhoog gehaald wordt, kan dit invloed hebben op de luchttemperatuur rond het flesje. Dit geldt zeker als het flesje aan de staanders van het steungaas hangt, of met stokken in de grond staat.
- In de volgende situaties moet er na afloop van de meting een controlemeting worden uitgevoerd en bij een verschil worden de meetwaarden gecorrigeerd.
  - Als het onmogelijk of ongewenst is om de buistemperatuur vast te zetten
  - Als de meting langer dan een uur duurt

  De controlemeting werkt als volgt: na afloop van de meetsessie worden alle flesjes het dichts langs het pad opnieuw gemeten. Deze tweede waarde wordt vergeleken met de waarde van de eerste meting.

5.4 STAP 5 HET VERWERKEN VAN DE GEGEVENS

In deze stap wordt uitgelegd hoe de gevonden meetwaarden verwerkt kunnen worden tot een duidelijk beeld van de temperatuurverdeling van de gemeten kas. Soms bleek een bewerking van de meetgegevens nodig voor ze gebruikt konden worden.

- Wanneer de temperatuur tijdens de meting verlopen is, kan de meting toch nog bruikbaar zijn. Dit kan door het gebruik van een correctiefactor. Het corrigeren gaat per meetpad. De correctiefactor wordt berekend door de controlemeting te delen door de eerste meetwaarde. Met het aldus verkregen quotiënt worden alle waarden uit dat meetpad vermenigvuldigd. Verschillen kleiner of gelijk aan de meetfout van de thermometer worden niet gecorrigeerd. De meetfout bedroeg voor de Prontometers plus of min 0,2 °C. Dit betekent dat pas bij een verschil dat groter is dan 0,4 °C een correctie uitgevoerd mag worden.
- Wanneer een tuin in gedeelten is gemeten, bijvoorbeeld in verband met de toegankelijkheid, moeten de verschillende metingen aan elkaar 'geplakt' worden. In het tussenverslag wordt de methode uitvoerig toegelicht. Hier wordt volstaan met een korte, bruikbare samenvatting. Per gemeten stuk worden plaatjes gemaakt van de temperatuurverdeling. Deze worden vervolgens ingekleurd met een vaste kleurcodering, rood voor warme plekken, blauw voor de koude stukken. Plaatjes met vergelijkbare omstandigheden worden naast elkaar gelegd.

5.5 STAP 6 OORZAKEN EN OPLOSSINGEN ZOEKEN

Als extra toevoeging opnemen:

- Loop de warme en koude plekken in de kas langs en bekijk wat hier aan de hand is, liefst samen met een 'derde' die niet bij elke aanpassing meteen weet waarom deze indertijd uitgevoerd is.

6. DISCUSSIE

6.1 TEMPERATUURVERLAGING EN ENERGIEBESPARING

In de handleiding (Nijs, 1997) wordt beweerd dat bij een gelijk horizontaal klimaat het mogelijk is om de aangehouden stooktemperatuur één graad lager in te stellen waardoor op jaarbasis zo'n 10 % energie bespaard zou kunnen worden. De projectgroep heeft hier wat vragen bij. Dat de energiebesparing bij het stoken van 18 °C in plaats van 19 °C ongeveer 10 % is, zal min of meer kloppen. Dat de temperatuur lager ingesteld kan worden bij een gelijkmatiger klimaat zien we niet één, twee drie.
Immers de meeste tuinders waren tot voor kort onwetend dan wel onverschillig over de horizontale temperatuursverschillen op hun tuin. Dus hoe konden ze hier bij het stoken dan wel rekening mee houden? Daarnaast waren de tuinders overtuigd dat ze de optimale stooktemperatuur voor hun gewas realiseerden. Of in ieder geval ingesteld hadden. Zonder onderzoek waaruit blijkt dat een graadje minder financieel voordelig is zullen ze deze niet verlagen.
Wanneer blijkt dat de meetbox toevallig op een koude plaats hing zal het oplossen van dit probleem direct zichtbare energiebesparing opleveren. Immers in de rest van de kas was het dan te warm, daar werd te hard gestookt. De bereikte energiebesparing zal echter veel meer indirect zijn. Met een gelijkmatiger horizontaal klimaat zijn er geen te koude plekken meer. De condensatie neemt af, en dit geeft mogelijkheden om de inzet van een minimumbuis te beperken. Een deel van het minimumbuis gebruik is namelijk om condensatie te voorkomen (Rijsdijk, 1996). Daarnaast wordt het mogelijk om ruimere grenzen te hanteren bij het toepassen van temperatuurintegratie, de veiligheidsmarge om te koude plekken te voorkomen kan namelijk worden verkleind. Minder inzetten van de minimumbuis en optimaal gebruik van de mogelijkheden van temperatuurintegratie zullen wel direct energie besparen.
Een gelijkmatiger klimaat geeft ook een gelijkmatiger groei. Vooral op koude plekken blijft de ontwikkeling van het gewas vaak achter hetgeen productie kost. Een betere productie bij gelijke inzet van energie zorgt voor een hogere energie-efficiëntie.

