ISN 191295 JL
V
73

Proefstation voor de Bloemisterij
Linnaeuslaan 2a
1431 JV Aalsmeer
Tel. 02977-52525

ISSN 0921-710X

TOEPASSING VAN VERSCHILLENDE TABLET- EN VLOERVERWARMINGSSYSTEMEN

Rapport nr. 48

CENTRALE LANDBOUWCATALOGUS
0000 0962 0960

Aalsmeer, januari 1988

Projectteam:
Ir. J. Vogelezang (PBN)
Ing. P.A. van Weel (IMAG)
Ing. J.M. Freriks (IMAG)

Dit rapport wordt u toegestuurd na storting van f. 12,50 op giro 174855 ten name van Proefstation Aalsmeer onder vermelding Rapport nr. 48 'Tablet- en vloerverwarming'.

Inhoudsopgave

	blz.
Samenvatting	
1. Inleiding	1
2. Aluminium tabletverwarming	2
2.1 Inleiding 2.2 Methode en werkwijze 2.3 Resultaten 2.4 Discussie 2.5 Samenvatting Literatuur	
3. "Luchtverwarmd" tablet	9
3.1 Inleiding 3.2 Methode en werkwijze 3.3 Resultaten 3.4 Discussie 3.5 Samenvatting Literatuur	
4. Praktijkmeting aan tabletbodem met rooster	20
4.1 Inleiding 4.2 Methode en werkwijze 4.3 Resultaten 4.4 Discussie 4.5 Samenvatting Literatuur	
5. Opneembare betonvloer met vloerverwarming	30
5.1 Inleiding 5.2 Methode en werkwijze 5.3 Resultaten 5.4 Discussie 5.5 Samenvatting Literatuur	
6. Discussie over de verschillende systemen	38
7. Aanbevelingen voor vervolgonderzoek	41
7.1 Systeemvergelijkingen 7.2 Systeemontwikkeling 7.3 Teeltonderzoek 7.4 Klimaatonderzoek	

Samenvatting

In het onderzoekseizoen 1986-1987 zijn een aantal verschillende tablet- en vloerverwarmingssystemen getest op hun gebruikswaarde. Bekeken zijn :

* een aluminium tabletverwarming
* een "dubbele" tabletbodem met bodemverwarming en geforceerde luchtbeweging
* een tabletbodem met rooster, met hiertussen bodemverwarming
* een drietal mogelijkheden met betrekking tot de plaats van verwarmingsslangen bij een opneembare betonvloer.

Het aluminium tabletverwarmingssysteem is een van de eerst ontwikkelde verwarmingssystemen geweest met een groot verwarmd oppervlak voor de toepassing van lage watertemperaturen. Bestudering van het microklimaat heeft aangetoond dat tabletverwarming naast een verhoging van de pottemperatuur óók de luchttemperatuur rondom de plant én de bladtemperatuur verhoogt. De pot- en gewasdichtheid is mede bepalend voor het gerealiseerde planttemperatuurniveau. Schermen heeft een verhoging van de planttemperatuur tot gevolg.

Het tabletverwarmingssysteem met geforceerde luchtbeweging zou een mogelijkheid zijn om de temperatuur van het gewas en het substraat meer onafhankelijk te besturen. Uit het onderzoek is gebleken dat een geringe planttemperatuurverhoging kon worden vastgesteld als gevolg van geforceerde luchtbeweging. Het onderzoek naar de effecten van luchtbeweging is echter nogal belemmerd, doordat het op dit moment nog ontbreekt aan goede meetmethodieken om kleine luchtsnelheden vast te stellen. Het teeltkundig onderzoek heeft geen betrouwbare verschillen kunnen vaststellen in gewasgroei als gevolg van de geforceerde luchtbeweging.

De tabletbodem met rooster en verwarmingsslangen levert relatief lage pottemperaturen op. Een te verwachten opwaartse luchtstroming vanuit de bodem kon niet worden vastgesteld, maar uit de microklimaat-metingen kon wel worden afgeleid dat de situatie op het tablet niet erg stabiel is.

Uit het onderzoek met de verschillende vloerverwarmingconstructies is gebleken dat de plaats van de verwarmingsslangen van wezenlijke invloed is op de warmtetechnische prestaties van de opneembare betonvloer. Het over de hele lengte inklemmen van de slangen onderin de 5,5 cm dikke betonplaten levert een goed compromis tussen warmte-afgifte, gelijkmatige oppervlaktetemperatuur, traagheid en realiseerbaarheid.

In het onderzoek waarbij verschillende verwarmingssystemen met elkaar vergeleken worden, wordt steeds sterker het gemis aan fundamentele kennis omtrent het microklimaat gevoeld. Deze kennis is onontbeerlijk, omdat er bij de systeemontwikkeling steeds meer naar gestreefd wordt om dit microklimaat te beheersen. Bij de systeemontwikkeling lijkt het zinvol prioriteit te geven aan systemen die zich dicht bij de planten bevinden en geen schaduw veroorzaken, de planten verwarmen zonder teveel onnodige uitwisseling met de omringende koudere lucht en als belangrijkste kenmerk een gelijkmatige temperatuur in het gewas door de hele kas hebben.

1. Inleiding

Het energiebesparend onderzoek heeft in de beginjaren van 1980 geresulteerd in de ontwikkeling van tabletverwarmingssystemen en verwarmde betonvloeren, allebei systemen met een groot verwarmd oppervlak. Met deze verwarmingssystemen werd het mogelijk rookgascondensorwarmte toe te passen, maar toepassing van andere bronnen van laagwaardige warmte (rest- en afvalwarmte) is ook denkbaar. Sindsdien is in de potplantensector in toenemende mate geïnvesteerd in tablet- en vloerverwarming, vooral in combinatie met een geautomatiseerd watergeefsysteem (eb en vloed). Momenteel wordt de hoeveelheid op zo'n 150 ha geschat (17 %)*.

Bij zowel de tablet- als vloerverwarming wordt op zeer directe wijze de wortelтemperatuur beïnvloed, omdat de potten direct contact maken met de verwarmingsbron. Het microklimaat rondom de plant zal ook op belangrijke wijze beïnvloed worden door deze systemen.

Sinds de introductie van tablet- en vloerverwarmingssystemen hebben zich een aantal nieuwe ontwikkelingen ingezet. Zo is er een opneembare betonvloer gekomen, met daarbij de vraag wat de beste constructie zou zijn voor de verwarmingsslangen. Ook de praktijk heeft niet stilgezeten en is met een nieuwe tabletbodem met rooster op de markt gekomen. Onderzoekers zijn met het idee gekomen om met behulp van geforceerde luchtbeweging het microklimaat beter te kunnen besturen.

In dit verslag wordt een overzicht gegeven van een aantal verschillende tablet- en vloerverwarmingssystemen die in het onderzoekseizoen 1986-1987 onderzocht zijn. Dit onderzoek heeft plaatsgevonden in een samenwerkingsproject van het PBN en het IMAG.

* Bron : Kwantitatieve Informatie 1987 - 1988

2. Aluminium tabletverwarming

2.1 Inleiding

Het aluminium tabletverwarmingssysteem is een van de eerst ontwikkelde verwarmingssystemen met een groot verwarmd oppervlak voor de toepassing van lage watertemperaturen (o.a. rookgascondensorwarmte). Uit onderzoek is gebleken dat een groot gedeelte van de voor de kasverwarming benodigde verwarmingscapaciteit geleverd kan worden met dit verwarmingssysteem mits de pottemperatuur hoger mag zijn dan tot nu toe in de praktijk gebruikelijk is (Weel, 1984). Aluminium is een materiaal waarmee een goede warmte-overdracht mogelijk is, mits het contact tussen aluminium bodem en aluminium verwarmingsbuis goed is (Vogelezang, 1986).

Teeltkundig onderzoek is gestart naar de effecten van hogere pottemperaturen in combinatie met andere invloedsfactoren, met als doel de teeltkundige grenzen en optima te leren kennen. In dit onderzoek wordt gebruik gemaakt van een aluminium tabletverwarmingssysteem. Tegelijkertijd is klimaatonderzoek gestart waarbij het microklimaat op verwarmde tabletten beschreven wordt met eventuele consequenties voor condensatie op het gewas (Freriks, 1986).

In dit hoofdstuk wordt het gerealiseerde microklimaat op verwarmde tabletten weergegeven, waarbij tevens aandacht wordt besteed aan de diverse invloedsfactoren.

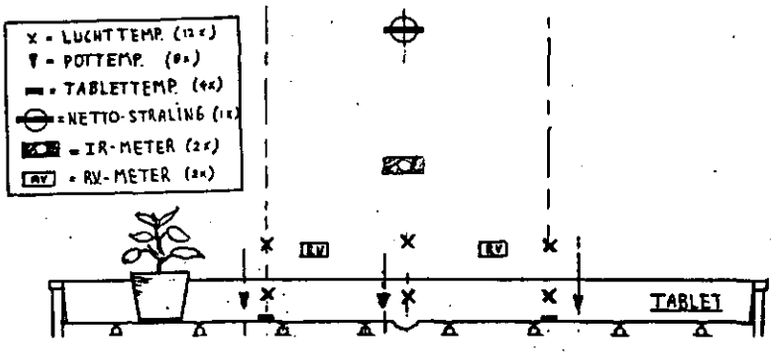
2.2 Methode en werkwijze

-outillage

Op het Proefstation in Aalsmeer zijn zes bestaande kasafdelingen (8.00 x 12.80 m) opnieuw ingericht voor het teeltkundig onderzoek met tabletverwarming. In iedere kasafdeling zijn zes tabletten geplaatst (1.80 x 4.80), waarbij telkens drie tabletten een proefeenheid vormen. Het tabletverwarmingssysteem wordt geregeld op basis van de pottemperatuur (1 cm vanaf de potbodem). Het aanwezige bovennet wordt geregeld op basis van de kasluchttemperatuur 40 cm boven het gewas (geventileerde afdelingsmeetbox).

-meetopstelling voor klimaatonderzoek

In één van de zes kasafdelingen is boven één van de tabletten een uitgebreid meetnet geïnstalleerd voor klimaatmetingen (figuur 2.1).



Figuur 2.1 Meetopstelling voor microklimaat-onderzoek.

Gemeten zijn pot- en luchttemperaturen, bladtemperaturen, buis- en tablet-temperaturen, de luchtvochtigheid en de nettostraling.

De metingen hebben betrekking op een periode van anderhalf jaar, waarbij telkens de invloed van een bepaalde omgevingsfactor op het microklimaat is bekeken. De metingen zijn uitgevoerd in een Begonia gewas.

2.3 Resultaten

In de figuren 2.2 t/m 2.5* worden de verschillende microklimaat situaties weergegeven. Iedere situatie is uit een reeks van meetdagen geselecteerd, zodanig dat er sprake was van een stabiele situatie gedurende mimimaal drie uur. Alle metingen zijn 's nachts uitgevoerd.

In figuur 2.2 worden de temperatuurgradiënten in de pot weergegeven. Het pottemperatuurgradiënt loopt op tot 5°C bij een ingestelde pottemperatuur van 29°C (figuur 2.2a). Uit figuur 2.2b komt naar voren dat verschillen in bodemplaattemperatuur (boven de buis en tussen twee buizen 2.5 resp. 5.6°C) nauwelijks resulteren in verschillen in pottemperatuur. Dit duidt op een slechte warmtegeleiding tussen bodemplaat en pot.

Er is een duidelijk effect van het pottemperatuurniveau op de luchttemperatuurverdeling rondom de planten. In vergelijking tot de situatie bij 23°C is het luchttemperatuurniveau 4°C hoger bij een pottemperatuur van 29°C (figuur 2.3a). Ook de spreiding in luchttemperatuur op het tablet neemt toe bij hogere pottemperaturen. In figuur 2.3b is de invloed van het wijder zetten zichtbaar gemaakt. Alle gemeten temperatuurniveau's dalen ten gevolge van het wijder zetten, naast dat de temperaturen minder spreiding vertonen.

In figuur 2.4a is het effect van het al dan niet schermen op het microklimaat weergegeven. De uitstraling van het plantendek is in de ongeschermde situatie 12.5 W/m^2 groter (ondanks de 3°C hogere buiten-temperatuur), naast dat de verticale temperatuurgradiënten toenemen. De bladtemperatuur ligt in de ongeschermde situatie ca. 4.5°C lager. Het verschil tussen blad- en dauwpunttemperatuur neemt tevens af, wat betekent dat het risico op gewascondensatie vergroot wordt in de ongeschermde situatie. In figuur 2.4b is de invloed van de stookintensiteit weergegeven. Dat er in de linker situatie in de figuur méér is gestookt, komt tot uiting in de hogere tablettemperatuur (+3°C) en de grotere uitstraling (-55.0 t.o.v. -27.5 W/m^2). Verder blijkt dat ondanks de hogere bodemplaat- en pottemperatuur de lucht- en bladtemperatuur 3°C lager zijn. De invloed van tabletverwarming op de lucht- en bladtemperatuur is dus mede afhankelijk van de overige klimaatomstandigheden zoals de temperatuur van het dek/scherm en de luchttemperatuur boven het gewas.

In figuur 2.4 is de situatie met en zonder tabletverwarming met elkaar vergeleken. In de onverwarmde situatie (pottemperatuur van 16°C) liggen in beide gevallen de bladtemperatuur en de dauwpunttemperatuur vlak bij elkaar, wat een hoog risico op gewascondensatie betekent.

Concluderend kan gesteld worden dat:
- tabletverwarming een duidelijke invloed heeft op de luchttemperatuur-verdeling rondom de planten. De planttemperatuur wordt tevens beinvloed door tabletverwarming, waarbij de pot- en gewasdichtheid mede bepalend is voor het gerealiseerde planttemperatuurniveau.
- de invloed van tabletverwarming op de lucht- en planttemperatuur mede

* : In alle figuren zijn de temperaturen in graden Celsius weergegeven.

afhankelijk is van de overige klimaatomstandigheden zoals de temperatuur van het dek/scherm en de luchttemperatuur boven het gewas.
- schermen een verhoging van de planttemperatuur en een vermindering van de kans op condensatie tot gevolg heeft.
- verwarmingsmethoden waarbij de warmte onder in het gewas gebracht wordt, tot een vermindering van de kans op gewascondensatie leidt.

2.4 Discussie

De tot nu toe uitgevoerde klimaatmetingen hebben geleid tot een beschrijving van het microklimaat op verwarmde tabletten, waarbij verschillende invloedsfactoren zijn bekeken. Een volgende stap zou kunnen zijn dat er een model opgesteld wordt voor de berekening van bepaalde microklimaat-parameters, zodat ook voor andere potgrondsamenstellingen, substraatvochtigheden en gewasgeometrieën, het microklimaat beschreven kan worden. Al eerder is een dergelijk model opgesteld voor de berekening van de pottemperatuur en de te verwachten gradiënten (Yang and Albright, 1985). In dit model zou de pottemperatuur een functie kunnen zijn van:

Temp-pot = F[Temp-tablet, Temp-lucht, Vochtigheid-lucht, Vochtigheid-pot (θ), Dichtheid-potgrond (ρ)], waarin θ-pot en ρ-pot van de warmtegeleiding(λ) en warmtecapaciteit (C) van de potgrond afhankelijk zijn. Dit model zou tot een beter begrip van het microklimaat leiden, waardoor de teeltsysteemeisen meer aangescherpt kunnen worden.

2.5 Samenvatting

Bestudering van het microklimaat op verwarmde aluminium tabletten heeft aangetoond dat meerdere factoren bepalend zijn voor dit microklimaat. Tabletverwarming heeft niet alleen invloed op de luchttemperatuur rondom de plant, maar een hogere pottemperatuur heeft óók een hogere bladtemperatuur tot gevolg. De pot- en gewasdichtheid is mede bepalend voor het gerealiseerd planttemperatuurniveau.

Verwarmingsmethoden waarbij de warmte bij de wortels van het gewas gebracht wordt, leiden in geval van (lage) potplanten tot vermindering van de kans op condensatie op het gewas. Schermen heeft een verhoging van de planttemperatuur tot gevolg.

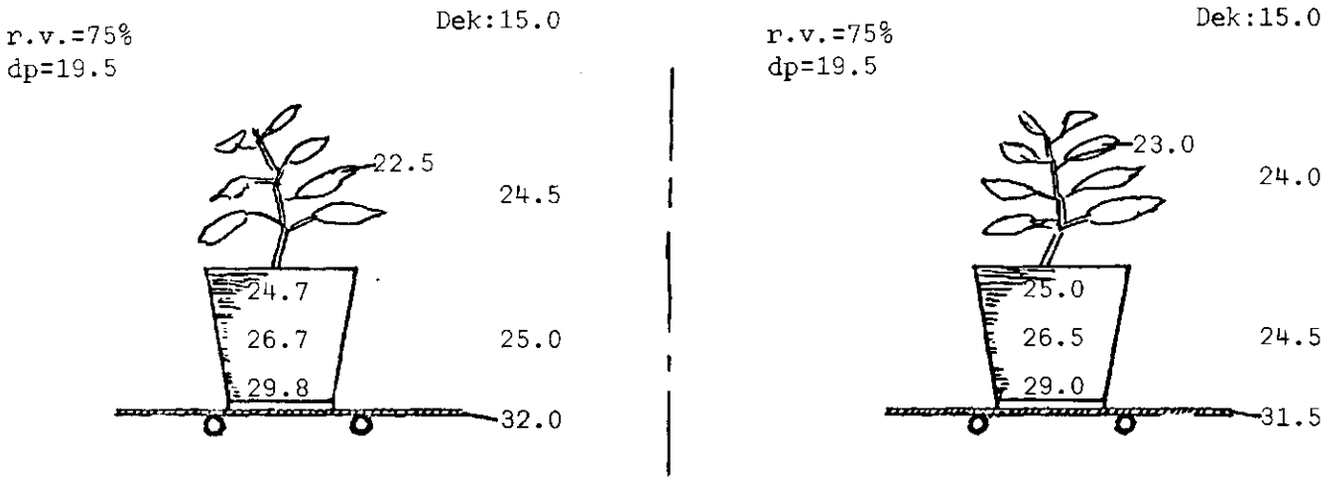
Literatuur

Freriks, J.M., 1986. Microklimaat boven verwarmde tabletten. Jaarverslag Proefstation voor de Bloemisterij : 154-155.

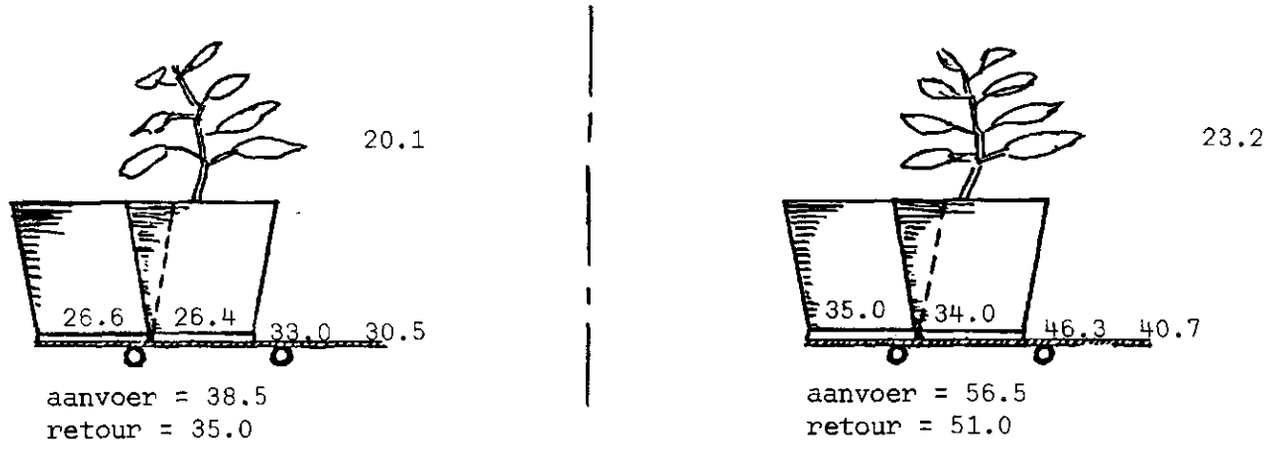
Vogelezang, J., 1986. Invloed van tabletconstructie op temperatuurverdeling binnen een tablet. Jaarverslag Proefstation voor de Bloemisterij : 154.

Weel, P. van, 1984. Benchheating for potplant or cutflower production. Acta Horticulturae 148 : 57-64.

Yang,X. and Albright, L.D., 1985. Finite element analysis of temperatures in a bottom-heated nursery container. Acta Horticulturae 174 : 155-165.