6.2 NUT VAN VERBETERINGEN

De meeste tuinders bleken niet zo geïnteresseerd in de horizontale klimaatverdeling. Binnen het project konden we een duidelijk onderscheid maken tussen gewassen die in een keer geoogst werden en de gewassen met een lange oogstduur. Chrysantentuinders en telers van bloeiende potplanten wisten vaak precies in welk deel van de kas de bloei afweek van het gemiddelde. Deze voor- of naloop van de bloei werd als hinderlijk ervaren en regelmatig werd gevraagd of dit te verhelpen was. Soms werden overeenkomende temperatuurverschillen gevonden, maar soms ook niet.
Een kalanchoëtuinder had bij een gevel altijd eerder bloei. Deze gevel bleek bij de metingen steeds warmer. Een hogere ruimtetemperatuur versnelt bij veel gewassen de ontwikkeling waardoor ze eerder bloeien. Als deze tuinder isolerende maatregelen langs de gevel neemt, zal de bloeivoorloop zeer waarschijnlijk niet meer voorkomen. Dit betekent voor deze tuinder ook besparing op arbeid. Immers hij hoeft deze gevel niet meer apart te rapen.
Bij een chrysantentuinder was de temperatuurverdeling zeer gelijk, maar toch waren er bloeiverschillen. De tuinder vroeg zich af of dit RV-verschillen zouden kunnen zijn. Daar de absolute luchtvochtigheid in een kas nagenoeg gelijk is, is dit niet waarschijnlijk. Bij een zelfde luchttemperatuur is de RV dan immers ook gelijk. Grange en Hand (1987)

melden dat pas bloeivertraging optreed als het vochtdeficit gedurende elf weken kleiner of gelijk aan 0,2 kPa is. Met een vochtdeficit tussen de 0,4 en 1,2 kPa werden geen verschillen in bloeitijdstip gevonden. Om een vochtdeficit van 0,2 kPa te realiseren moet bij een teelttemperatuur van 17 tot 19 °C de RV tussen de 98 en 96 % liggen. Het is zeer onwaarschijnlijk dat die situatie langdurig op een praktijkbedrijf voorkomt. Of omgekeerd, bij een RV van 90 % en een kastemperatuur van 18 °C moet de temperatuur plaatselijk ongeveer twee graden lager zijn om op die plekken een vochtdeficit van 0,2 te halen. Het is waarschijnlijker dat de bloeiverschillen veroorzaakt worden door verschillen in bodemgesteldheid, in leeftijd van de stek of in lichtinval.

Kwekers van rozen waren veel minder geïnteresseerd. Rozen worden continu geoogst en wat vroeger of later valt hier niet zo op. Kouder geteelde rozen zijn vaak weer wat zwaarder zodat de tuinder vaak het idee heeft dat dit de beste plek in de kas is. Het gedurende langere tijd bijhouden van de productie op plaatsen met verschillende temperaturen in de kas is de enige methode om inzichtelijk te maken wat de klimaatverschillen uiteindelijk kosten. Voor zover bekend is dat voor siergewassen nog niet echt gebeurd. Ten einde meer tuinders over te halen het horizontale klimaat op hun tuin te verbeteren en zo de energie efficiënter te gebruiken is onderzoek hieraan gewenst.

7. CONCLUSIES

Na twee jaar onderzoek ontstonden de volgende conclusies:

- De handleiding om horizontale klimaatverschillen op te sporen en op te lossen voldoet uitstekend voor standaard buisrail bedrijven. (bijlage 3)

- Met enkele aanpassingen is de handleiding ook geschikt voor andere bedrijfstypen, al blijft het meten hier voorlopig moeizamer (hoofdstuk 2 en 5)

- Het warmteafgifteprogramma Warmv is momenteel bruikbaar voor buisrailbedrijven en met kanttekeningen ook toepasbaar op andere bedrijven (hoofdstuk 3). Met een aantal aanpassingen wint het aan gebruiksgemak en toepasbaarheid (bijlage 2).

- Minidataloggers zijn in het donker goed bruikbaar om een beeld van het horizontale klimaat te krijgen. Onder invloed van zon en assimilatielicht wijken de metingen af van de werkelijkheid (hoofdstuk 4).

LITERATUUR

Bloemhard, C.; Esmeijer, M.; Meer, M. van der (1999) Praktijkimplementatie van een systeem om klimaatverschillen in kassen op te lossen. Aanpassing en uitbreiding van meetmethodiek PBG tussenverslag

Grange, R.I.; Hand, D.W. (1987) A review of the effects of atmospheric humidity on the growth of horticultural crops. J Hort Sci. 62 (2) 125 -134

Nijs, L. (1997) Handleiding voor het opsporen van horizontale klimaatverschillen. PBG-rapport 112

Nijs, L.; Berg, G.A. van den (1998) Ontwikkelen en introduceren van een methodiek ter oplossing van klimaatverschillen in kassen. PBG rapport 147

Rijsdijk, A.A. (1996) Inventarisatie gebruik minimum buistemperatuur op tomatenbedrijven. PBG-rapport 32

Swinkels, G.L.A.M. (1999) Gebruikershandleiding WARMV voor Windows 95. Een computerprogramma om de balans tussen verwarmingscapaciteit en gevelverliezen in tuinbouwkassen in beeld te brengen. IMAG-DLO

Velden, N.J.A. van der; Sluis, B.J. van der; Verhaegh, A.P. (1996) Energie in de glastuinbouw van Nederland Ontwikkelingen in de sector en op de bedrijven t/m 1994 LEI rapport 39-93