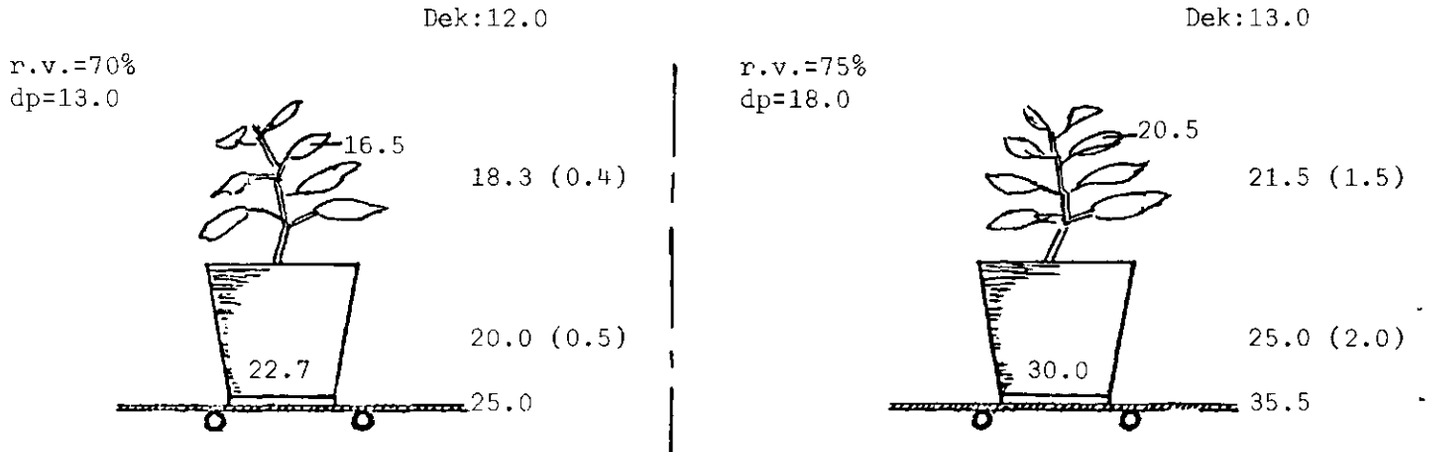


a. Verticaal temperatuurgradiënt.
Setpoints : pot 29°C, kaslucht 20°C. Géén schermdoek.

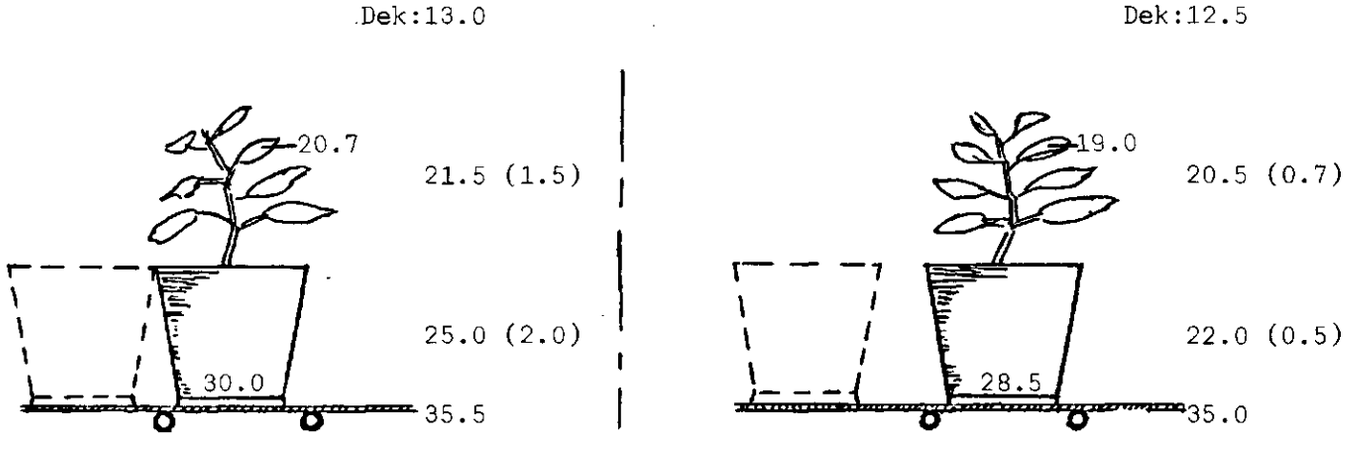


b. Invloed van verschillen in tablettemperatuur op de horizontale verschillen in pottemperatuur. Het tabletverwarmingssysteem is geregeld op een vaste watertemperatuur.

Figuur 2.2 Verticale en horizontale pottemperatuurgradiënten op verwarmde tabletten.
r.v. = relatieve luchtvochtigheid. dp = dauwpunttemperatuur.

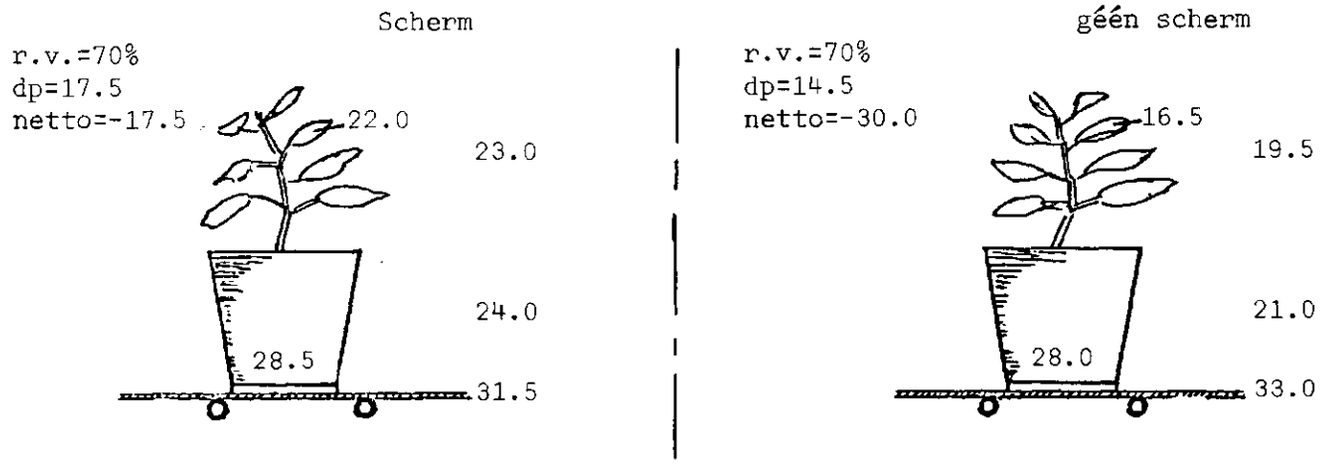


a. Gradiënt in luchttemperatuur tussen het gewas. Tussen haakjes de spreiding in luchttemperatuur.
Setpoints : pot 23 en 29°C, kaslucht 20°C. Géén schermdoek.

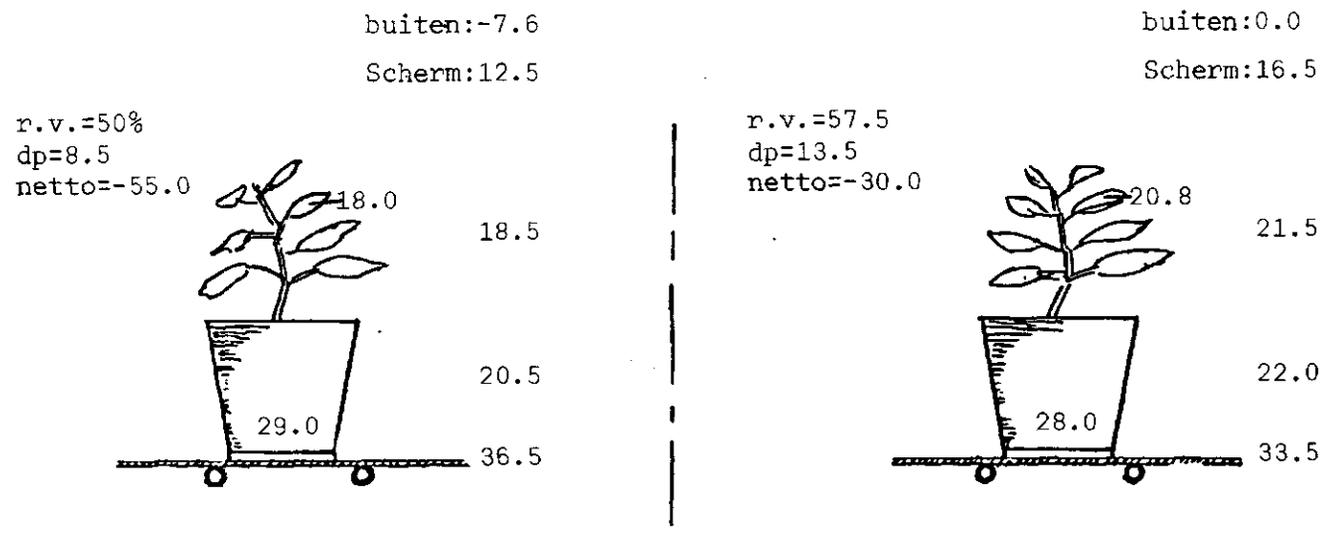


b. Invloed van het wijder zetten (faktor $\frac{1}{2}$) op de luchttemperatuurgradiënt. Tussen haakjes de spreiding in lucttemperatuur.
Setpoints : pot 29°C, kaslucht 20°C. Géén schermdoek.

Figuur 2.3 Verticale luchttemperatuurgradiënten tussen het gewas op verwarmde tabletten.
r.v. = relatieve luchtvochtigheid. dp = dauwpunttemperatuur.



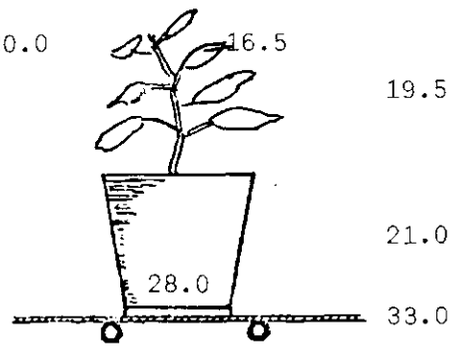
a. Invloed van een schermdoek op het microklimaat.
Setpoints : pot 29°C, kaslucht 15°C.



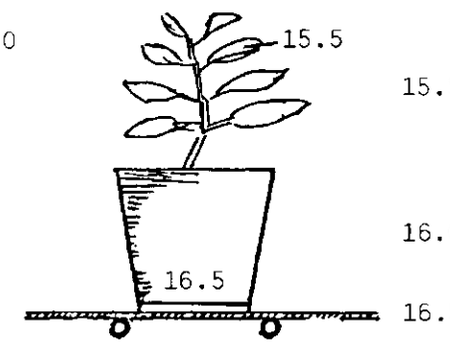
b. Invloed van het stookniveau op het microklimaat. In de situatie links wordt met het bovennet harder gestookt.
Setpoints : pot 29°C, kaslucht 16°C. Schermdoek gesloten.

Figuur 2.4 Invloed van omgevingsfactoren op het microklimaat.
r.v. = relatieve luchtvochtigheid. dp = dauwpunttemperatuur.
netto = nettostraling in W/m2.

r.v.=70%
dp=14.5
netto=-30.0

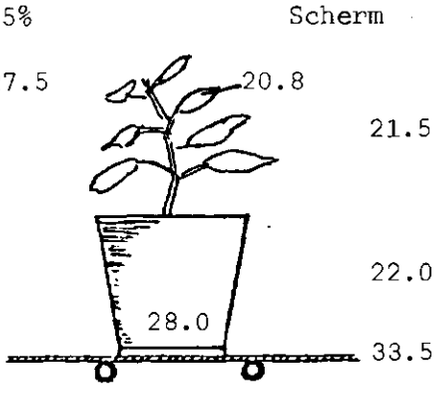


r.v.=96/100%
dp=16.0
netto=0.0

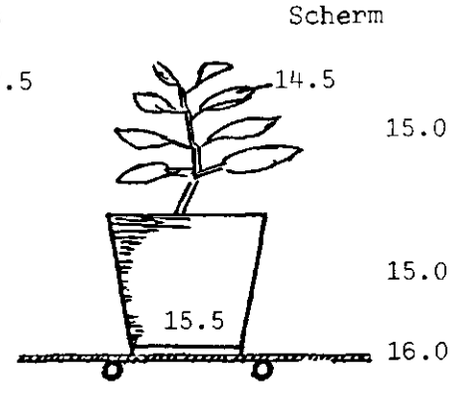


a. Eerste meting.
Setpoints : pot 29°C en 15°C, kaslucht 15°C. Géén schermdoek.

r.v.=57.5%
dp=13.5
netto=-27.5



r.v.=85%
dp=13.5
netto=-7.5



b. Tweede meting.
Setpoints : pot 29°C en 15°C, kaslucht 15°C. Schermdoek gesloten.

Figuur 2.5 Invloed van wel of geen tabletverwarming op het microklimaat, en het risico van condensatie op het gewas.

3. "Luchtverwarmd" tablet

3.1 Inleiding

Klimaattechnisch bezien verdient een tabletverwarmingssysteem de voorkeur boven een ondernet of een bovennet, wanneer deze wordt gebruikt als hoofdverwarming. De warmte wordt immers tussen het gewas gebracht en daardoor zo efficiënt mogelijk toegediend. Aan de huidige systemen die volgens dit principe werken kleven echter een aantal bezwaren (Vogelezang, 1986).
De belangrijkste is dat de temperaturen van substraat, blad en groeipunt niet onafhankelijk van elkaar te besturen zijn. Verder wordt de maximum watertemperatuur gelimiteerd door de gekozen buismaterialen en de uitzetting van de tabletbodem.

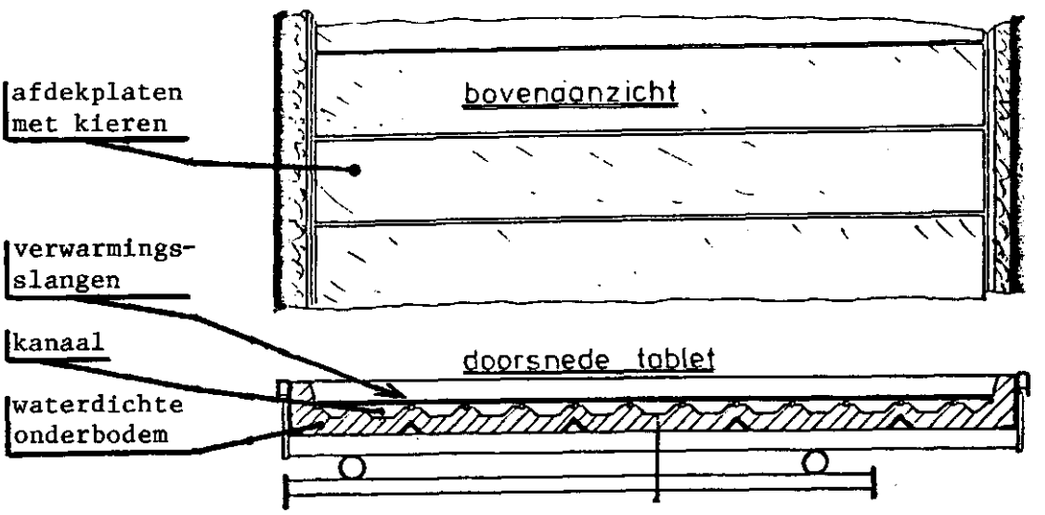
Door nu vanuit de tabletbodem een instelbaar deel van de warmte direct tussen het gewas te brengen met behulp van geforceerde luchtbeweging lijkt het mogelijk om de temperaturen van substraat en plant meer onafhankelijk van elkaar te besturen.

Voor het testen van dit idee is een tabletbodem ontworpen die een combinatie bevat van bodemverwarming, luchtbeweging vanuit de bodem en een eb-vloed watergeefsysteem. Op deze tabletten hebben twee teeltproeven plaatsgevonden (Begonia en Schefflera) met als doel het vastleggen van de verschillen in klimaat tussen wel en niet blazen (geforceerde luchtbeweging) en de gewasreakties daarop.

3.2 Methode en werkwijze

- outillage

In een kas op het proefstation met een oppervlakte van ongeveer 150 m^2 zijn zes verrolbare tabletten geïnstalleerd met daarop een experimentele bodem. Deze bestond uit een geprofileerde en met een coating waterdicht gemaakte bak van polystyreenschuim.



Figuur 3.1 Doorsnede van een experimentele tabletbodem met verwarming, eb-vloed watergeefsyteem en geforceerde luchtbeweging vanuit de bodem.

Op een achttal in de bodem uitgespaarde kanalen werden polyetheen verwarmingsslangen gelegd, 15 cm uit elkaar. Daarop werden 4 mm dikke asbestcement stroken gelegd van 20 cm lengte. Tussen deze stroken werd een 5 mm brede kier aangehouden. Door de profilering in de polystyreenschuim onderbodem ontstonden onder de afdekplaten kanalen die voor de verdeling van de met een ventilator aangevoerde kaslucht werden benut. De kieren tussen de afdekplaten zorgden voor een regelmatige verdeling van deze lucht tussen het gewas.

Tijdens de eerste teelt (Begonia) werd een luchthoeveelheid ingesteld van 10 m^3/m^2.uur. Tijdens de tweede teelt (Schefflera) is de luchthoeveelheid verdubbeld tot 20 m^3/m^2.uur, waarbij de luchtuittreesnelheid bij de spleten 0.2 m/sec is geweest. In de kasruimte zijn aan weerszijden van het middenpad drie tafels op de ventilator aangesloten, terwijl in de andere drie tafels geen lucht werd geblazen.

- klimaatregeling

Ter voorkoming van ongewenste luchtstromingspatronen in de kas werd aan weerszijden van een groep tafels een foliescherm aangebracht. De van het kasdek komende koude luchtstroom kon daardoor moeilijker over de tafels heen stromen. De watertemperatuur van het tabletverwarmingssysteem werd geregeld op basis van de kasluchttemperatuur ongeveer 40 cm boven de tabletbodem, gedurende de eerste teelt met een maximum van 40°C en gedurende de tweede teelt van 50°C. Als aanvullende verwarming werd een vloerverwarmingssysteem toegepast, waarvan de watertemperatuur slechts binnen bepaalde grenzen regelbaar was. Gedurende de eerste teelt is gewerkt met een vaste watertemperatuur van 30°C. Later werd op basis van buitentemperatuur en zoninstraling de watertemperatuur verlaagd (figuur 3.2), waardoor het tabletverwarmingssysteem meer bijdroeg aan de totale kasverwarming. Een zijgevelnet bestaande uit twee stalen buizen met een diameter van 76 mm aan weerszijden van de kas heeft meegedraaid met een watertemperatuur variërend tussen 30 en 40°C om de zijgeveleffecten te compenseren. De watervoorziening geschiedde met een eb-vloed systeem vanuit één centraal opslagvat.

- Meetopstelling voor klimaatonderzoek

Ter controle op het gerealiseerd klimaat zijn de kasluchttemperatuur en de RV verzameld met de klimaatcomputer (multilevel-systeem). In zowel de proefkas als de "referentie"kas hangt de meetbox ca. 40 cm boven het tablet. Pottemperatuurmetingen zijn verricht met een datalogger. De pottemperaturen zijn gemeten bovenop een verwarmingsslang ca. 1 cm vanaf de potbodem.

In de periode 27-02 tot 25-04 is gedurende 12 dagen uitgebreider gemeten en met een hoge meetfrequentie van 5 minuten (figuur 3.3). Gemeten zijn de plaattemperaturen, pottemperaturen, bladtemperaturen, RV en luchttemperatuur tussen het gewas.

Met behulp van in het luchttoevoerkanaal ingebrachte rook is de luchtverdeling over het tablet geanalyseerd. Met behulp van rookbuisjes en zeepbellen gevuld met een mengsel van helium en lucht is de luchtbeweging tussen het gewas bestudeerd.

- Teeltonderzoek

Na aanleg van de tabletbodem heeft een eerste inregelteelt met Begonia

plaatsgevonden. Uit deze teelt is gebleken dat het systeem teelttechnisch voldeed en dat de gebruikte materialen géén aanwijsbare gewasschade veroorzaakten. Hierna hebben twee teeltproeven plaatsgevonden in de periode november 1986 tot juli 1987, waarbij het effect van de geforceerde luchtbeweging op de gewasgroei centraal heeft gestaan. Tegelijkertijd is de gewasgroei in deze kas vergeleken met een "referentie"-kas, te weten de behandeling met onverwarmd tablet van een geheel synchroon uitgevoerde proef. Deze "referentie"-kas wordt beschouwd als een kas waar een normale teelt op een meer gangbaar tabletverwarmingssysteem uitgevoerd wordt. Voor beide onderzoeken is hetzelfde uitgangsmateriaal gebruikt.