Bijlage 1. Samenvatting van het tusenverslag

Het eerste jaar van het project 'Praktijkimplementatie van een systeem om klimaatverschillen in kassen op te lossen' bleek dat de eerder ontwikkelde meetmethode niet zonder meer op andere bedrijfstypen was toe te passen. De problemen spitsten zich toe op bereikbaarheid van de meetpunten en daarmee samenhangend de meettijd. Daarom is een deel van de projecttijd besteed aan het zoeken van oplossingen hiervoor. Er is gekeken naar alternatieve meetmethoden en controle- en correctiemogelijkheden op de bestaande methode. De alternatieve meetmethoden worden allemaal nog getest en om die reden is er geen verslag van opgenomen.
In 1988 is onderzocht hoe snel de flestemperatuur op veranderingen in de omgeving reageerde. Het bleek dat de instraling van de zon boven de 75 W/m^2 de flestemperatuur sterk verstoorde. De temperstuur in de flessen verandert minder snel dan de kastemperatuur bij de overgang naar een andere setpoint temperatuur. Om problemen te voorkomen moet tijdens de meting de kas- en buistemperatuur min of meer gelijk blijven en mag de straling niet boven de 75 W/m^2 komen. Dit komt overeen met de aanname in eerder onderzoek.
De digitale thermometers bleken soms tijdens een meting te verlopen. Dit kwam doordat de koude las niet de omgevingstemperatuur had, maar warmer of kouder was. Om dit te controleren werd een kwikthermometer gebruikt. De kwikthermometer werd op een vast punt in de kas geplaatst. Dit punt werd gedurende een meetsessie herhaaldelijk opnieuw gemeten met beide thermometers. Hiermee ontstond de mogelijkheid om de metingen te corrigeren op door de thermometer veroorzaakte fouten.
Soms ontstonden problemen doordat de kastemperatuur tijdens een meetsessie niet stabiel bleef. Uiteindelijk bleek dit te ondervangen door per kap of meetpad een correctiefactor te berekenen. De correctiefactor is de verhouding tussen de controlemeting en de eerder gemeten temperatuur aan het begin van dat meetpad. De controlemetingen worden snel na elkaar aan het einde van de meetsessie uitgevoerd. Met de factor worden alle gevonden meetwaarden in die kap gecorrigeerd. De nieuw berekende data worden uiteindelijk gebruikt voor het maken van een contourplot.
Een tweede alternatief is het meten van de kas in gedeelten. De deelplotjes kunnen afhankelijk van de meetomstandigheden direct of na aanpassing aan elkaar worden geplakt. Deze methode is ook eenvoudig met de hand uit te voeren.

Bijlage 2. Warmteafgifteprogramma

1. Aandachtspunten

Bij het gebruik van het warmteafgifteprogramma moet rekening worden gehouden met de volgende punten. Deze informatie is gebaseerd op de diverse mailings die over en weer zijn gestuurd tussen G.L.A.M. Swinkels op het IMAG, en R.H.E. Tuin en M.H. Esmeijer op het PBG.

- In de praktijk komt het regelmatig voor dat van een gevel slechts een gedeelte is geïsoleerd of dat er langs een deel een belendend gebouw staat en verder niet. Dit heeft gevolgen voor de warmteafgifte. Voor een zijgevel is dit op te lossen door meerdere teeltcellen in de gootlengte te creëren, bijvoorbeeld 'gtttttp'. Zo kan per teeltcel voor de zijgevel een ander type verliezend oppervlak gekozen. Voor een kopgevel kan per kopgevelcel aangegeven worden of er sprake is van een gevelscherm. Het is wel zo dat in het geval van een aangrenzend gebouw, de kleinere warmteverliezen ten gevolge van een hogere temperatuur in het aangrenzende gebouw, geschat moeten worden door middel van een k-waarde in 'isolatie.dat'. Het programma gaat namelijk uit van één buitentemperatuur.
- De warmteafgifte van een slang in formulevorm is onbekend voor wat betreft straling en geleiding. Daarom kan het beste voor een isolatiefactor gekozen worden. Onbekend is echter wat de factor moet zijn. Het gebruik van slangverwarming op een bedrijf maakt het moeilijk een betrouwbaar beeld uit WARMV te krijgen.
- Bij het invoeren van de k-waarde voor een geveloppervlak of dekoppervlak bleken de celtemperaturen vaak niet te kloppen. Volgens de schrijver van het programma is de k-waarde een k-waarde per m^2 verliezend oppervlek, dus niet per m^2 grondoppervlak. De waarden in k-waarde.dat gelden echter per m^2 grondoppervlak, deze zijn namelijk bekend voor een aantal dekken. Eigenlijk zijn deze waarden dus ongeschikt voor WARMV, maar ze komen waarschijnlijk wel aardig overeen met de waarde per m^2 verliezend oppervlak.
- De k-waarde van een dek verandert als bijvoorbeeld de buizen dichter bij het dek liggen of als gevolg van het buitenklimaat. Het programma kan hier geen rekening mee houden omdat het geen stromingsmodel is. Bij sierteelten liggen de 'zware' verwarmingsbuizen juist vaak bovenin, in tegenstelling tot de buisrailbedrijven waar het programma op gemaakt is. Dit betekent dat bij tuinen met de buizen boven in de kas het warmteverlies groter is dan op tuinen met de buizen onderin. De oplossing is het gokken van een afwijkende k-waarde of de standaardwaarde blijven gebruiken. De keuze maakt niet veel uit, zolang dit consequent is. Door de diverse aannames en de onduidelijkheid over de k-waarden van separate oppervlakken is de berekening van het warmteverlies minder betrouwbaar.
- WARMV geeft geen zekerheid over de *mate* van capaciteitsoverschot of –tekort. Het geeft dus niet aan hoeveel isolatie respectievelijk extra capaciteit nodig is om een gelijke verdeling te krijgen, iets wat belangrijk is in het advies naar de tuinder. De enige mogelijkheid om hierover iets te zeggen is het invullen van de diverse mogelijkheden in het programma en het resultaat hiervan te bekijken.

2. Aanpassingen

Het programma werd op de volgende punten aangepast.

- Een aantal isolatiewaarden werd toegevoegd, o.a. voor betonvloer.

- Het werd mogelijk om een aangepaste buizenlijst te maken met meer of andere dan de standaardbuizen, zoals die uit het buisrailbedrijf waren overgenomen. Deze lijst kan naar keuze worden toegevoegd aan de bestaande lijst of de bestaande lijst overschrijven. Dankzij de nieuwe hulplijst wordt na keuze van een buistype automatisch de bijbehorende diameter en isolatiewaarde ingevuld. Deze mogelijkheid bleek een enorme tijdsbesparende verbetering. Een buizenbestand heeft de extensie '.bs' en ziet er uit als onderstaand bijvoorbeeld:

naam	diameter (mm)	isolatie (%)
retour;	40;	50
buisrail;	51;	0
slang;	25;	0

- Met de mogelijkheid om achteraf afmetingen van de verwarmingsgroep te wijzigen. Dit kan door middel van *Groep definiëren* in het menu *Bedrijf,* en dan *Actuele groep herdefiniëren*. Wanneer er nieuwe cellen bijkomen worden deze automatisch ingevuld met standaardbuizen en -gevels die de juiste buislengtes en gevel/ dekoppervlakken hebben. De buizen/gevels in de 'oude' cellen kunnen nu afmetingen hebben die NIET meer juist zijn voor de nieuwe kasafmetingen. De afmetingen in de hulplijsten met buizen en gevels zijn wel bijgewerkt. Dit was erg prettig omdat het bijvoorbeeld bij gebruik soms handiger bleek om cellen te splitsen. Dat kon nu zonder alles opnieuw in te hoeven voeren.
- Het k-waarde bestand werd verbeterd.
  enkel glas (eg) dek: 8.8
  eg dek + geïsoleerde gevel: 7.9
  eg dek met scherm + gevelscherm: 4.2
  eg dek met dubbel schermen + dubbel gevelscherm: 3.1
  dubbel glas dek: 4.2
  hortiplus dek: 7.0

waarbij het scherm een LS10 scherm is.

- De mogelijkheid om read-only bestanden te lezen
- De afkortingen in de keuzelijst van het type verliezend oppervlak bij het invoeren van isolatiewaarden waren onduidelijk. Zowel dek en scherm werden in de afkortingen genoemd, maar ook apart. Het was evenmin duidelijk wat waar ingevoerd diende te worden. Voor zowel dek als gevel bleek elke waarde uit 'Type verliezend oppervlak' gekozen te kunnen worden. Bij de opties in deze hulplijst is namelijk alleen de k-waarde (niet zichtbaar in hulplijst maar wel in 'kwaarde.dat') van belang. De k-waarden in 'k-waarde.dat' zijn k-waarden voor een kas als geheel. Ze slaan dus niet op een afzonderlijke gevel of dek en zijn dus eigenlijk ongeschikt om voor een gevel of dek op zich te gebruiken. Ze zijn berekend voor een vierkante kas van 1 ha. Meer specifieke k-waarden voor bepaalde gevels of dekken konden niet achterhaald worden.