De eerste teeltproef met Begonia is gestart in week 48 (1986) en beëindigd in week 12 (1987). Bladstekken van cv.'Toran' zijn opgepot in een 13 cm -pot; tijdens de teelt is tweemaal wijder gezet. De kasluchttemperatuur is ingesteld geweest op een dag- en een nachttemperatuur van 18°C. Bijna de hele teelt is langedag-belichting toegepast, alleen tijdens teeltweek 11 t/m 13 is de daglengte teruggebracht tot ca. 12 uur. Het schermdoek is gebruikt als energiescherm en als zonwering (vanaf 400 W). Met iedere watergeefbeurt is bemesting meegegeven, waarbij gestreefd is naar een EC van 0.8-0.9 in de pot.

De tweede teeltproef met Schefflera is gestart in week 13 en beëindigd in week 28. De stekken zijn opgepot in een 13 cm.-container; tijdens de teelt is tweemaal wijder gezet. De ingestelde kasluchttemperatuur was 18°C. Het schermdoek is alleen gebruikt als zonwering, waarbij tijdens de beworteling vanaf 500 W en daarna vanaf 700 W geschermd is. Het water had een constante EC van 1.4, waarbij gestreefd is naar een EC van 0.8-0.9 in de pot.

Ter bestudering van de gewasgroei zijn een aantal maal tijdens de teelt gewaswaarnemingen verricht. Het effect van geforceerde luchtbeweging is onderzocht met behulp van variantie-analyse met 3 proefeenheden (tabletten) per "lucht"-behandeling. In de analyse met Schefflera is het stekblad tevens als covariabele opgenomen. Voor het vergelijk van de gewasgroei met de "referentie" is de toets van Wilcoxon toegepast, waarbij de 3 tabletten zonder luchtinblaas getoetst zijn tegen tabletten zonder tabletverwarming uit de "referentie"-kas.

3.3 Resultaten

- Klimaatmetingen

Tabel 3.1 toont het gerealiseerde kasklimaat in beide kassen.

Tabel 3.1: Gemiddelde kasluchttemperatuur (°C), pottemperatuur (°C) en RV (%) over de gehele proefperiode van de proefkas en de "referentie"kas.

	Teeltproef 1 (16 weken)		Teeltproef 2 (15 weken)	
	Proefkas	"referentie"-kas	Proefkas	"referentie"-kas
Kasluchttemp.	18.6	16.4	21.6	21.5
RV	66	76	67	65
Pottemp.	20.2[1]	16.3[1]	24.7[2]	22.0[2]

1: Gemiddelde pottemperatuur teeltweek 2 t/m 12
2: Gemiddelde pottemperatuur teeltweek 3 t/m 11

Uit tabel 3.1 komt naar voren dat de kasluchttemperatuur tijdens de eerste teeltproef ca. 2°C lager is geweest in de "referentie"-kas; dit hangt samen met het lager ingestelde setpoint in deze kas (16°C). De RV is in de proefkas ca. 10% lager geweest en dit is waarschijnlijk het gevolg geweest van de lagere plantbezetting. Door de toepassing van tabletverwarming is de gerealiseerde pottemperatuur tijdens beide teeltproeven hoger geweest in de proefkas in vergelijking met de onverwarmde tabletten in de "referentie"-kas.

De verdeling van de inblaaslucht tussen de drie tafels en iedere tafel afzonderlijk is redelijk gelijkmatig bij een flow van 10-20 $m^3/h.m^2$ tafel. Binnen een tafel zijn er verschillen in plaattemperatuur vastgesteld (figuur 3.4). Tussen de plaattemperatuur direkt boven een slang en tussen de slangen is het verschil 7 tot 9°C. (Bij een watertemperatuur van rond de 50°C en een luchttemperatuur van circa 18°C).
Er zijn verschillen in pottemperatuur gekonstateerd (figuur 3.4). Tussen de pot "op de slang" en "tussen de slangen" is het verschil 2 tot 4°C.

Uit de metingen kan niet gekonkludeerd worden dat, onder de gegeven proefomstandigheden, de warmteafgifte aan de lucht en daarmee de planttemperatuur van de desbetreffende tafel toeneemt ten gevolge van de geforceerde luchtbeweging (figuur 3.5). De pottemperatuur is wel lager (1-1.5°C). De tafel-oppervlakte-temperatuur is in het geval van "blazen" 1-1.5°C lager.

Er zijn boven de planten relatief grote luchtstromen geconstateerd. Deze beïnvloeden in hoge mate de proeffaktor wel/niet geforceerd blazen. De voor deze proef ongewenste luchtbeweging is enigszins maar niet voldoende ingeperkt door een foliescherm aan te brengen aan beide zijden van de groep tafels. De resterende luchtstromingen alsmede een relatief ongunstige ligging van de verdeelleidingen van de verwarming resulteerden in verschillen in luchttemperatuur binnen de kas (direkt boven de planten) van 0.5-1.5°C.

- Teeltonderzoek

Uit de proef met Begonia is gebleken dat de geforceerde luchtbeweging géén significante invloed heeft gehad op de groei en ontwikkeling van het gewas. Daarentegen zijn wél significante verschillen geconstateerd ten opzichte van de "referentie"-kas (figuur 3.6).

Figuur 3.6: Vergelijk van het gewas in de proefkas (links) en de "referentie"-kas (rechts).

Er is een significante invloed vastgesteld op het drogestofpercentage en de bladdikte, wat geresulteerd heeft in sterk gedrongen planten in de proefkas. Er is géén significante invloed geconstateerd op de bloei en het eindgewicht van de planten. Gelet op het gerealiseerd klimaat in beide kassen (tabel 3.1, teeltproef 1) is de gemiddelde kaslucht- en pottemperatuur hoger geweest in de proefkas, terwijl de RV 10% lager is geweest. Deze verschillen in gemiddeld kasklimaat lijken echter niet verantwoordelijk te kunnen zijn voor het geconstateerde grote verschil in plantopbouw. Een mogelijke oorzaak zou de sterk wisselende vochtigheidsgraad van de potgrond geweest kunnen zijn als gevolg van een niet optimaal functionerend watergeefsysteem. Een andere oorzaak zouden de frequente temperatuurdalingen geweest kunnen zijn als gevolg van de traagheid van het verwarmingssysteem, zoals bij het openen van het scherm (figuur 3.7). Gedurende de proef is nl. in 40% van de gevallen de kasluchttemperatuur onder de 16°C gedoken na het openen van het energiescherm (16°C is de referentie-temperatuur van de "referentie"kas). Tijdens deze proef zijn geen planttemperaturen gemeten, zodat de invloed hierop onbekend is.

In de hierna uitgevoerde proef met Schefflera is het wegzakken van de kasluchttemperatuur opgevangen door 's morgens het scherm op een later tijdstip open te trekken.

In de proef met Schefflera zijn halverwege en aan het eind van de teelt gewaswaarnemingen verricht. Ook bij Schefflera is géén invloed van geforceerde luchtbeweging op de groei en ontwikkeling vastgesteld. Vermeldenswaardig is wél dat de covariantie-analyse van halverwege de teelt een significant effect van het uitgangsmateriaal op de gewasgroei heeft laten zien. Dit effect is niet vastgesteld in de eindanalyse, wat kan samenhangen met het reeds bereikte verzadigingsniveau van lichtbenutting (LAI van 4.6 aan het eind van de teelt). In vergelijking met de "referentie"-kas is er alléén een significante invloed vastgesteld op de internodieënlengte : deze is geringer in de proefkas (resp. 4.0 en 3.5 cm). Tijdens het waarnemen is óók opgemerkt dat in een bepaald stadium de bladeren dicht op elkaar gevormd werden, wat zou duiden op een groeiverstoring op dat moment. Het steeds gebrekkiger functioneren van het watergeefsysteem (lekke tabletbodem) zou hier de oorzaak van kunnen zijn.

Concluderend kan gezegd worden dat geforceerde luchtbeweging géén invloed heeft gehad op groei en ontwikkeling van Begonia en Schefflera. Wél is tijdens de teelt met Begonia een sterk afwijkende plantopbouw geconstateerd in de proefkas. Ook tijdens de teelt met Schefflera is een groeiverstoring geconstateerd. Een eenduidige verklaring hiervoor is niet te vinden, hoewel de verkregen aanwijzingen duiden op té grote wisselingen in vochtigheidsgraad van de potgrond, veroorzaakt door het gebrekkige functioneren van het watergeef-systeem.

3.4 Discussie

Uit de proeven is gebleken hoe moeilijk het is om luchtbewegingen tussen het gewas te registreren. De zeepbelmethode is tussen het gewas niet toepasbaar door het hechten van de zeepbellen aan de planten, terwijl het inbrengen van rook met beginsnelheid 0 en zonder extra thermiek door warmte ook vrijwel onmogelijk is. Voor zover de metingen dan een betrouwbaar beeld gaven, kon worden vastgesteld dat in kassen boven de planten dusdanig sterke luchtbewegingen plaatsvinden, dat de luchtopstijging vanuit het gewas daardoor onderdrukt wordt, of zelfs verhinderd. In de proeven is de luchtbeweging

vanuit het tablet éénmalig zodanig ingesteld, dat met behulp van rook een zeer geringe luchtopstijging vanuit het gewas zichtbaar kon worden gemaakt. Daarbij kan de vraag worden gesteld of de extra thermiek als gevolg van de hogere temperatuur van de rook ten opzichte van de omringende lucht geen verkeerd beeld heeft opgeleverd. De gebruikte meetmethode leende zich niet voor continue registratie van de luchtbewegingen in de kas. Het lijkt daardoor heel wel mogelijk dat het verschil in luchtbeweging vanuit het gewas tussen de tabletten waar wel geblazen is en waar niet geblazen is erg klein is geweest. Betere methoden om de luchtbeweging vast te stellen zonder beïnvloeding en dan liefst nog permanent zijn dringend noodzakelijk.

Een herhaling van de proef met grotere luchtbeweging lijkt gewenst. Hoewel er geen teeltkundige effecten zijn gevonden leeft nog wel de verwachting dat deze bij verhoogde luchtsnelheden zullen optreden, bijvoorbeeld als gevolg van hogere planttemperaturen in vergelijking met niet blazen. Omdat een proef alleen zinvol lijkt wanneer de luchtbeweging gemeten kan worden, moet een dusdanig hoge luchtsnelheid worden gekozen dat deze met de traditionele meetapparatuur betrouwbaar kan worden vastgesteld. Voor de gloeidraad anemometer ligt de meetgrens bij ongeveer 0.2 m/sec luchtsnelheid.

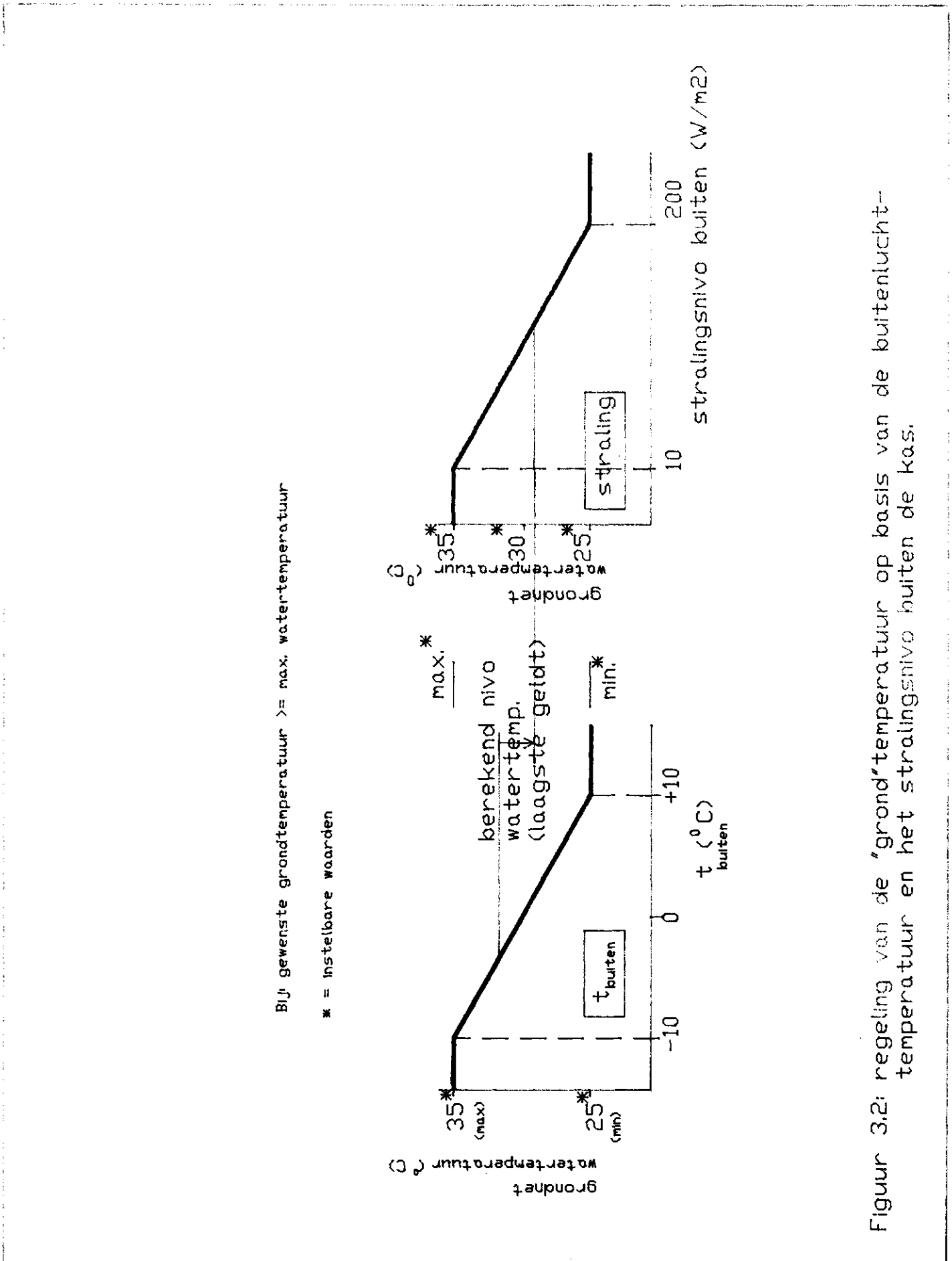
3.5 Samenvatting

Het onderzoek naar de effecten van een kleine luchtbeweging vanuit een verwarmde tabletbodem tussen een potplantengewas is nogal belemmerd door het ontbreken van een goede methode om kleine luchtsnelheden betrouwbaar vast te stellen. Op basis van de uitgevoerde proeven kon geen verschil in plant-ontwikkeling worden vastgesteld tussen wel en niet blazen bij Begonia en Schefflera. Wel kon een geringe planttemperatuurverhoging als gevolg van de geforceerde luchtbeweging worden vastgesteld.

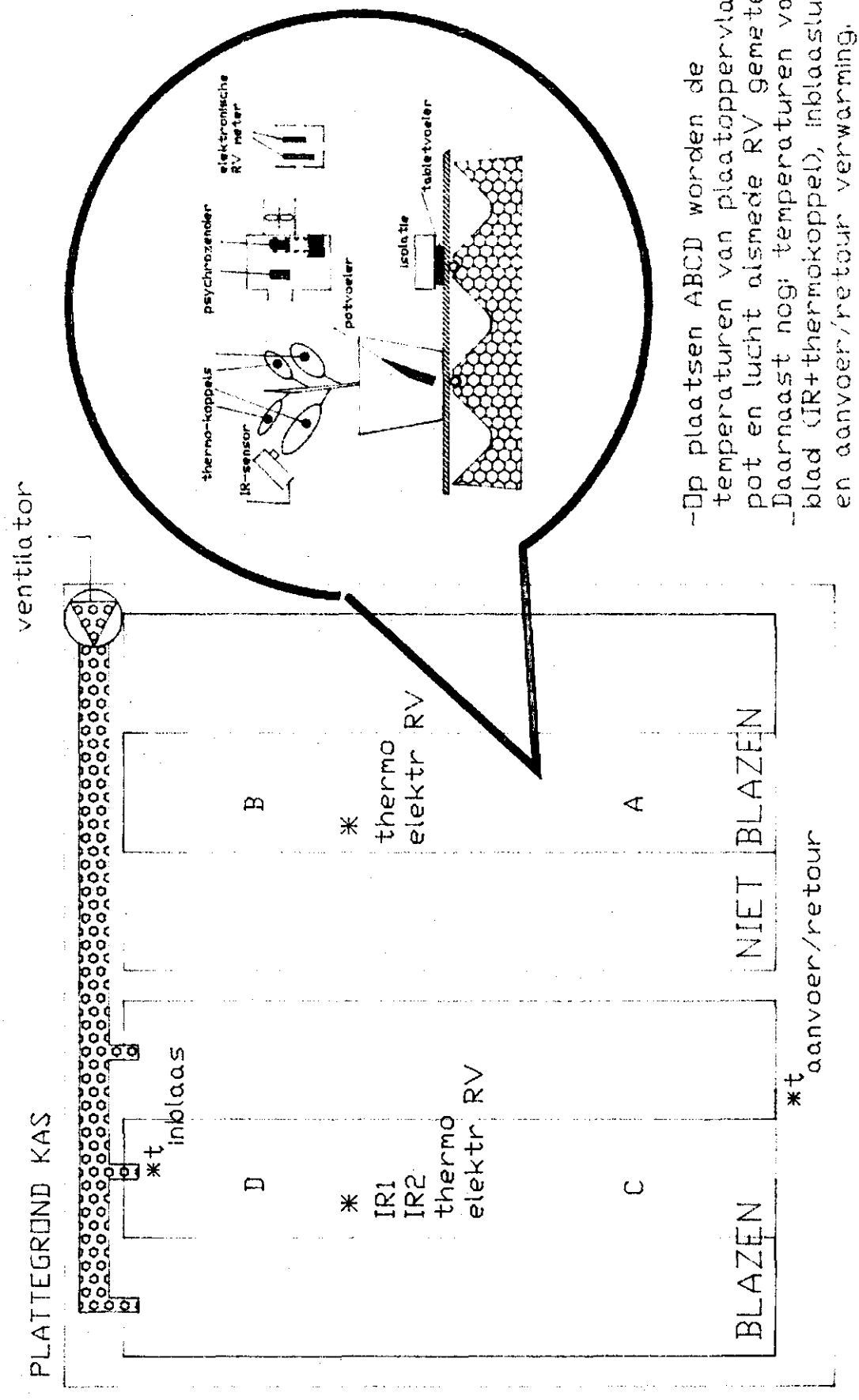
Bij de gebruikte dimensionering van de luchttoevoerkanalen in het tablet bleek een gelijkmatige verdeling van de lucht realiseerbaar bij een flow van 20 m^3/m^2 per uur en een uittreesnelheid van 0.2 m/sec op een tablet van 1.5 bij 10 meter zonder plantenbedekking.

Literatuur

Vogelezang, J., 1986. Effectief en efficiënt verwarmen met tabletverwarming. Intern verslag Proefstation voor de Bloemisterij nr. 34.



Figuur 3.2: regeling van de "grond"temperatuur op basis van de buitenlucht-temperatuur en het stralingsnivo buiten de kas.

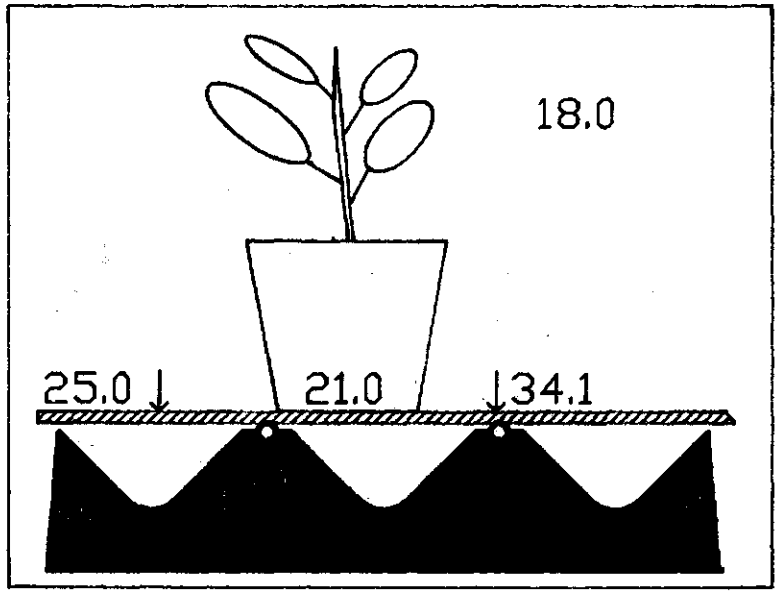


Figuur 3.3: Overzicht meetopstelling proef "luchtverwarmd tablet".