3. Mogelijke verbeteringen

Het programma zou aan gebruikersvriendelijkheid winnen met de volgende aanpassingen.

1. Nieuw bedrijven of groepen zijn standaard voorzien van diverse waarden. Beter is het als deze leeg zouden zijn. Na tussentijdse opslag kost het veel tijd om te achterhalen wat al gewijzigd is en wat nog 'standaard' was.

2. De mogelijkheid om elk net op een apart blad in te voeren. Hiermee is de verdeling van elk net afzonderlijk te volgen. Door vervolgens de bladen naar keuze samen te voegen is snel te (laten) zien wat de invloed van elk net is. Sommige tuinders zetten bijvoorbeeld een bovennet of groeinet tijdelijk uit. Met deze mogelijkheid kan snel getoond worden wat het effect hiervan op de maximaal haalbare temperatuur bij bijvoorbeeld −10 °C is

3. De mogelijkheid om binnen het bestand een complete 'groep' met inhoud kopiëren. Dit is handig om het effect van verschillende nettemperaturen te vergelijken. Nu moet dat heel erg omslachtig. Dit geldt voor iedere verandering die vergeleken moet worden met de vorige situatie.

4. Kassen zijn lang niet altijd regelmatige rechthoeken. In het programma is echter alleen deze vorm in te voeren. Het vergt enige creativiteit om extra hoeken van de kas mee te nemen.

5. De verschillende manier van invoeren voor verschillende typen cellen kan gemakkelijk fouten geven. Meer eenduidigheid verbetert dit

6. Het overzetten van het plaatje naar 'WORD' is zeer omslachtig, en het printen ook. Op dit moment gaat het invoegen in een verslag als volgt:
   Print Screen
   In Photo editor plakken
   Alle zaken van het scherm halen die er niet mee te maken hebben
   Vervolgens de legenda er bij plakken

7. Het is nu niet mogelijk om een wrv-bestand binnen het programma te sluiten en een andere te openen. Hiertoe moet eerst het hele programma afgesloten worden en vervolgens opnieuw opgestart.

8. Het opslaan met de juiste buitentemperatuur werkt nog niet foutloos.

9. Een belangrijke tekortkoming is dat niemand precies weet wat de juiste celdiepte voor pad- en gevelcellen is. Die keuze heeft echter invloed op de berekende temperatuur in een pad- of gevelcel. Vooral bij hoge buizen boven het pad is het moeilijk om te schatten waar de geproduceerde warmte blijft. Een padceldiepte van 20m of 5m zou allebei wel eens kunnen.

10. Het getekende plaatje is te klein en de schaal is onnauwkeurig. Bij een bedrijf met grote afmetingen vallen afwijkingen aan pad of gevel nauwelijks meer op. Alleen door een grote celdiepte te kiezen, wordt de bijbehorende 'kleur' zichtbaar. Echter, de celdiepte heeft invloed op de warmteafgifte en wat er getoond wordt kan dus onjuist zijn. Een oplossing zou een soort zoom-functie op het plaatje kunnen zijn,

waarbij dan ook de temperatuur in cijfers per cel zichtbaar wordt. Soms is het wel makkelijk als in de contourplot te zien was wat de gevel- en padcellen zijn.

11. Het programma gebruikt alleen buisoppervlakken voor berekenen van afgifte. Dit is alleen correct voor diameters in de buurt van 51mm. Voor een dikke transportbuis bedraagt de fout al gauw 10 %. WARMV overschat hier de warmteafgifte. Voor grote buisdiameter moet de berekening worden aangepast.

12. Het programma houdt nu geen rekening met de ligging van de buizen. Daar dit behoorlijk invloed op de warmteverliezen heeft verdient het aanbeveling onderscheid te maken tussen hoge en lage buisligging bij de k-waarde. Door in het k-waarde bestand twee extra k-waardes op te nemen, één voor dek met hoge buisligging en één voor dek met lage buisligging wordt dit probleem voor een groot deel opgelost.