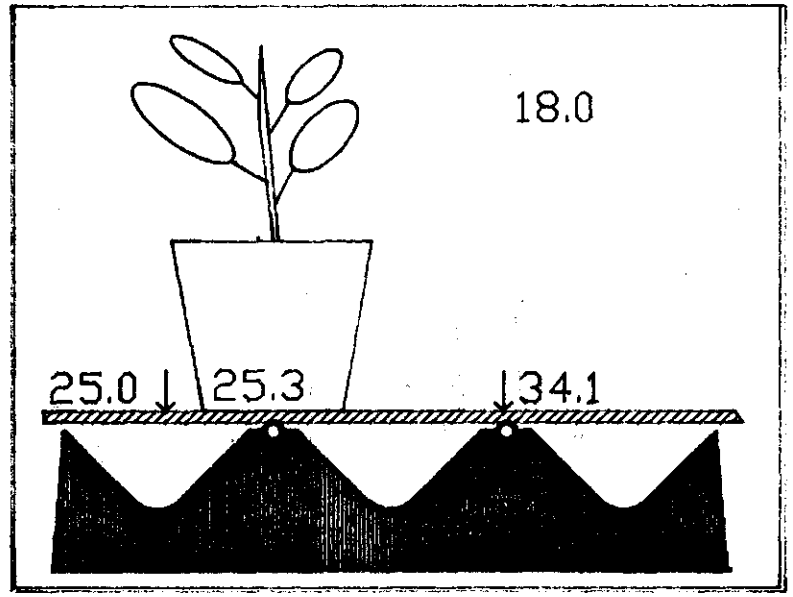
PERIODE = 05.00 - 05.05 uur

$t_{aanvoer}$ = 53.5 °C

t_{retour} = 47.5 °C



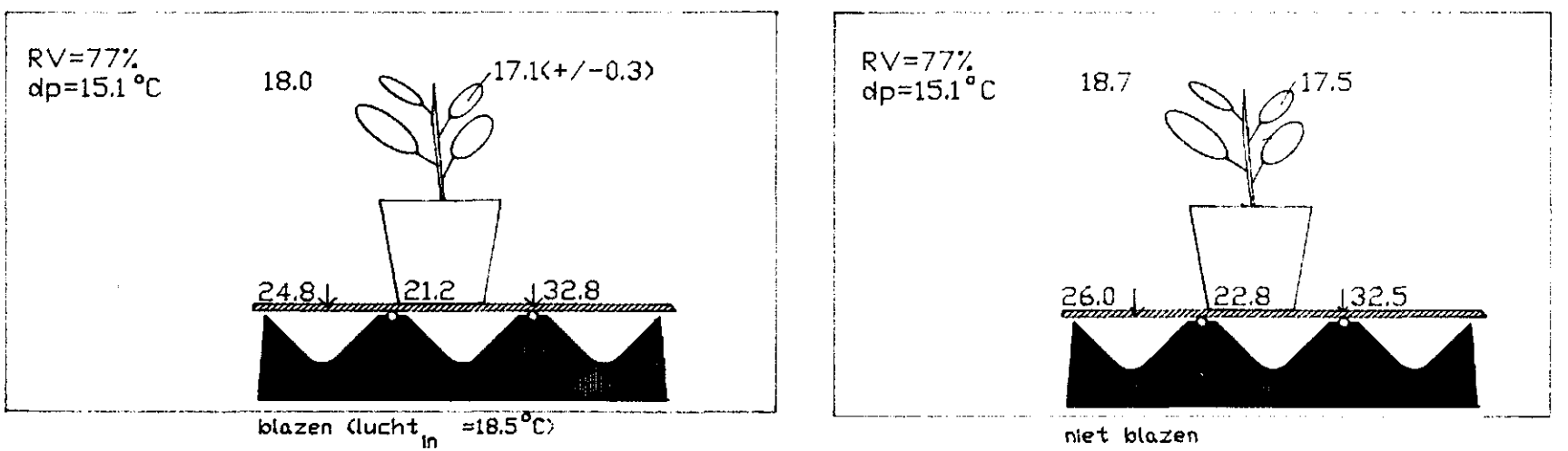
pot tussen de slangen



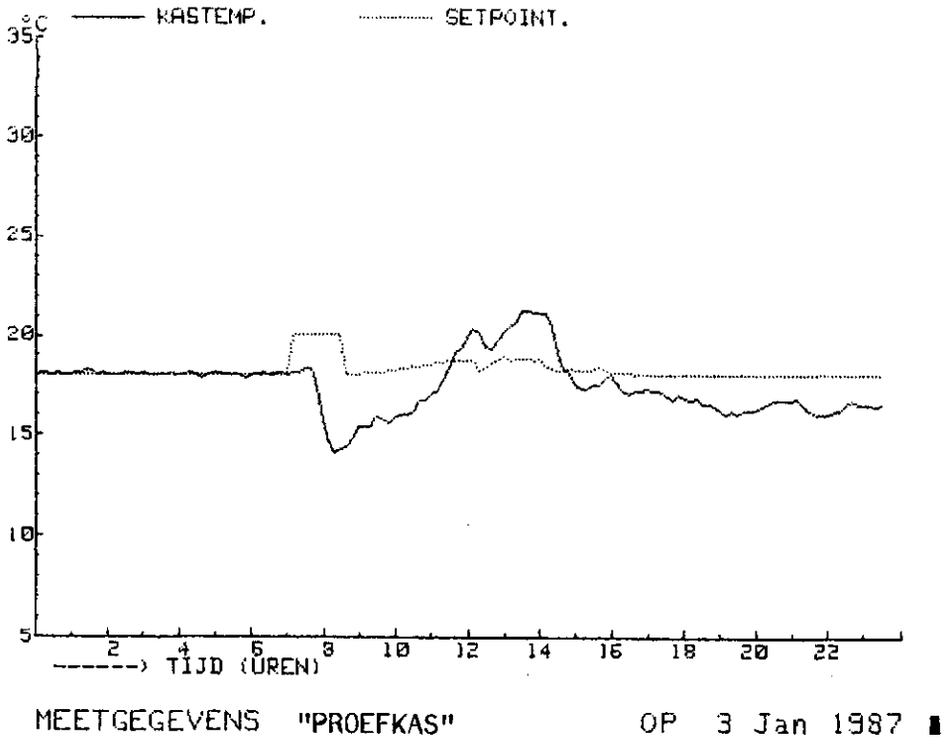
pot op de slang

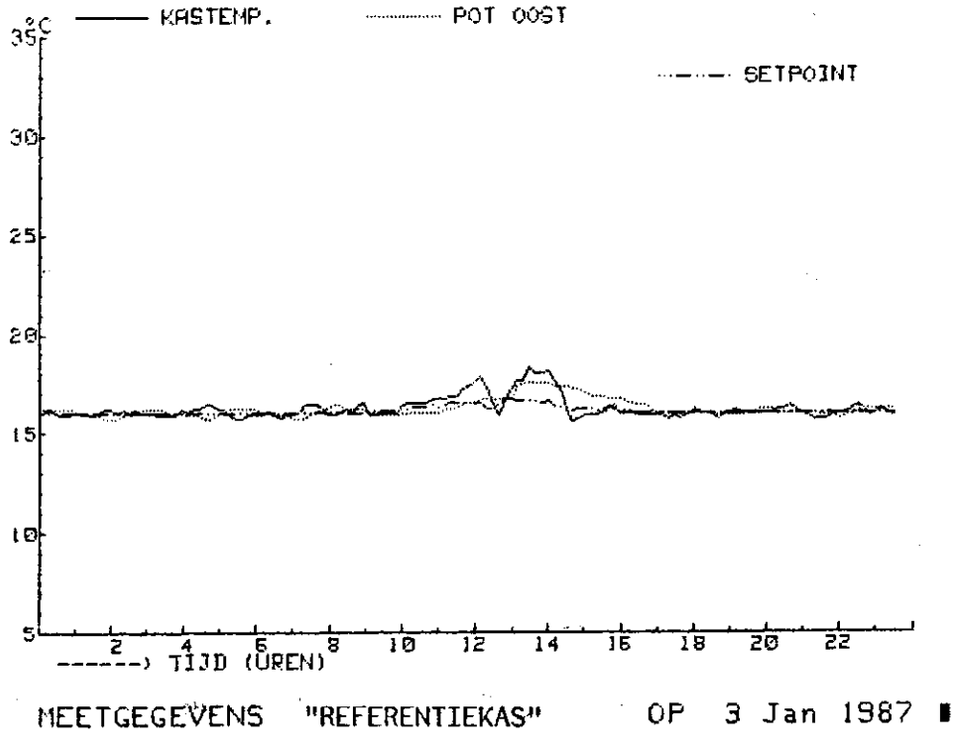
Figuur 3.4: Gerealiseerde pot- en plaattemperaturen op "luchtverwarmd" tablet.

PERIODE= 06.00 - 06.05 uur
De temperaturen aan de blaaszijde zijn lager dan aan de niet blaaszijde.
Dit tgv het blazen met relatief koude lucht of tgv in de kas aanwezige temperatuurverschillen



Figuur 3.5: Gerealiseerde temperaturen op "luchtverwarmd" tablet bij wel en niet blazen ($t_{aanvoer}$ =49°C, t_{retour} =44°C)



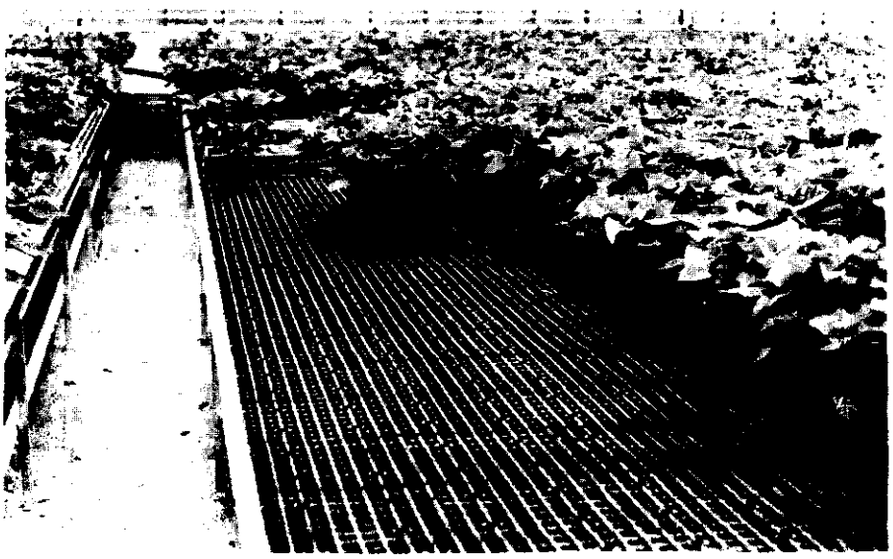


Bijlage 3.5: Ingestelde en gerealiseerde kasluchttemperaturen op een typerende meetdag voor de proefkas en de referentiekas.

4. Praktijkmeting aan tabletbodem met rooster

4.1 Inleiding

Een praktijkbedrijf heeft een nieuw tabletbodem met rooster ontwikkeld (figuur 4.1), dat hoewel gericht op het optimaliseren van de watergift, ook warmtetechnische nieuwigheden bevat (Langius, 1987).

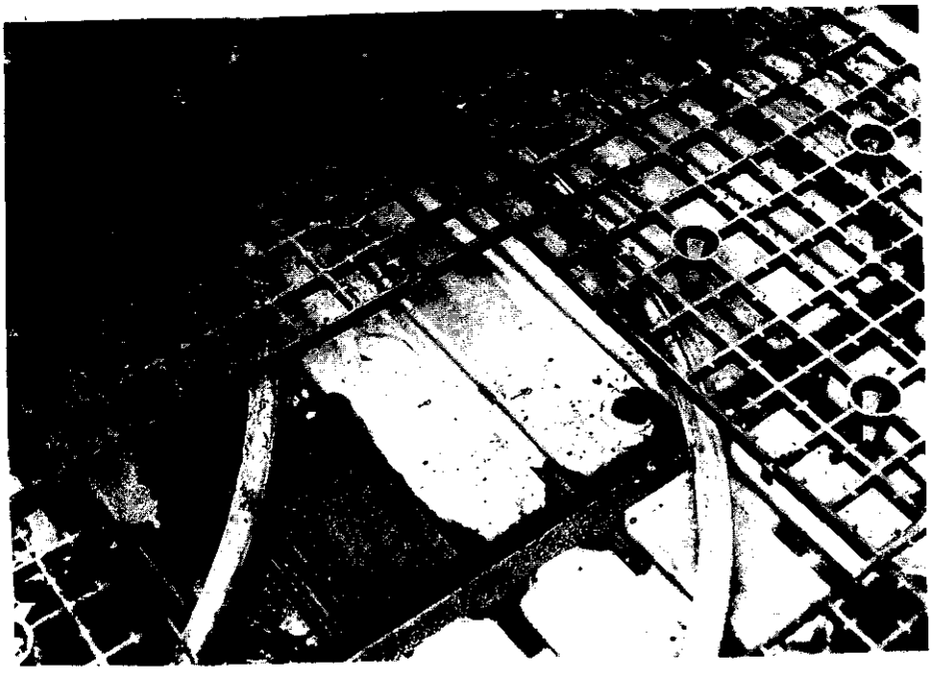


Figuur 4.1 Nieuw ontwikkelde tabletbodem met rooster (bron: Vakblad voor de Bloemisterij).

In dit nieuwe ontwerp zijn op de tabletbodem, in de ruimte tussen bodem en rooster, polytheen verwarmingsslangen gelegd. Daar bij dit tabletverwarmingssysteem eveneens sprake is van een dubbele bodem, met in de tussenliggende ruimte verwarmingsslangen, ontstonden er vragen ten aanzien van de mate van beïnvloeding en de gelijkmatigheid van pot- en luchttemperatuur in vergelijking tot het eigen ontwerp ("luchtverwarmd" tablet, Hoofdstuk 3). Om een indruk te verkrijgen omtrent het effect van dit tabletverwarmingssysteem op de pot- en luchttemperatuur zijn in samenwerking met dit praktijkbedrijf oriënterende klimaatmetingen verricht in januari 1987.

4.2 Methode en werkwijze

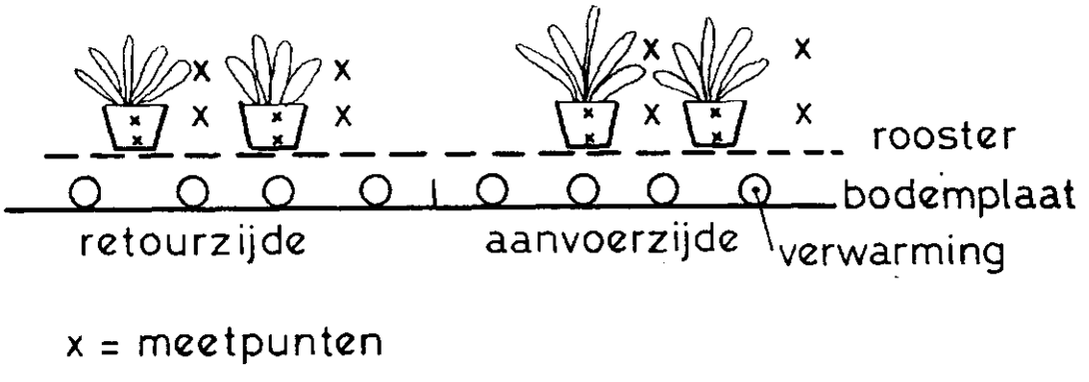
Het potplantenbedrijf De Eskamp in Westerbork bestaat uit vijf afdelingen met een totale produktieoppervlakte van 4.500 m2. In de kasafdelingen zijn verrolbare tabletten geplaatst van 1.80 x 15.50 m. De nieuwe tabletbodem bestaat uit een geprofileerde bodemplaat waarop kunststof roosters zijn geplaatst (figuur 4.2).



Figuur 4.2 Constructie tabletbodem met rooster en verwarmingsslangen (Bron: Vakblad voor de Bloemisterij).

Tussen de bodemplaat en het rooster zijn bij een tafelbreedte van 1.80 m twaalf verwarmingsslangen neergelegd. Behalve het tabletverwarmingssysteem is tevens een onder- en bovennet aanwezig voor de verwarming. De kassen zijn uitgerust met een energiescherm.

In één kasafdeling is op twee naast elkaar gelegen tabletten een meetopstelling aangebracht met thermokoppels. Op het ene tablet zijn in een Kalanchoë-gewas zowel pot- als luchttemperaturen gemeten (plantafstand 42/m2, potmaat Ø 10 cm). De pottemperatuur onderin is gemeten op 1 cm vanaf de potbodem en de pottemperatuur bovenin is gemeten op 1 cm vanaf de bovenkant van de potgrond. De (ongeventileerde) luchttemperatuur is op halve pothoogte en op halve planthoogte gemeten (figuur 4.3).



Figuur 4.3 Schema meetopstelling.

Op het daarnaast gelegen tablet zijn alleen luchttempertaturen gemeten in een Hortensia-gewas met een veel ruimere plantafstand (16/m2, potmaat Ø 14 cm). De Hortensia-planten droegen op het moment van meten nog nauwelijks blad, terwijl er bij Kalanchoë al sprake was van een dicht gewas. De thermokoppels zijn aangesloten op een KAYE-datalogger, die uur-, zesuur- en etmaalgemiddelden heeft geregistreerd.

Gedurende 1 week zijn door de bedrijfsleider verschillende watertemperaturen ingesteld van het tabletverwarmingssysteem. Tijdens deze meetperiode zijn door de klimaatcomputer tevens buistemperaturen, kasklimaat- en buitenklimaatgegevens verzameld. De klimaatbox is ongeveer 25 cm boven het gewas opgehangen.

4.3 Resultaten

In tabel 4.1 worden de gerealiseerde kasklimaat- en buitenklimaatgegevens weergegeven zoals die verzameld zijn door de klimaatcomputer. Tevens is in deze tabel de aanvoer- en retourtemperatuur van het tabletverwarmingssysteem weergegeven. Bij de interpretatie van de klimaatgegevens is alleen naar de nachtperiode gekeken (22.00 - 4.00), daar in deze periode de verstorende invloeden het geringste zijn.

Tabel 4.1 Klimaatgegevens tijdens de meetdagen (gemiddelden van 22.00-4.00). T_a en T_r =aanvoer- resp. retourtemperatuur van de tabletverwarming.

Meetdag	Datum	T_a	T_r	doek	Bovennet Min-Max	Kaslucht Min -Max	RV Min-Max	T-buiten Min - Max		wind Min-Max (m/s)
"CONTR."	4/1-5/1	23.6	20.2	+	40-53	18.6-19.4	64-73%	2.6	5.0	0.5-7.1
"40°C-1"	2/1-3/1	37.9	30.6	+	38-58	18.7-19.5	56-63%	-5.9	-3.4	0.1
"40°C-2"	6/1-7/1	39.8	31.5	+	29-45	18.8-19.5	60-66%	-2.2	-1.2	0.1-2.1
"50°C"	8/1-9/1	48.5	36.2	+	42-50	18.9-19.2	56-63%	-9.5	-6.3	0.2-2.5
-	7/1-8/1	48.3	35.8	+	-*	20.0-21.0	60-66%	2.2	2.5	0.2-1.5

*= Bovennet hoefde niet bij te komen.

De "CONTROLE" -situatie wordt weergegeven in figuur 4.4. Dit is de situatie waarbij het tabletverwarmingssysteem uit staat. Zoals uit de figuren blijkt, zijn slechts geringe verschillen aanwezig tussen de pot- en lucht-temperaturen. Gelet op de kasluchttemperatuur (tabel 4.1) is de lucht-temperatuur op gewasniveau 2 à 3 °C lager.

In de figuren 4.5, 4.6 en 4.7 worden de situaties weergegeven waarbij de watertemperatuur van het tabletverwarmingssysteem resp. 40°, 40° en 50°C is. De 2e meetdag met 50°C (7/1-8/1) is niet in beschouwing genomen vanwege het feit dat die nacht de kasluchttemperatuur omhoog is gelopen als gevolg van de véél zachtere buitencondities. De beide "50°C"-nachten zijn daardoor slecht vergelijkbaar.

Allereerst moet opgemerkt worden dat het verschil in aanvoer- en retourtemperatuur van het verwarmingswater groot is (tabel 4.1). Bij een aanvoertemperatuur van 40°C, een temperatuur die normaler wijze op dit bedrijf

gebruikt wordt, is de retourtemperatuur al 8°C lager; dit verschil loopt verder op als hogere watertemperaturen toegepast worden. Deze delta T alleen al zal oorzaak zijn van horizontale temperatuurverschillen op gewasniveau op de tabletten.

Invloed op de pottemperatuur

In tabel 4.2 worden de pottemperaturen weergegeven tijdens de verschillende meetsituaties.

Tabel 4.2 Gemiddelde pottemperatuur (°C) gedurende de nacht (22.00-4.00) tijdens verschillende meetsituaties.
* = gemiddelde van 2 meetdagen.

	Controle	40°C*	50°C
onderin pot - aanvoerzijde - boven een slang (a)	16.8	21.4	24.1
onderin pot - retourzijde - boven een slang (b)	16.6	20.3	22.2
bovenin pot - aanvoerzijde - boven een slang (c)	17.1	19.5	22.1

Uit deze tabel komt naar voren dat de pottemperatuur duidelijk toeneemt bij hogere watertemperaturen (a). Het verschil in pottemperatuur tussen aanvoer- en retourzijde neemt eveneens toe bij hogere watertemperaturen (a - b), net zoals het gradiënt in de pot (a - c).

Een duidelijk verband tussen de pottemperatuur boven een slang en de pottemperatuur tussen 2 slangen is niet te vinden. Het temperatuurverloop van de pottemperatuur tussen 2 slangen laat een aantal merkwaardige "dalen" zien (nr. 1,3 en 5 in figuren 4.5, 4.6 en 4.7). Ook is het ongewoon dat de pottemperatuur tussen 2 slangen niet altijd lager is dan de pottemperatuur boven een slang. De vochtigheid van de potgrond zou bij dit laatste een rol kunnen spelen.

Invloed op de luchttmperatuur tussen het gewas

In tabel 4.3 worden de luchttemperaturen weergegeven tijdens de verschillende meetsituaties voor beide gewassen.

Tabel 4.3 Gemiddelde luchttemperatuur onderin en bovenin (°C) gedurende de nacht (22.00-4.00) tijdens verschillende meetsituaties bij 2 gewasssen.
* = gemiddelde van 2 meetdagen

	KALANCHOE			HORTENSIA		
	Controle	40°C*	50°C	Controle	40°C*	50°C
lucht onder - boven een slang (a)	16.7	22.2	22.1	16.0	19.7	20.6
lucht boven - boven een slang (b)	16.4	19.7	19.9	15.7	19.0	20.3
lucht onder -tussen 2 slangen (c)	16.7	19.4	20.6	16.0	19.1	19.6
lucht boven -tussen 2 slangen (d)	16.4	17.8	18.9	15.8	18.4	19.5

Uit deze tabel komt naar voren dat bij toepassing van hogere watertemperaturen de luchttemperatuur op gewasniveau toeneemt (a). Bij Kalanchoë is de beïnvloeding sterker dan bij Hortensia, hetgeen samenhangt met de dichtheid van

het gewas. In het vrij dichte gewas Kalanchoë is sprake van een verticale gradiënt, terwijl bij Hortensia dit aspect nauwelijks speelt (a - c). Bij Kalanchoë zou je kunnen spreken van een warmtelaag onderin het gewas, terwijl in het open gewas Hortensia vrije uitwisseling plaatsvindt met de omringende lucht.

In beide gewassituaties ontstaat een gradiënt in de dwarsrichting over het tablet heen (a - c/ b - d). Bij Kalanchoë bedraagt het verschil in luchttemperatuur 2 à 3 °C; dit verschil wordt gerealiseerd over een vrij kleine afstand (figuur 4.3). Bij Hortensia zijn de verschillen geringer. Worden de beide meetdagen "40°C" met elkaar vergeleken, dan is bij Hortensia het verschil in temperatuurverloop tussen beide meetdagen opmerkelijk (figuur 4.5 en 4.6). Tijdens beide meetdagen werden praktisch dezelfde kasluchttemperaturen gerealiseerd, alleen werd tijdens nacht "40°C-1" iets harder gestookt met het bovennet als gevolg van de koudere buitensituatie (tabel 4.1). Het lijkt er op dat het klimaat boven de tafels op bepaalde momenten instabiel is. Op basis van de verzamelde gegevens zijn geen eenduidige conclusies hierover te trekken.

4.4 Discussie

Uit de klimaatmetingen komt naar voren dat vrij grote temperatuurverschillen worden gerealiseerd over kleine afstanden op het tablet. Luchtbewegingspatronen zouden mogelijk een rol kunnen spelen bij het ontstaan van deze temperatuurverschillen. Tijdens dit onderzoek is tevens getracht om een eventuele luchtbeweging vanuit het tablet zichtbaar te maken met rook en Helium/lucht-gevulde-zeepbellen. Er zijn echter verstorende invloeden in de kas waargenomen. Zo is naar voren gekomen dat een blazende ventilator enorme luchtverplaatsingen teweeg brengt. Ook zonder ventilator zijn sterke luchtstromingen in de kas geconstateerd. Eventuele geringe luchtbewegingen vanuit het tablet zijn hierdoor moeilijk aan tonen en zullen naar alle waarschijnlijkheid overheerst worden door andere luchtstromen in de kas.

De materiaalkeuze van de verwarmingsslangen (polytheen) legt op dit moment beperkingen op aan de temperatuur van het verwarmingswater. Bij hogere temperaturen dan 50°C ontstaan nl. scheurtjes in de verwarmingsslangen. Zouden hogere pottemperaturen dan de hier gerealiseerde gewenst zijn, dan zou voor een ander materiaal van de verwarmingsslangen gekozen moeten worden, nl. polypropeen.

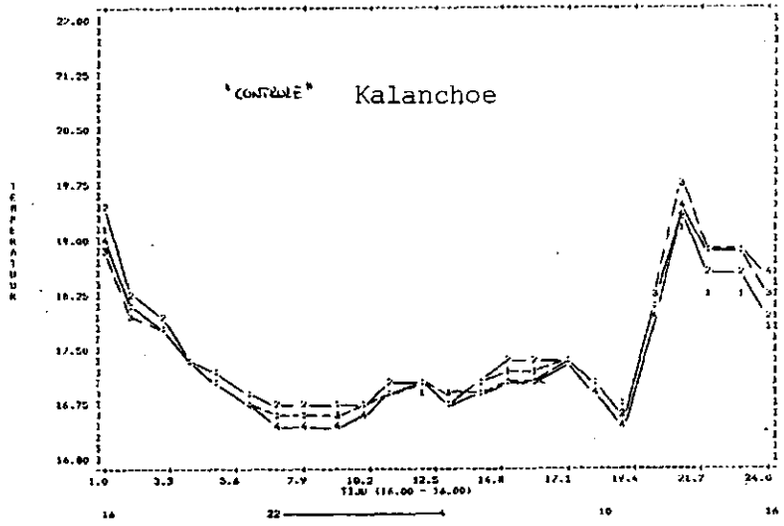
4.5 Samenvatting

Op basis van de verzamelde gegevens zijn géén betrouwbare uitspraken mogelijk over de absolute pot- en luchttemperatuurniveau's die behaald kunnen worden bij de verschillende instellingen van dit tabletverwarmingssysteem. Het onderzoek heeft een oriënterend karakter gehad. Wel zijn indicaties verkregen over stabiliteit en gelijkmatigheid van dit tabletsysteem.

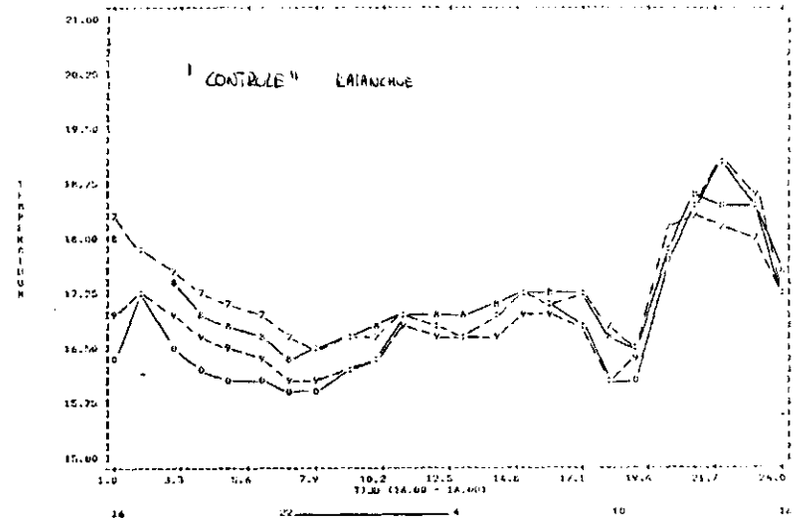
In vergelijking met de "controle" kan geconcludeerd worden dat het systeem een duidelijke invloed heeft op temperaturen op gewasniveau. De gevonden verbanden liggen in de lijn der verwachting. Het lijkt er echter op dat de situatie op het tablet erg instabiel is en onderhevig is aan méér invloeden dan alleen de tabletverwarming. Hoewel er veel verwarmingsslangen per m2 tabletoppervlak aanwezig zijn, zijn toch over kleine tabletafstanden vrij grote temperatuurverschillen geconstateerd. Bovenop deze verschillen zullen nog eens de verschillen in temperatuur komen die het gevolg zijn van de (te) grote afkoeling van het verwarmingswater.

Literatuur

Langius,G.,1987. Tabletbodem met rooster een verbetering in potplantenteelt. Vakblad voor de Bloemisterij 7,58-61.

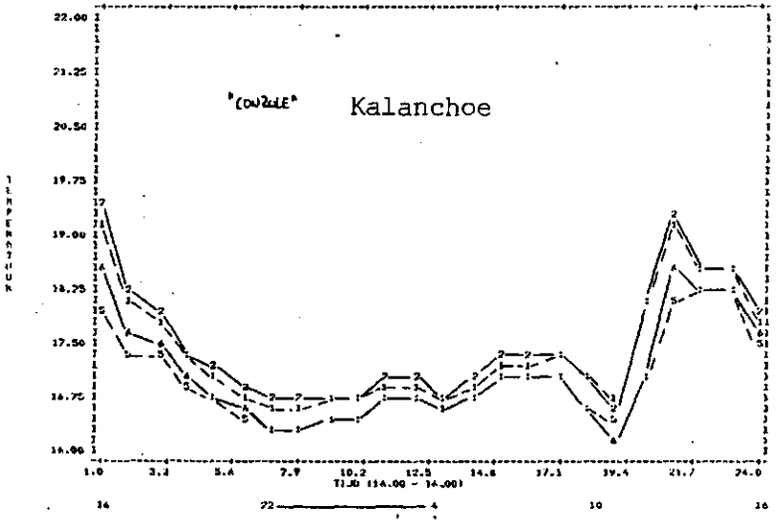


1 = onderin pot - aanvoerkant - tussen 2 slangen 16.7 °C
2 = onderin pot - aanvoerkant - op de slang 16.8 °C
3 = onderin pot - retourkant - tussen 2 slangen 16.7 °C
4 = onderin pot - retourkant - op de slang 16.6 °C

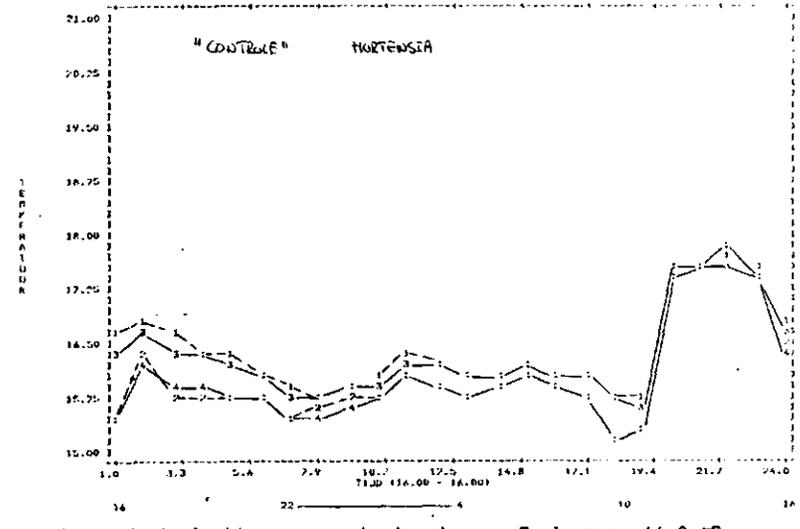


8 = onderin lucht - aanvoerkant - tussen 2 slangen 16.7 °C
7 = onderin lucht - aanvoerkant - op de slang 16.7 °C
0 = bovenin lucht - aanvoerkant - tussen 2 slangen 16.4 °C
9 = bovenin lucht - aanvoerkant - op de slang 16.4 °C

(andere schaal)



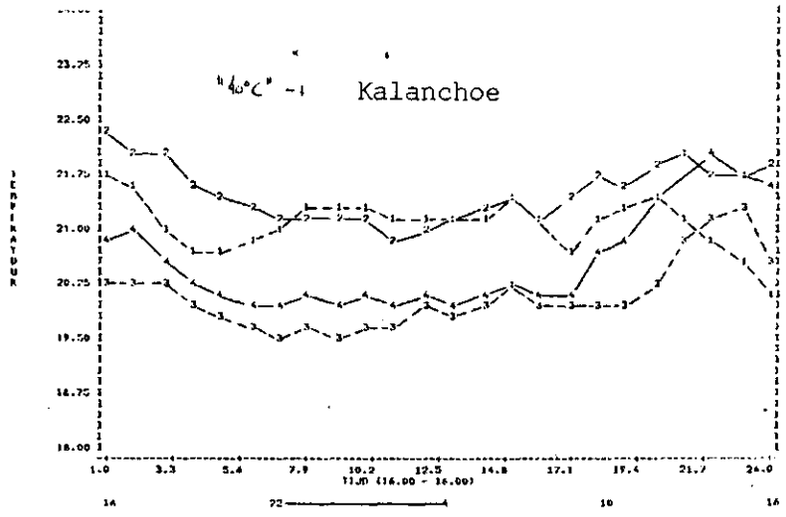
1 = onderin pot - aanvoerkant - tussen 2 slangen 16.7 °C
2 = onderin pot - aanvoerkant - op de slang 16.8 °C
5 = bovenin pot - aanvoerkant - tussen 2 slangen 17.0 °C
6 = bovenin pot - aanvoerkant - op de slang 17.1 °C



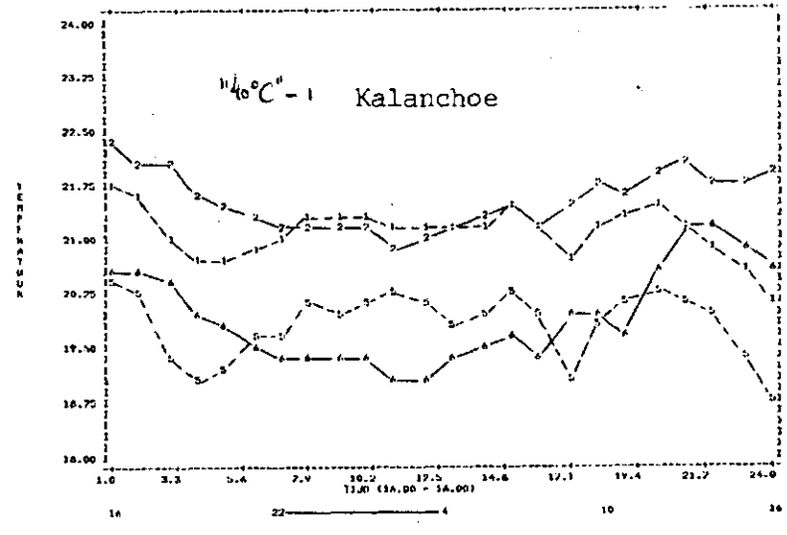
1 = onderin lucht - aanvoerkant - tussen 2 slangen 16.0 °C
3 = onderin lucht - aanvoerkant - op de slang 16.0 °C
2 = bovenin lucht - aanvoerkant - tussen 2 slangen 15.8 °C
4 = bovenin lucht - aanvoerkant - op de slang 15.7 °C

(andere schaal)

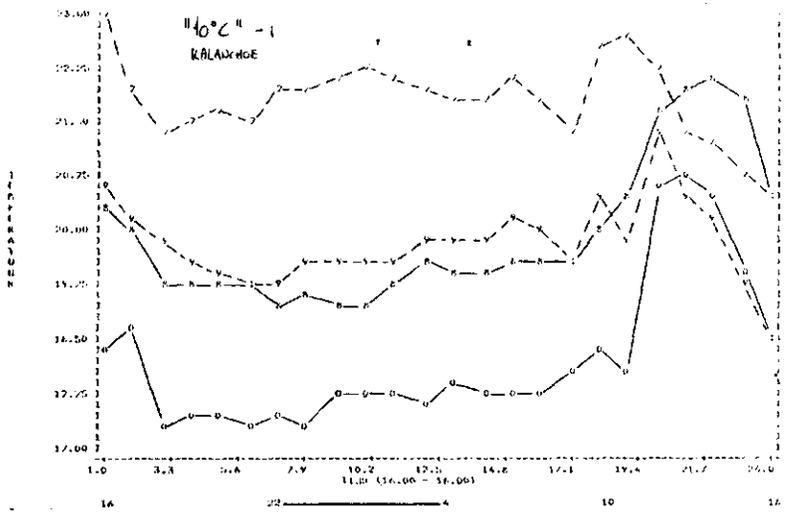
Figuur 4.4: Gerealiseerde pot- en luchttemperaturen gedurende de nacht zonder gebruik van tabletverwarming bij Kalanchoe en Hortensia.



1 = onderin pot - aanvoerkant - tussen 2 slangen	21.2 °C
2 = onderin pot - aanvoerkant - op de slang	21.1 °C
3 = onderin pot - retourkant - tussen 2 slangen	19.6 °C
4 = onderin pot - retourkant - op de slang	20.0 °C

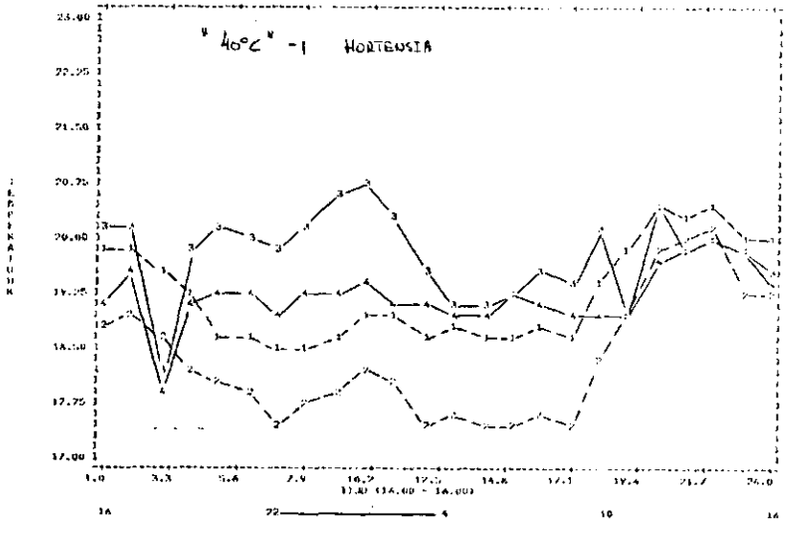


1 = onderin pot - aanvoerkant - tussen 2 slangen	21.2 °C
2 = onderin pot - aanvoerkant - op de slang	21.1 °C
5 = bovenin pot - aanvoerkant - tussen 2 slangen	20.0 °C
6 = bovenin pot - aanvoerkant - op de slang	19.2 °C



8 = onderin lucht - aanvoerkant - tussen 2 slangen	19.1 °C
7 = onderin lucht - aanvoerkant - op de slang	22.0 °C
0 = bovenin lucht - aanvoerkant - tussen 2 slangen	17.6 °C
9 = bovenin lucht - aanvoerkant - op de slang	19.5 °C

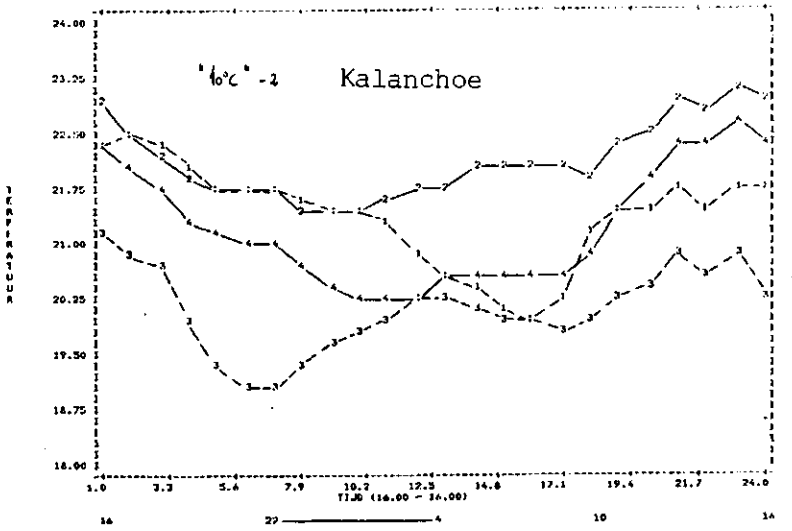
(andere schaal)



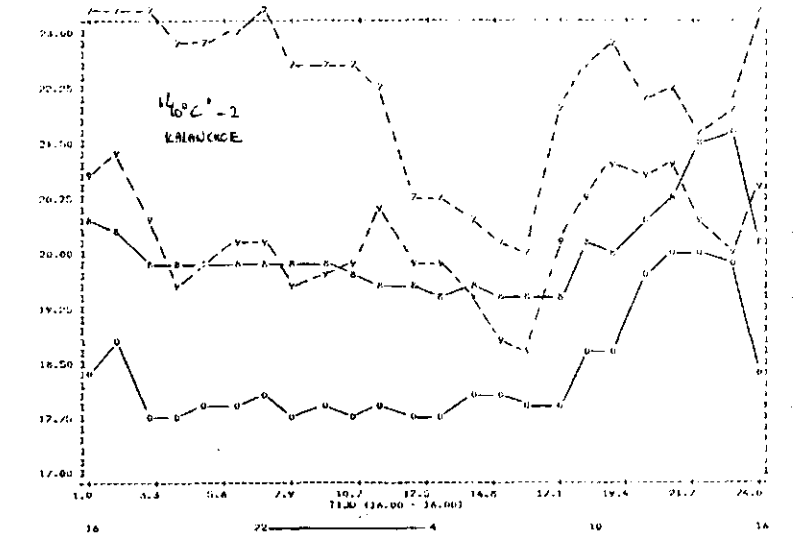
1 = onderin lucht - aanvoerkant - tussen 2 slangen	18.7 °C
3 = onderin lucht - aanvoerkant - op de slang	20.2 °C
2 = bovenin lucht - aanvoerkant - tussen 2 slangen	17.8 °C
4 = bovenin lucht - aanvoerkant - op de slang	19.2 °C

(andere schaal)

Figuur 4.5: Gerealiseerde pot- en luchttemperaturen gedurende de nacht bij gebruik van tabletverwarming met een watertemperatuur van ca. 40 °C bij Kalanchoe en Hortensia (1e meetdag).