13. Het begrip 'nokken per kap' is verwarrend. Beter is het aantal nokken per overspanning, spant, tralie of dergelijke. Nok en kap zijn namelijk in de praktijk hetzelfde.

14. Warmv deelt een bedrijf in 'groepen' in. Hier wordt weliswaar de verwarmingsgroep mee bedoeld, maar soms liggen die niet pas over een afdeling. Een bedrijf bestaat uit afdelingen die ieder één of meer verwarmingsnetten hebben. Het komt voor dat het secundaire net over twee of meer afdelingen loopt, terwijl de hoofdgroep wel per afdeling ligt. De keuze voor opdeling in bedrijf – afdeling – cellen zou duidelijker zijn.

Bijlage 3. Resultaat begeleiding toepassing handleiding.

Begin 1997 wilde een tomatentuinder alvast aan de gang met de handleiding. De tuinder is begeleid zodat een extra test op de bruikbaarheid van de handleiding werd verkregen. De bedrijfsleider verrichte in twee kassen van ca. 50.000 m^2 een groot aantal metingen met de flesjesmethode. Iedere kas was onderverdeeld in 6 verwarmingsgroepen, plus 8 gevelgroepen. Ook waren er ventilatoren aanwezig, die gebruikt werden om temperatuurverschillen tegen te gaan. De hoofdleidingen lagen langs de buitengevels.

De volgende figuren tonen de temperatuurverdeling van één kas op twee verschillende winterse dagen. Gemeten is rond zonsopkomst. Figuur 5 geeft de situatie weer zonder ventilatoren, en figuur 6 met gebruik van de ventilatoren, zoals gemeten in het eerste jaar. Er is op meer dagen gemeten, maar de verkregen plaatjes voegen niets extra toe en zijn om die reden weggelaten.

Figuur 5. Beeld van een warmtemeting met de ventilatoren uit.

Figuur 6. Beeld van een warmtemeting met ventilatoren aan.

De eerste twee tralies zijn warmer dan de overige tralies. Tralie1 grenst aan de verwarmde bedrijfsruimte (rechts onder tot middenpad) en de sorteerruimte (rechts boven vanaf middenpad). Op 21 december, figuur niet getoond, was de bedrijfsruimte niet verwarmd, maar alleen vorstvrij gehouden. Dit resulteerde in een koude plek in tralie 1, waarmee bevestigd werd dat de hogere temperatuur op de andere dagen veroorzaakt werd door de bedrijfsruimte. De warmere plekken langs het middenpad en gevels houden verband met de ligging van de aanvoer- en retourleidingen en de verdeelstukken. Het temperatuurverschil over de totale kas bedroeg vier tot zes graden Celsius. Binnen een afdeling was het verschil maximaal 4 à 5 °C. Dit is vrij groot. Het betreft hier vooral puntsgewijze afwijkingen. Het grootste deel van de kas ligt binnen een bandbreedte van 2 °C.
Bij gebruik van de ventilatoren lijkt de temperatuurverdeling gelijkmatiger, maar de delta T is nagenoeg even groot. (Delta T is het verschil tussen de warmste en koudste plek in graden.) Ook de positie van de warme en koude plekken is niet wezenlijk veranderd, alleen de grootte verschilt. Hiermee wordt andermaal getoond dat ventilatoren geen oplossing zijn voor klimaatverschillen.

Met behulp van de stroomdiagrammen is vervolgens gekeken wat de oorzaken en mogelijke oplossingen hiervoor zijn. Op de tuin zijn vervolgens diverse aanpassing uitgevoerd, onder meer het beter isoleren van verdeelleidingen en verdeelstukken. Dit resulteerde in het tweede jaar in verschillen van 1 à 2 °C.

De conclusie luidt dat een buisrailbedrijf goed met de handleiding kan werken en dat de stroomdiagrammen voor dit type bedrijf prima zijn.