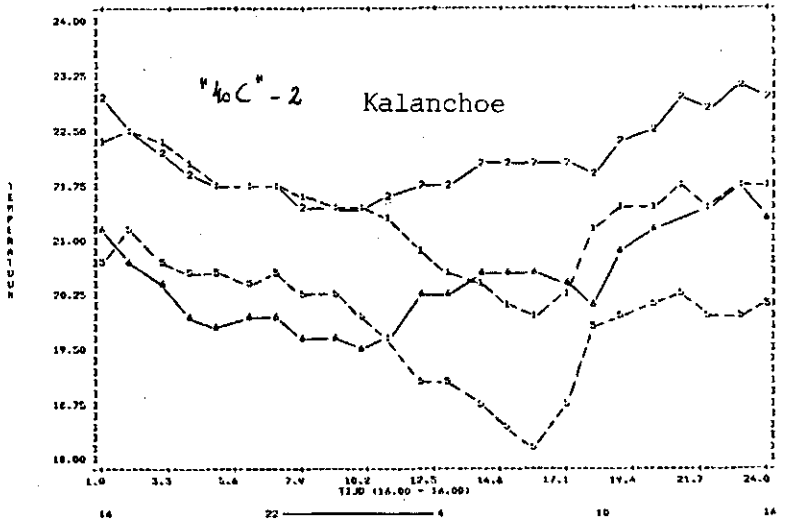


1 = onderin pot - aanvoerkant - tussen 2 slangen 21.4 °C
2 = onderin pot - aanvoerkant - op de slang 21.6 °C
3 = onderin pot - retourkant - tussen 2 slangen 19.7 °C
4 = onderin pot - retourkant - op de slang 20.5 °C

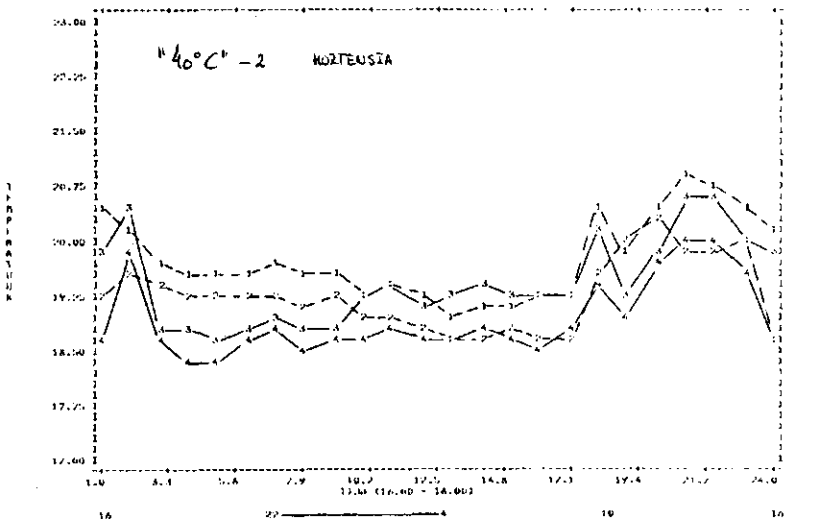


8 = onderin lucht - aanvoerkant - tussen 2 slangen 19.7 °C
7 = onderin lucht - aanvoerkant - op de slang 22.3 °C
0 = bovenin lucht - aanvoerkant - tussen 2 slangen 17.9 °C
9 = bovenin lucht - aanvoerkant - op de slang 19.9 °C

(andere schaal)



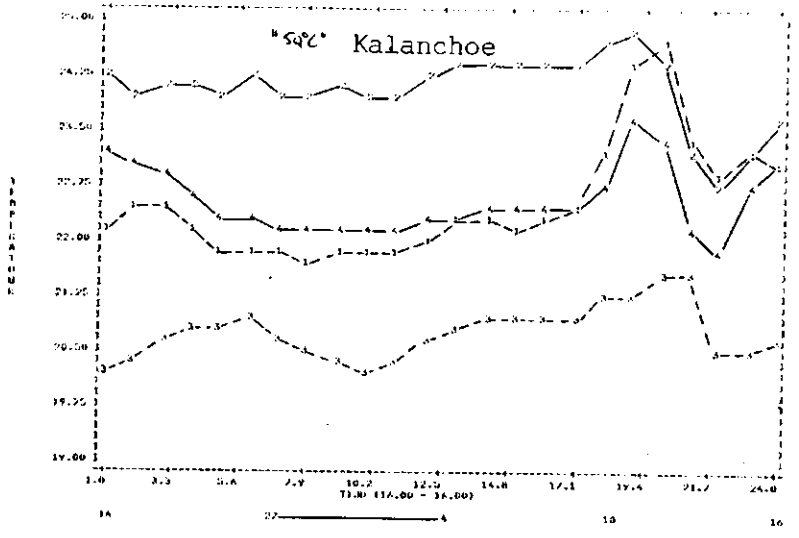
1 = onderin pot - aanvoerkant - tussen 2 slangen 21.4 °C
2 = onderin pot - aanvoerkant - op de slang 21.6 °C
5 = bovenin pot - aanvoerkant - tussen 2 slangen 20.0 °C
6 = bovenin pot - aanvoerkant - op de slang 19.8 °C



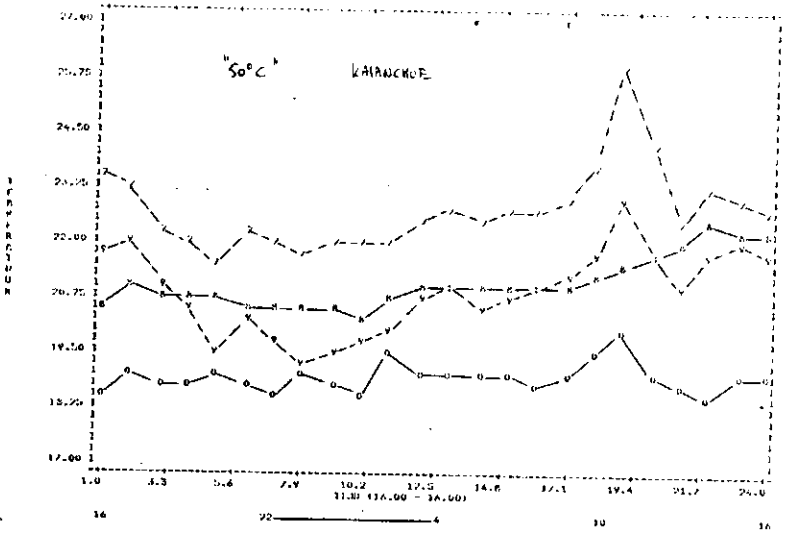
1 = onderin lucht - aanvoerkant - tussen 2 slangen 19.5 °C
3 = onderin lucht - aanvoerkant - op de slang 19.1 °C
2 = bovenin lucht - aanvoerkant - tussen 2 slangen 19.0 °C
4 = bovenin lucht - aanvoerkant - op de slang 18.7 °C

(andere schaal)

Figuur 4.6: Gerealiseerde pot- en luchttemperaturen gedurende de nacht bij gebruik van tabletverwarming met een watertemperatuur van 40 °C bij Kalanchoe en Hortensia (2e meetdag).

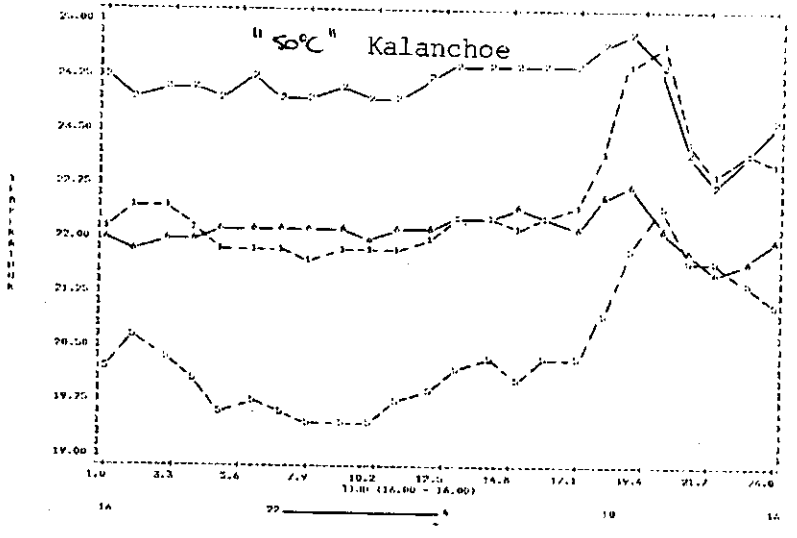


1 = onderin pot - aanvoerkant - tussen 2 slangen 21.8 °C
2 = onderin pot - aanvoerkant - op de slang 24.1 °C
3 = onderin pot - retourkant - tussen 2 slangen 20.4 °C
4 = onderin pot - retourkant - op de slang 22.2 °C

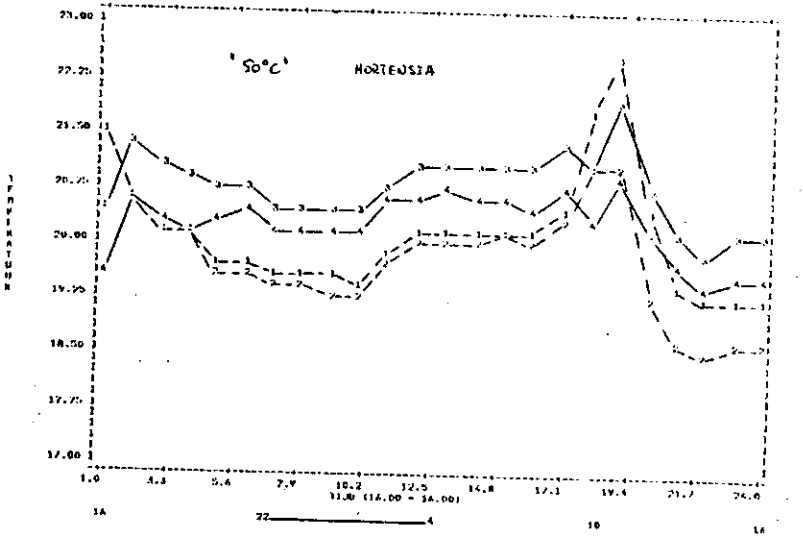


8 = onderin lucht - aanvoerkant - tussen 2 slangen 20.6 °C
7 = onderin lucht - aanvoerkant - op de slang 22.1 °C
0 = bovenin lucht - aanvoerkant - tussen 2 slangen 18.9 °C
9 = bovenin lucht - aanvoerkant - op de slang 19.9 °C

(andere schaal)



1 = onderin pot - aanvoerkant - tussen 2 slangen 21.8 °C
2 = onderin pot - aanvoerkant - op de slang 24.1 °C
5 = bovenin pot - aanvoerkant - tussen 2 slangen 19.6 °C
6 = bovenin pot - aanvoerkant - op de slang 22.1 °C



1 = onderin lucht - aanvoerkant - tussen 2 slangen 19.6 °C
3 = onderin lucht - aanvoerkant - op de slang 20.6 °C
2 = bovenin lucht - aanvoerkant - tussen 2 slangen 19.5 °C
4 = bovenin lucht - aanvoerkant - op de slang 20.3 °C

(andere schaal)

Figuur 4.7: Gerealiseerde pot- en luchttemperaturen gedurende de nacht bij gebruik van tabletverwarming met een watertemperatuur van 50 °C bij Kalanchoe en Hortensia.

5. Opneembare betonvloer met vloerverwarming

5.1 Inleiding

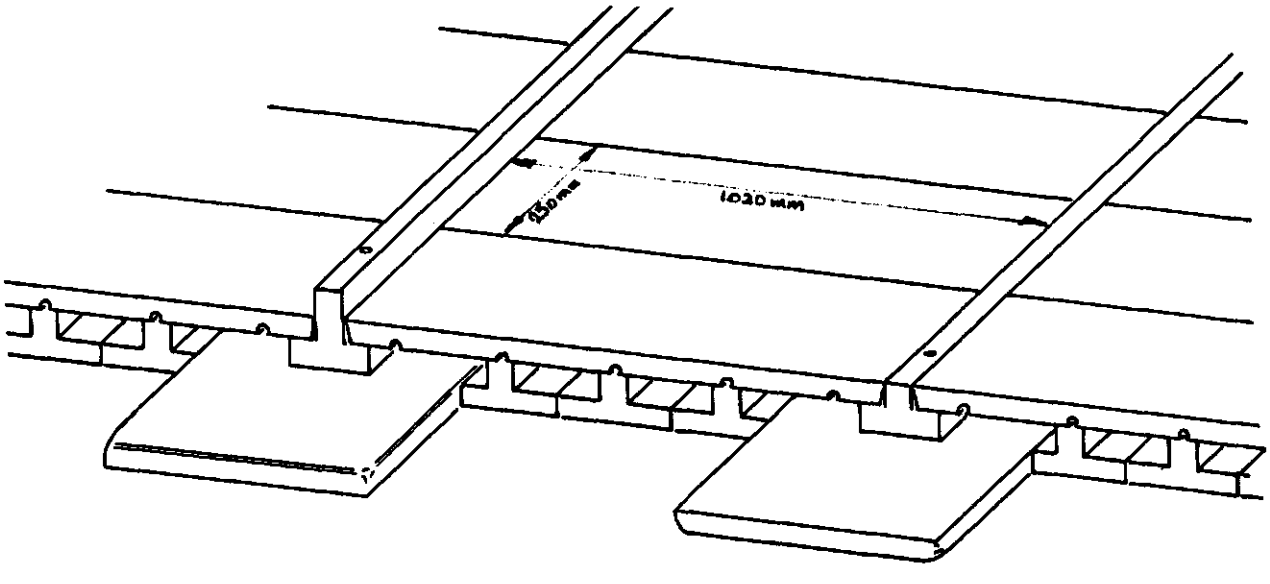
Een ter plaatse gestorte verwarmde betonvloer met eb-vloed systeem wordt op veel bedrijven toegepast, naar schatting op 200 ha. Het permanente karakter van deze constructie is een bezwaar bij optredende verzakkingen of bij gewenste verwijdering. Daarom wordt er gezocht naar de mogelijkheden van een opneembare vloerconstructie, waarin eveneens verwarming en eb-vloed zijn opgenomen. Een belangrijke vraag daarbij is wat de beste plaats is van de verwarmingsslangen in de vloerconstructie (in, tegen of los van de betonplaten). Theoretisch is opname in het beton het beste voor een goede warmteoverdracht van slang naar beton, in tegenstelling tot een geringe warmteoverdracht van slang naar lucht, maar helaas is dit tevens de minst praktische methode van aanleggen en daarmee de duurste.

Om warmteafgifte, traagheid en kosten tegen elkaar te kunnen afwegen is in samenwerking met de firma Schellevis Beton BV te Dussen een proef uitgevoerd, waarbij de effekten van de drie verschillende liggingen van de slangen bij verschillende watertemperaturen zijn getest.

5.2 Methode en werkwijze

- Outillage en ontwerp

De ontwerpen voor een opneembare betonvloer zijn in een ver gevorderd stadium (figuur 5.1). Voor de proef is gebruik gemaakt van betonelementen volgens dit ontwerp.



Figuur 5.1 Principe opneembare betonvloer volgens ontwerp Schellevis Beton BV.

Op een 10 cm dikke laag polystyreenschuim zijn 5 cm dikke balken neergelegd. Daarop zijn 10 betonplaatjes van 0.25 bij 0.8 m en 5.5 cm dikte neergelegd, zodanig dat een veld ontstond van 1.0 bij 1.6 m (figuur 5.2).
De verwarmingsslangen van polytheen Ø 20x15.6 mm zijn achtereenvolgend op drie verschillende manieren aangebracht met een hartafstand van 0.2 m:

1. Bij de eerste test zijn de slangen in sleuven in de platen gelegd, waarna de sleuven met specie zijn gevuld.
2. Bij de tweede test zijn de slangen in aan de onderzijde van platen meegestorte half doorgezaagde PVC buisjes gedrukt.
3. Bij de derde test zijn PVC-klemmetjes in deze doorgezaagde PVC-buisjes gedrukt, waarin vervolgens de slangen werden bevestigd. Daardoor was er overal minimaal 2 cm ruimte tussen slang en plaat.

De zijkanten van het veld alsmede de slangen die aan de kopeinden buiten de platen staken zijn vervolgens met 5 cm polystyreenschuim geisoleerd.
Met behulp van een elektrisch verwarmingselement in een klein vat is warm water geproduceerd van respectievelijk 35, 45 en 60°C, dat met een pompje door de slangen werd getransporteerd.

- Meetopstelling voor klimaatonderzoek

De testen zijn uitgevoerd door in koude toestand water van de respectievelijke temperaturen van 35, 45 en 60°C door de slangen te laten stromen. Nadat de vloertemperatuur zijn maximum had bereikt, is de circulatie gestopt en gewacht tot de vloer weer zijn laagste temperatuur had bereikt. Deze testen zijn grotendeels uitgevoerd met een kale vloer. Alleen bij 60°C watertemperatuur is ook een test uitgevoerd met planten die geheel tegen elkaar aan stonden en waarvan de potten ongeveer 25% van de vloeroppervlakte bedekten (14 cm-pot, plantafstand 20 cm, planthoogte 35cm). Alle testen zijn uitgevoerd in een geïsoleerde ruimte waarvan de lucht op 20°C en de RV op 60% werd gehouden. Gedurende de test zijn met behulp van thermokoppels een aantal temperaturen gemeten en met een datalogger verzameld (figuur 5.2).

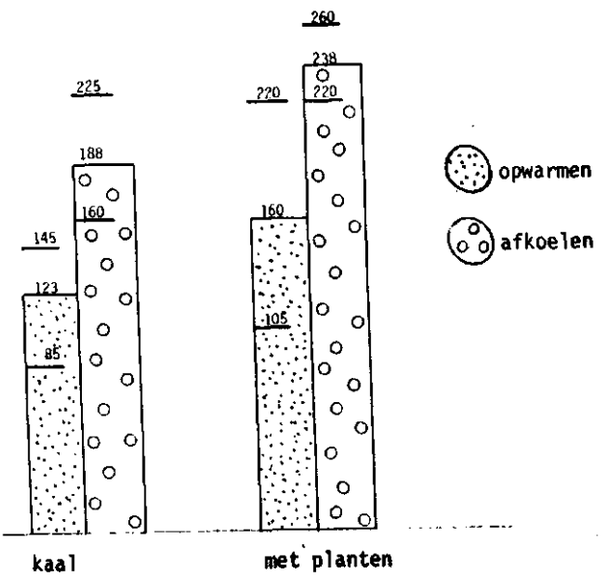
5.3 Resultaten

Een overzicht van de meetresultaten is te vinden in figuren 5.3 t/m 5.5. De gerealiseerde oppervlaktetemperaturen zijn een maat voor de hoogte en de gelijkmatigheid van de warmteafgifte. Het temperatuurverschil tussen aanvoer en retour is in stationaire toestand eveneens een maat voor de warmteafgifte. Uit tabel 5.1 komt naar voren dat de prestaties van de systemen nogal uiteenlopen. De gelijkmatigheid in oppervlaktetemperatuur is het beste bij de constructie met de verwarmingsslangen los onder het beton, terwijl bij de ingegoten slangen de warmteafgifte het hoogste is. De warmteafgifte is bij de losse slangen beduidend lager.

Van de 3 constructies is de opwarm,- en afkoeltijd bepaald. Dit is de tijd benodigd om na een temperatuursprong 63% van de eindtemperatuur, in dit geval de inwendige temperatuur van de betonplaten tussen twee slangen in, te bereiken (figuur 5.6). De gemeten tijden verschillen nogal tussen de linker en de rechterzijde van het meetobject (figuren 5.3 t/m 5.5). Vooralsnog valt dit niet met behulp van de verzamelde gegevens te verklaren. Voor de vloerconstructie met de buizen los onder platen hangend kon bij de laagste watertemperatuur van 33°C geen betrouwbare opwarm,- en afkoeltijd worden bepaald als gevolg van de lage betontemperaturen.

Tabel 5.1 Gemiddelde gerealiseerde eindtemperaturen in °C na bereiken eindtemperatuur oppervlak op drie betonvloerconstructies

	verwarming			betonoppervlak		
constructie	aanvoer	retour	temp-verschil	boven slang	tussen slangen	temp-verschil
ingegoten	33.5	32.5	1.0	27.5	25.5	2.0
geklemd	35.5	34.6	0.9	25.8	25.0	0.8
los	33	32.5	0.5	22.8	22.5	0.3
ingegoten	40.3	38.7	1.6	31.5	28.2	3.3
geklemd	42.5	41	1.5	28.3	27.5	0.8
los	43.8	43	0.8	25.0	25.3	-0.3
ingegoten	56.2	53.8	2.4	40.3	34.2	6.1
geklemd	59.3	56.8	2.5	34.5	32.8	1.7
los	56.7	55.5	1.2	28.5	28.3	0.2
ingegoten+plant	56.5	53.5	3.0	42.7	35.8	6.9
geklemd+plant	60.5	57.3	3.2	36.8	34.7	2.1
los+plant	56.2	55	1.2	29	29.3	-0.3



Figuur 5.6 Minimum, maximum en gemiddelde opwarm,- en afkoeltijden in minuten voor drie opneembare betonvloerconstructies zonder en met plantenbedekking.

Een invloed van de watertemperatuur op de opwarm,- en afkoeltijden is niet uit deze metingen te herleiden. Wel blijkt dat de afkoel,- en opwarmtijden korter worden naarmate het contact tussen slang en beton beter is. Afdekking met planten levert een toename van de traagheid op.

De gerealiseerde pottemperaturen zijn in overeenstemming met de gemeten betontemperaturen, dus het hoogste bij ingegoten slangen en het laagste bij de losse slangen.

5.4 Discussie

Gezien de redelijke warmteafgifte en gelijkmatige oppervlaktetemperatuur verdient de toepassing van de klemconstructie de voorkeur in vergelijking met de andere 2 constructies. Dit heeft als praktisch voordeel dat de vloer ook opneembaar blijft.

De gemeten traagheid van opwarmen en afkoelen is niet in overeenstemming met de resultaten van een meting aan een gestorte betonvloer van 10 cm dikte ('t Hart, 1984). Bij een onbedekte vloer werd door het IMAG een opwarmtijd gemeten van 135 minuten en een afkoeltijd van 474 minuten. Vooralsnog valt het grote verschil in afkoeltijd tussen de gestorte vloer en de opneembare vloer niet te verklaren. De betonmassa is weliswaar kleiner, maar dat verklaart niet dat de opwarmtijden wel dicht bij elkaar liggen. Wellicht zijn de omstandigheden voor afkoelen in deze meting gunstiger geweest doordat in de ruimte een luchtstroming aanwezig was en het testoppervlak vrij klein was ten opzichte van de gestorte vloer, die bovendien in een kas is getest.

Een beter vergelijkbare test van beide vloertypen lijkt noodzakelijk. De vraag kan worden gesteld of de betontemperatuur wel een goed criterium is voor de opwarm- en afkoeltijden. Op een produktiebedrijf zal een vloer altijd bedekt zijn met planten en daarmee zowel warmteafgifte als gelijkmatigheid en traagheid beïnvloeden. Bij de vloer met geklemde slang en planten duurde het opwarmen relatief lang. Dit valt te verklaren uit het feit dat de potten voor het begin van de test werden verzadigd met water en ook de betonplaat water had opgenomen. Dit was niet het geval bij de andere waarnemingen. Dit vocht veroorzaakt een vergroting van de op te warmen massa.

Te verwachten valt dat de ingeklemde slang alleen goed functioneert wanneer de inklemming over een zo groot mogelijke lengte van de slang plaatsvindt. Bij gedeeltelijke inklemming zal de warmteoverdracht snel afnemen, vooral omdat gebruik wordt gemaakt van kunststof klemmateriaal dat op zich al een beperkende factor is in de warmteoverdracht.

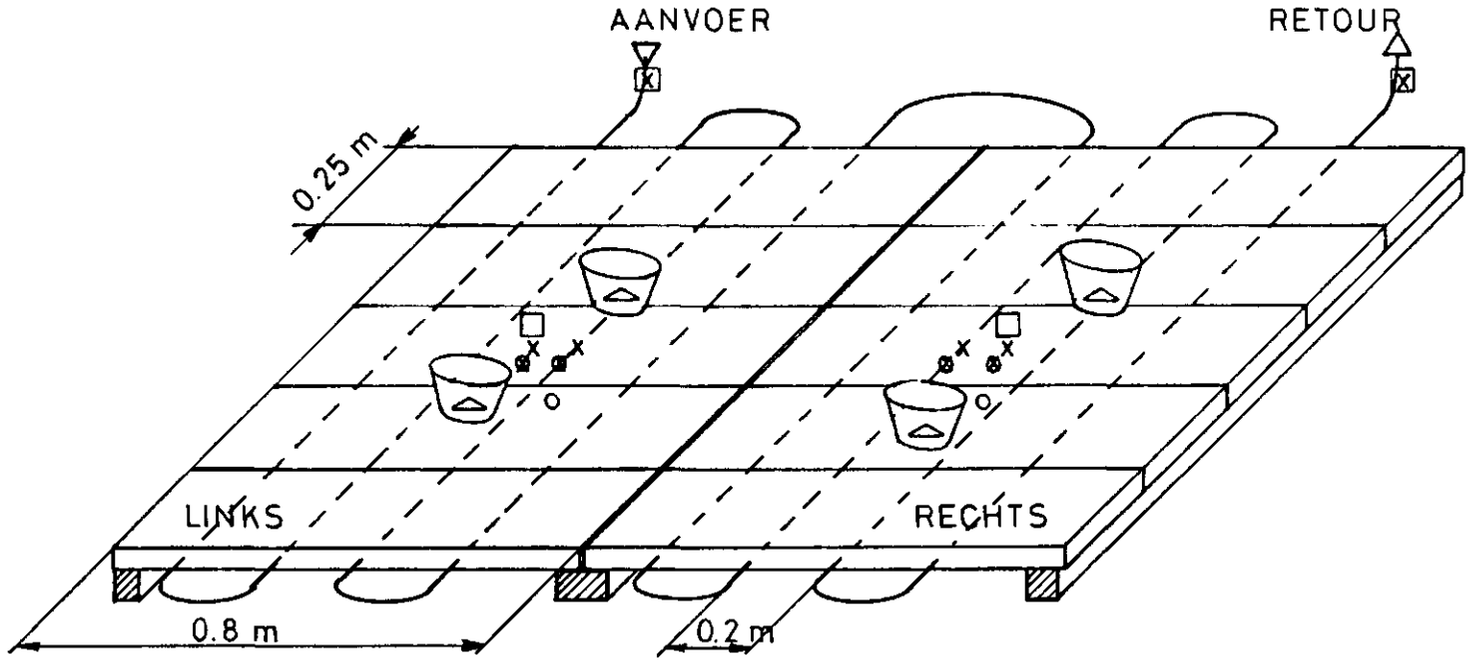
5.5 Samenvatting

De plaats van de verwarmingsslangen is van wezenlijke invloed op de warmtetechnische prestaties van het systeem van de opneembare betonvloer. Het over de hele lengte inklemmen van de slangen onderin de 5.5 cm dikke betonplaten levert een goed compromis tussen warmteafgifte, gelijkmatige oppervlaktetemperatuur, traagheid en realiseerbaarheid. Het los onder de platen leggen van de slangen veroorzaakt een sterk verminderde warmteafgifte. Het instorten van de slangen levert een ongelijkmatige oppervlaktetemperatuur op en is technisch moeilijk uitvoerbaar.

Literatuur

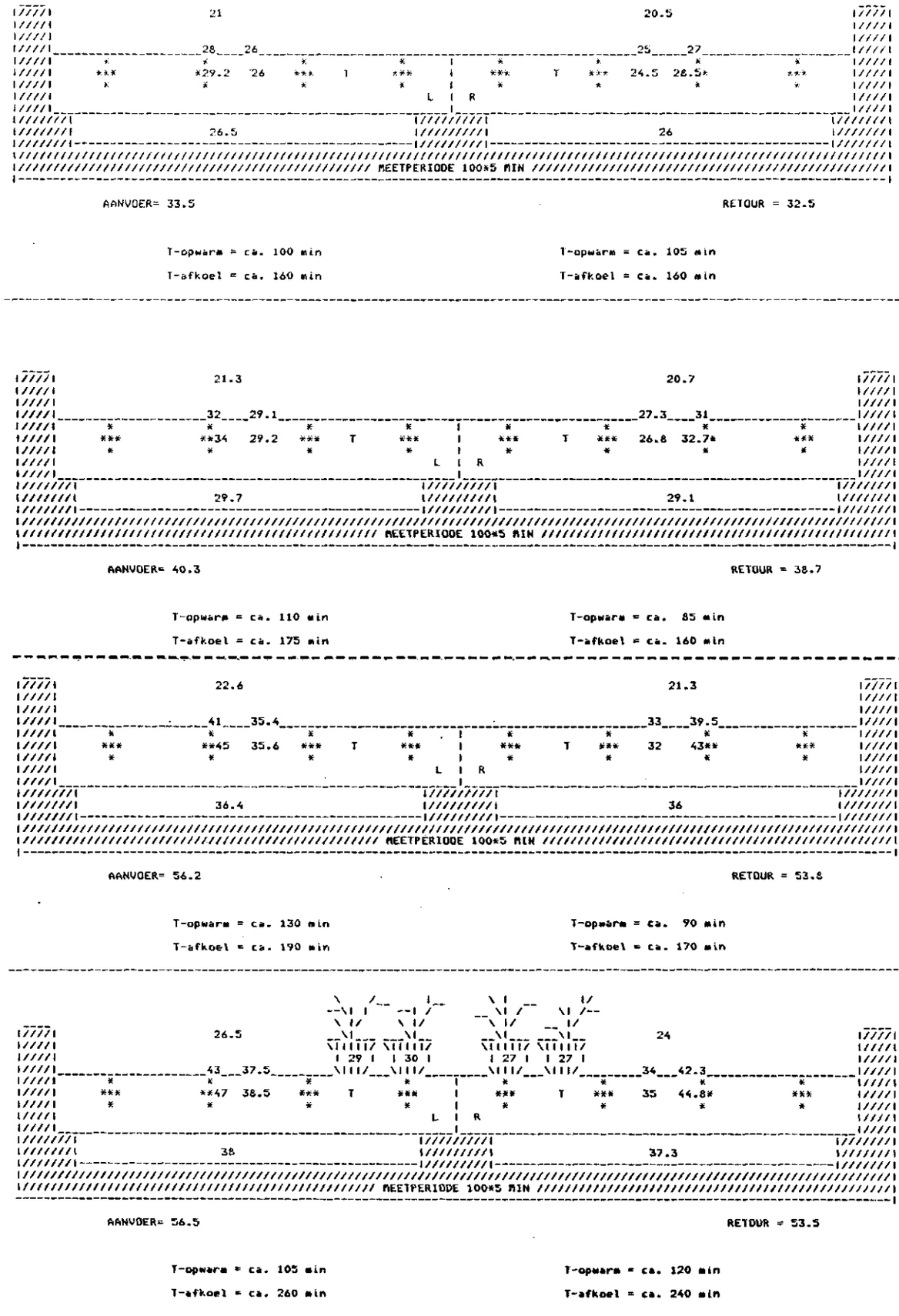
't Hart, C., Heyna, B.J., Tongeren, P. van and Weel, P. van, 1984. Heated floors with a flooded watering system. Acta Horticulturae 148 : 65-72.

't Hart, C. en P.A. van Weel, 1986. Teeltkundige aspecten combineren en beheersen met betonvloer. Vakblad voor de Bloemisterij 39: 20-23.

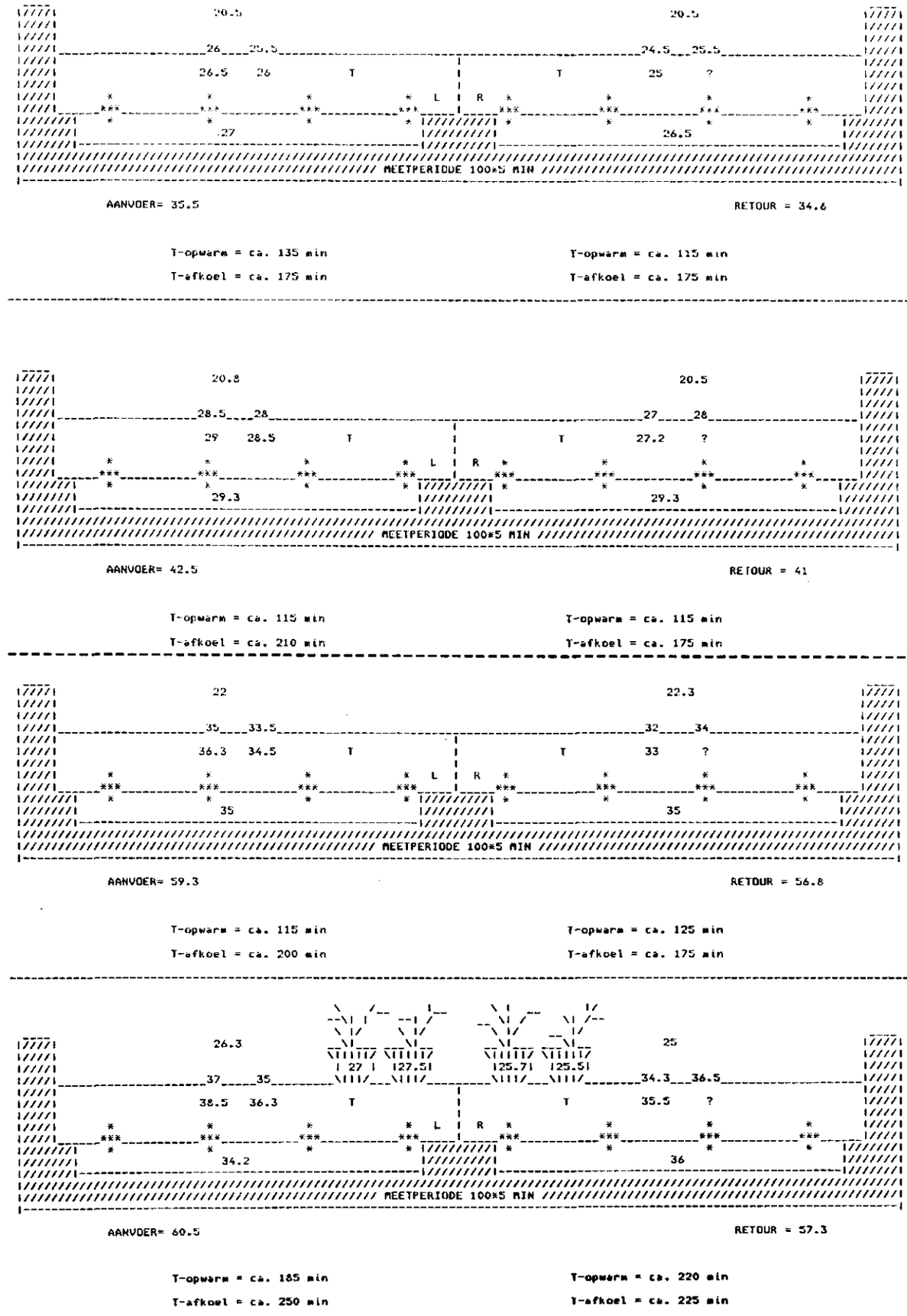


Codering meetpunten:
- ⊠ water
- □ lucht tussen planten 5 cm vanaf betonoppervlak
- x oppervlak beton
- ⊛ in beton
- o lucht onder beton
- ⏢ pot 1 cm vanaf bodem

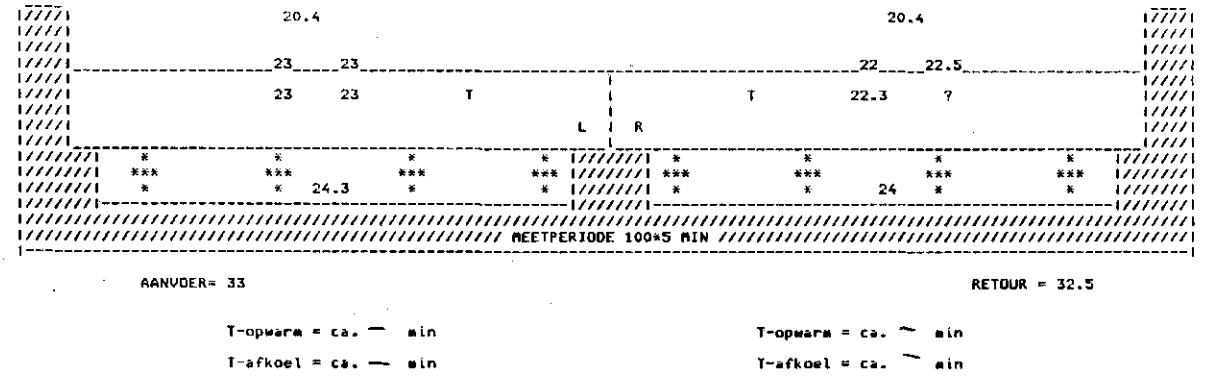
Figuur 5.2 : Overzicht meetopstelling

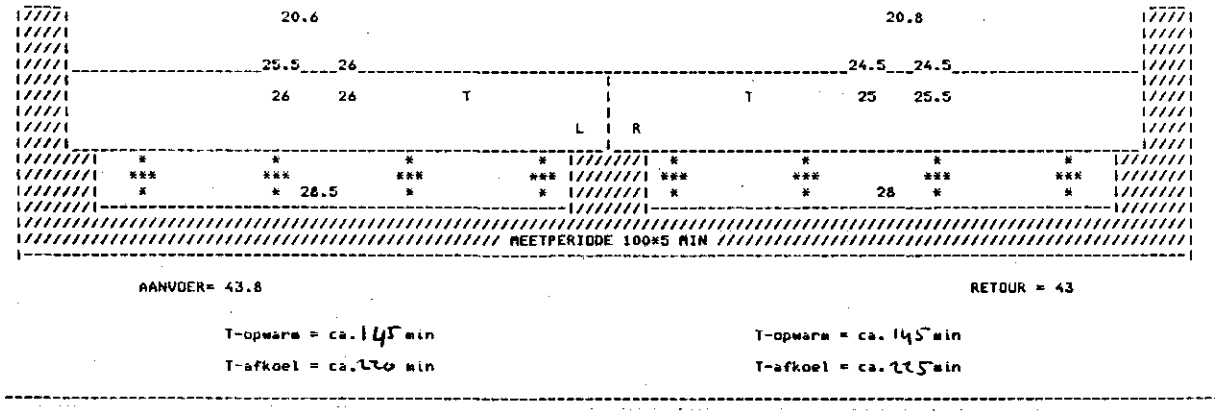


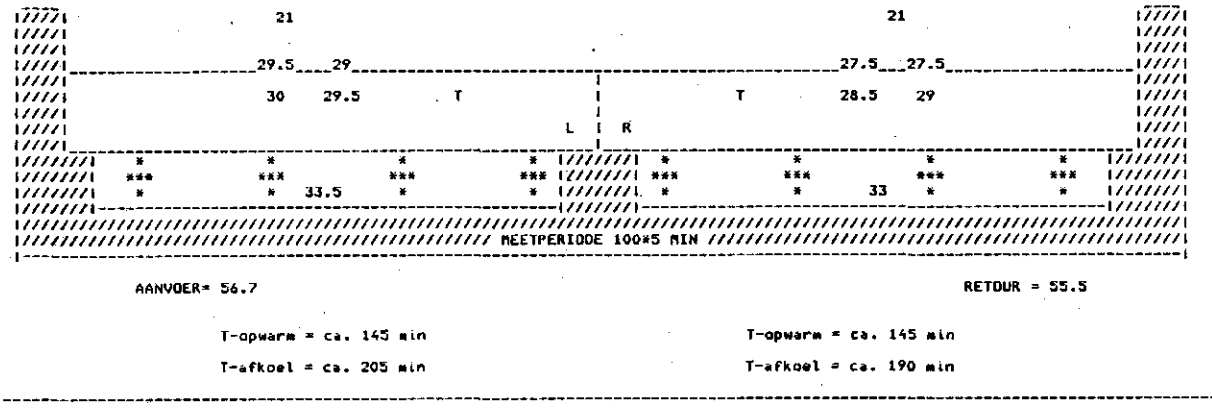
Figuur 5.3. Gemeten temperaturen van lucht, water, beton en potgrond in stabiele toestand bij verwarming met drie watertemperaturen en opwarm-, en afkoeltijden voor een opneembare vloer met ingegoten slangen.

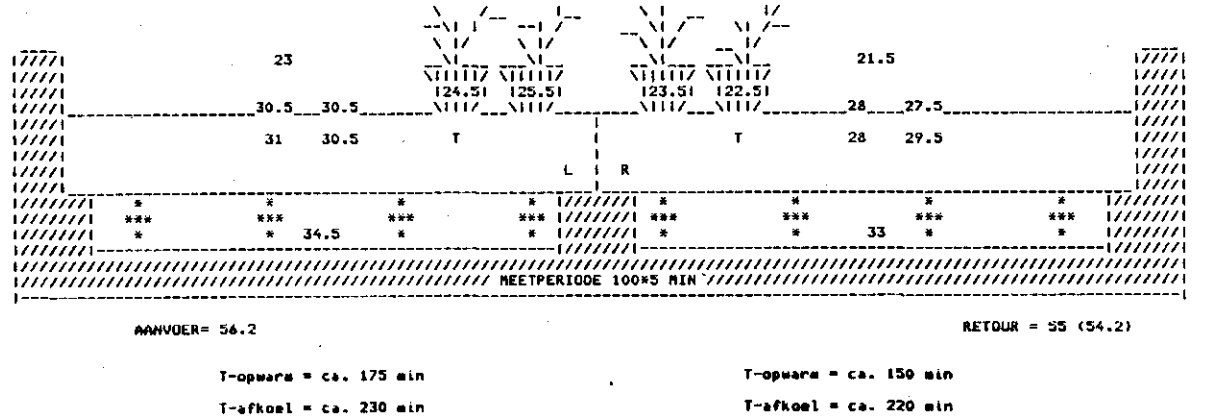


Figuur 5.4. Gemeten temperaturen van lucht, water, beton en potgrond in stabiele toestand bij verwarming met drie watertemperaturen en opwarm-, en afkoeltijden voor een opneembare vloer met geklemde slangen.









Figuur 5.5. Gemeten temperaturen van lucht, water, beton en potgrond in stabiele toestand bij verwarming met drie watertemperaturen en opwarm-, en afkoeltijden voor een opneembare vloer met losse slangen.

6. Discussie over de verschillende systemen

Voor het teeltkundig onderzoek zou het handig zijn als er geen verschil zou bestaan tussen het warmtetechnische gedrag van vloeren en tafels. Het onderzoek kan zich dan concentreren op de teeltkundige effecten van één systeem. Met name door het verschil in massa moet er echter wel onderscheid worden gemaakt. Moet nu het streven gericht zijn op het wegpoetsen van die verschillen, of moeten we trachten de eigenschappen van de aangeboden systemen zo goed mogelijk te benutten? Met het tot nu toe verrichte onderzoek is getracht een zo goed mogelijk beeld te verschaffen over die specifieke eigenschappen. Helaas is dat niet helemaal gelukt. Een belangrijke oorzaak daarvoor is het gebrek aan een duidelijke definitie van het begrip "microklimaat", de geringe kennis van de relaties van de diverse invloedsfactoren en het gebrek aan technische middelen om daaraan metingen te verrichten. Een verdere verdieping in deze materie is uiterst noodzakelijk, om de eigenschappen van verwarmingssystemen beter te definiëren met betrekking tot hun invloed op de plant en het microklimaat. In de beschreven onderzoekprojecten is daarom noodzakelijkerwijs de aandacht vooral gericht op het vastleggen van het gerealiseerde microklimaat zonder te trachten correlaties te berekenen tussen de verschilende invloedsfactoren. Dit levert het volgende beeld op.

Warmtoverdracht

De pottemperatuur kan worden beïnvloed door de toepassing van bodemverwarmingssytemen. Tussen deze verwarmingssystemen bestaan verschillen in warmteoverdracht naar de pot, bereikbare maximum pottemperaturen, bestuurbaarheid (traagheid) en gelijkmatigheid in oppervlakte- en pottemperatuur. In ieder geval kan met alle geteste systemen worden bereikt dat de pot een hoger temperatuurniveau krijgt dan de omringende lucht. In energetisch opzicht kan een bodemverwarmingsnet in sommige gevallen het ontbreken van een bovennet en als gevolg daarvan een lagere luchttemperatuur boven de planten compenseren. De planttemperatuur zal in deze gevallen ondanks de lagere luchttemperatuur boven de planten toch op hetzelfde niveau blijven als in de situatie met alleen een bovennet. Of dit het geval zal zijn lijkt afhankelijk van de planthoogte, de plantdichtheid, de luchtbeweging tussen de planten, de vochtigheidsgraad van bodem en substraat.

Het luchtverwarmde tablet zou in dit opzicht een hogere planttemperatuur tot gevolg moeten hebben, hoewel een hogere verdamping ook een lagere bladtemperatuur kan veroorzaken. In de metingen is een geringe planttemperatuurverhoging aangetoond. Bij dit tablettype was de gerealiseerde pottemperatuur betrekkelijk laag als gevolg van de slechte warmtegeleiding van de asbestcement bodem. In een volgende constructie zal een beter warmtegeleidend afdekmateriaal gebruikt moeten worden, omdat daardoor de totale warmteafgifte sterk zal toenemen.

De aluminium tabletten leveren de beste prestatie als het gaat om bereikte pottemperaturen. Bovendien bestaan er nauwelijks beperkingen ten aanzien van de maximaal toelaatbare watertemperatuur. De warmteafgifte van dit systeem is hoog, waardoor de toepassing van een tweede verwarmingsnet alleen bij hoger opgaande gewassen noodzakelijk lijkt. Bij hoge watertemperaturen kan de warmteverdeling over het tablet een probleem worden, vooral wanneer het contact tussen buizen en plaat onregelmatig is.

De kunststof eb-vloed bodem in combinatie met een rooster en verwarmingsslangen in de spouw levert relatief lage pottemperaturen op. Door gebruik te maken van polypropeen verwarmingsslangen, mag worden verwacht dat hogere pottemperaturen bereikbaar zijn. Een te verwachten opwaartse luchtstroming vanuit de bodem kon niet worden vastgesteld. Wellicht zal ook hierbij een hogere watertemperatuur een verbetering te zien geven. Evenwel valt niet te verwachten dat deze luchtbeweging tussen de planten overal even sterk zal zijn en in dezelfde richting. Nu al was waarneembaar dat kleine verstoringen in het luchtbewegingspatroon rondom een tablet plaatselijke wervelingen doen ontstaan.

De opneembare betonvloer tenslotte levert een goede en gelijkmatige warmteoverdracht op met als beperking de maximum watertemperatuur van 50°C als gevolg van de polytheen verwarmingsslangen. Weliswaar kan een hogere watertemperatuur worden bereikt door gebruik te maken van polypropeen slangen, maar dan neemt de warmteinhoud van de beton en daarmee de traagheid wel toe.

Temperatuurregeling

Wanneer het pottemperatuurniveau hoog mag zijn en schommelingen daarin acceptabel zijn verdient het vanwege een laag energieverbruik aanbeveling om de warmteafgifte van het tabletverwarmingssysteem zo hoog mogelijk te kiezen. Een consequentie daarvan is dat de opwarmtijd van de planttemperatuur toeneemt, omdat de substraatmassa naijlt. Bovendien hebben veel tabletverwarmingssytemen een betrekkelijk grote waterinhoud en zijn daarmee ook traag reagerend. Voor de betonvloeren komt daar dan ook nog de traagheid als gevolg van de betonmassa bij. Dit heeft consequenties voor de regeling van het verwarmingssysteem.

De gedachte om de opwarmtijd te verminderen door het watertemperatuurniveau in het bodemverwarmingssysteem te beperken in combinatie met een snel reagerend tweede net lijkt om meerdere redenen een minder goede. Het energieverbruik zal in werking hoger liggen dan bij gebruik van alleen een tabletverwarming, de relatief hoge investering in de tabletverwarming wordt slecht benut en de temperatuurregeling zal zeker overdag waarschijnlijk niet beter zijn, als gevolg van instraling. Overigens lijkt het zelfs niet waarschijnlijk dat een strak temperatuurregime meer of kwalitatief betere produktie oplevert dan een binnen zekere grenzen wisselend temperatuurregime. Wanneer de huidige tendens naar het regelen van de kastemperatuur op basis van (etmaal)temperatuursommen doorzet zal deze regeling met andere reaktietijden rekening kunnen gaan houden en vormen traagheden van enkele uren voor verwarmingssystemen een minder groot bezwaar. Ook de voorspellende regelingen zullen dan op langere tijdsperioden gebaseerd kunnen zijn.

Een regeling van de gewastemperatuur met behulp van een tabletverwarmingssysteem levert problemen op. De gewasdichtheid vormt een onvoorspelbare faktor bij de uiteindelijk gerealiseerde gewastemperatuur. Bij de toepassing van een zo hoog mogelijke warmteafgifte van het tabletverwarmingssysteem zijn de volgende strategieën denkbaar:

1. gebruik van het energiescherm voor het bereiken van een (dag)temperatuursom.
2. temperatuursomregeling met behulp van de tabletverwarming over perioden die een veelvoud zijn van de traagheid van het verwarmingssysteem.
3. toepassing van een tweede verwarmingsnet dat vooral invloed heeft op het microklimaat.

ad 1. Dit kan betekenen dat ook overdag het energiescherm gesloten moet worden gehouden. Een schermregeling op basis van stookkosten versus opbrengstverwachting lijkt dan noodzakelijk.
ad2. Voor erg trage systemen, zoals een betonvloer zal dit betekenen dat de somperiode meerdere dagen zal moeten omvatten. Een voorspellende regeling van de watertemperatuur op basis van het te verwachten buitenklimaat ligt dan voor de hand.
ad3. De meest directe beïnvloeding van het microklimaat mag worden verwacht van een verwarmingsnet tussen of boven de planten. Gezien de resultaten van metingen aan hijsverwarming (Freriks, 1987) kan worden geconcludeerd dat de invloed van de ligging van de verwarmingsbuizen boven of tussen het gewas nog veel vragen oplevert. Er mag worden verwacht dat de grootste energieoverdracht plaatsvindt bij een ligging tussen het gewas, omdat ook de convectieve warmte direkt aan de planten ten goede komt. Echter de omringende planten belemmeren een goede warmteverdeling en dit kan betekenen dat langs iedere rij planten een verwarmingsbuis moet liggen, danwel dat deze boven het gewas moeten komen te liggen. Eénmaal boven het gewas mag worden verondersteld dat de afstand tussen gewas en verwarmingsbuis vooral invloed heeft op de gelijkmatige verdeling van de (stralings)warmte en minder op de hoogte van de gerealiseerde planttemperaturen. Hoe groter de afstand, hoe minder buizen nodig zijn voor het bereiken van een gelijkmatig afgiftepatroon, waardoor de investering lager is en de waterinhoud en daarmee de traagheid kleiner is. Het aanbrengen van een hijsinstallatie lijkt om dezelfde redenen weinig perspectieven te bieden als het gaat om het veranderen van de afstand tussen gewas en buis. Mogelijk heeft het wel zin om tussen het gewas geplaatste buizen met de groei van het gewas omhoog te bewegen. Dit lijkt vooral afhankelijk van mogelijke luchtbewegingspatronen tussen het gewas, ofwel de dichtheid van het gewas.

Pottemperatuurregeling

Een besturing van de tablet,- of betonvloerverwarming op basis van de pottemperatuur lijkt het meest gewenst. Een nauwkeurige definitie van het meetpunt is dan noodzakelijk. In de uitgevoerde proeven is steeds gemeten op 1 cm van de potbodem in het midden van de pot. Uitgangspunt voor deze keuze was de veronderstelling dat de meeste wortels zich in het onderste gedeelte van de pot bevinden, een te hoge pottemperatuur vooral in dit gebied schade zal opleveren en een temperatuurmeting op deze plaats ook informatie oplevert over de temperatuurgradiënt in de pot omdat de bovenkant van de potgrond de kasluchttemperatuur benadert.

Gezien de gemeten verschillen in pottemperatuur over een tablet of vloer kan men zich afvragen of het regelen op basis van één meetpunt voldoende betrouwbaar is. Een regeling op basis van meerdere sensoren lijkt wel mogelijk maar nauwelijks zinvol. Verschillen in vochtigheid van het substraat en het contact tussen sensor en substraat maken een dergelijk systeem ook onbetrouwbaar.

7.Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

7.1 Systeemvergelijkingen

Steeds meer lopen we bij het vergelijken van verwarmingssystemen op tegen het gebrek aan kennis op het gebied van het microklimaat. Omdat nieuwe systemen veelal als doelstelling lijken te hebben om juist een betere besturing van dit microklimaat te verkrijgen zal dit gebrek aan fundamentele kennis zich nog sterker doen gaan voelen. Het gaat te ver om te stellen dat systeemvergelijkend onderzoek voorlopig moet worden opgeschort, maar de interpretatie van de behaalde resultaten zal problemen opleveren omdat de kweker de teeltmethodiek waarschijnlijk aan zal passen aan het verwarmingssysteem en zijn specifieke mogelijkheden.

Tot nu toe is in het uitgevoerde onderzoek voorbijgegaan aan de kosten-baten analyse van de verschillende systemen. Belangrijke redenen daarvoor zijn het vermogen van de kweker om met nieuwe systemen na een zekere aanloopperiode een vergelijkbare produktie te behalen ten opzichte van de traditionele systemen. Omdat daarnaast sprake is van teeltsystemen waarbij het verwarmingssysteem een geintegreerd onderdeel vormt van het totaalsysteem is de investering niet zo eenvoudig vast te stellen. Daarom moet meer aandacht worden gegeven aan de beoordeling van geintegreerde teeltsystemen.

Systeemonderzoek in de praktijk is een moeilijke zaak gebleken omdat er erg veel invloedsfactoren tegelijkertijd aanwezig zijn. Twee gelijke objecten zijn niet te vinden, dus herhalingen kunnen alleen in de tijd worden uitgevoerd, hetgeen ook veel problemen oplevert. Om deze redenen kunnen systeemvergelijkingen beter onder geconditioneerde proefomstandigheden (klimaatkamers) worden uitgevoerd. Daarbij blijft dan wel het probleem bestaan van interpretatie van de verkregen gegevens voor de praktijk. Gewoonlijk zal een proefstation de verkregen resultaten toetsen en verder geschikt maken voor toepassing door het bedrijfsleven. In dit geval echter moeten de kassen op de proefstations gelijkwaardig worden verondersteld aan de praktijkkassen, dus inclusief alle storende invloeden. De beoogde vertaalslag lijkt daardoor niet mogelijk omdat de verkregen teeltresultaten alleen voor het betreffende kassencomplex geldig zijn. Naarmate er meer varianten komen op de uitrusting van een kas zal dit probleem ook nog groter worden en op dit moment is deze tendens heel duidelijk aanwezig.

Naast het fundamentele onderzoek onder praktijkomstandigheden zal de toepassing van modellen een belangrijke plaats moeten krijgen in het systeemvergelijkende onderzoek. Alleen dan is het nog mogelijk om met zoveel gelijktijdige invloedsfactoren het verloop van processen te analyseren en eventueel te besturen.

7.2 Systeemontwikkeling

Aannemende dat er steeds meer behoefte zal ontstaan aan de besturing van het klimaat in de directe omgeving van de plant of zelfs onderdelen van de plant zal er ook een groeiende behoefte ontstaan aan de verdere ontwikkeling van verwarmingssystemen. Het gebrek aan fundamentele kennis met betrekking tot microklimaat en plantreacties en de problemen bij het uitvoeren van systeemvergelijkend onderzoek remmen de introductie van nieuwe

ontwikkelingen echter sterk af.

De tendens naar geintegreerde teeltsystemen waar de verwarming een schakel moet vormen in een groter geheel zal zijn invloed hebben op de te ontwikkelen verwarmingssytemen. Niet altijd zal het qua bedrijfsresultaten meest optimale teeltsysteem ook een optimaal verwarmingssysteem opleveren, zoals bijvoorbeeld het geval is als de buizen ook voor transportdoeleinden of voor constructieve doeleinden worden gebruikt of zoals bij de betonvloer wanneer het opnemen van een verwarmingsnet in de vloer nauwelijks extra investering veroorzaakt.

Bij de systeemontwikkeling lijkt het zinvol prioriteit te geven aan systemen die zich dicht bij de planten bevinden, geen schaduw veroorzaken, de planten verwarmen zonder teveel onnodige uitwisseling te veroorzaken van de warme lucht tussen de planten en de omringende koudere lucht en als belangrijkste kenmerk hebben een gelijke temperatuur in het gewas door de hele kas.

7.3 Teeltonderzoek

De invloed van nieuwe verwarmingssystemen op de gewasgroei zal onderzocht moeten worden onder "natuurlijke" omstandigheden, namelijk in kasruimtes. Wanneer dit onderzoek is voorafgegaan door klimaatonderzoek, zodat het effect van het nieuwe systeem op het plantklimaat redelijk bekend is, zal dit teeltonderzoek efficienter kunnen verlopen. Er kan dan beter ingeschat worden wat voor klimaatmetingen tijdens het teeltonderzoek moeten plaatsvinden. Het voorafgaande klimaatonderzoek zou in geconditioneerde ruimtes kunnen plaatsvinden, zodat er minder verstorende invloeden aanwezig zijn dan in kasruimtes (luchtbeweging).

Naarmate uit het teeltonderzoek meer gegevens vrijkomen over de invloed van pot,- en luchttemperatuur op de gewasgroei, zal het regeltechnisch onderzoek zich telkens moeten bezinnen op de gekozen randvoorwaarden. Dit geldt zeker voor het ontwerpen van regelstrategieën voor betonvloeren. Gezien de tot nu toe geboekte onderzoekresultaten, met een positief effect van hoge pottemperaturen (+ ruime marge), zou de vloerregeling bij potplanten afgestemd kunnen worden op de pottemperatuur. Een groot gedeelte van de warmte kan op deze manier vanuit de vloer komen, waarbij een (gering?) bovennet de resterende benodigde warmte kan leveren (op basis van de kasluchttemperatuur). Bij hoog opgaande gewassen zal waarschijnlijk het bovennet een groter deel moeten verzorgen van de totale kasverwarming. Dit betekent in ieder geval dat voor de potplantenteelt het niet noodzakelijk (meer) is om te werken aan "snelle" regelingen, of vooruit te lopen op de traagheid van het systeem (voorspellende regeling). Eventuele "klimaatproblemen" met betonvloeren zullen óók niet op te lossen zijn via een verbeterde vloerregeling.

7.4 Klimaatonderzoek

Vooralsnog lijkt de beste optie het streven naar: de toepassing van verwarmingssystemen die een zo gelijkmatig mogelijke warmteverdeling bezitten, uniforme substraten en een regeling op basis van een model dat op basis van gegevens over watertemperatuur, gewasdichtheid, buitenklimaat enz. een pottemperatuur kan berekenen. De pottemperatuurmeting dient dan alleen nog ter controle.