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

ISSN 1385 - 3015

EFFECTEN VAN BUISLIGGING BIJ DE TEELT VAN TOMAAT

Onderzoek naar verticale temperatuur- en vochtverschillen, energiegebruik en groei

Project 2101

IMAG-DLO:
F.L.K. Kempkes
N.J. van de Braak
J.C. Bakker

PBG:
C.M.J. Bloemhard

Naaldwijk, november 1998

Rapport 98-134
Prijs *f* 35,00

Rapport 98-134 wordt u toegestuurd na storting van *f* 35,00 op gironummer 293110 ten name van Proefstation Naaldwijk onder vermelding van 'Rapport 98-134, EFFECTEN VAN BUISLIGGING BIJ DE TEELT VAN TOMAAT'.

Effecten van buisligging bij de teelt van tomaat

onderzoek naar verticale temperatuur- en vochtverschillen, energiegebruik en groei

fase 1-3, Naaldwijk januari 1996 - november 1997

IMAG-DLO:
F.L.K. Kempkes
N.J. van de Braak
J.C. Bakker

PBG:
C.M.J. Bloemhard

imag-dlo

PBG

MEER UIT ENERGIE

Voorwoord

Voor het verkrijgen van een homogeen gewas moet de horizontale temperatuurverdeling in de kas gelijkmatig zijn. Hierdoor is het mogelijk om planmatig te telen en een maximale arbeids- en energie-efficiency te krijgen. In de verticale richting dient de temperatuur optimaal te zijn in relatie tot de gewasopbouw en voor het gewasdeel dat zich daar bevindt. Afhankelijk van de plaats en het type gewas kunnen dit groeipunten, scheuten, knoppen, bloemen of vruchten zijn. Bij hoog opgaande gewassen zoals bijvoorbeeld paprika en tomaat, vindt men over een afstand van 2,5 meter in verticale richting van boven naar beneden opeenvolgend de verschillende stadia vanaf het vegetatief groeipunt tot en met rijpende vruchten. Deze verschillende plantonderdelen en hun ontwikkelingsstadia hebben ieder een eigen temperatuurrespons. Dit betekent dat op verschillende hoogten andere temperatuuroptima kunnen heersen. De gewastemperatuur op een bepaalde hoogte is te beïnvloeden door ligging, diameter en temperatuur van de verwarmingsbuizen. Doel van dit project was het formuleren van richtlijnen, gebaseerd op een fysisch model en de gewasreactie, voor de optimale hoogteligging en gebruik van de verwarmingsbuizen om tot een hoge energie-efficiency te komen bij een goede productkwaliteit. Als toetsgewassen is gekozen voor tomaat. Het onderzoek is uitgevoerd door Frank Kempkes, Nico van de Braak en Sjaak Bakker van het IMAG-DLO in samenwerking met Chantal Bloemhard van het PBG. Het onderzoek werd mogelijk gemaakt door medefinanciering door NOVEM en het Landbouwschap.

Guus van den Berg
november 1998
Proefstation voor Bloemisterij en Glasgroenten

Inhoud

Voorwoord 1
Samenvatting 3
1 Inleiding 4
2 Opzet van het onderzoek 5
2.1 Experimenten 5
2.1.1 Kas en verwarmingssysteem 5
2.1.2 Teeltwaarnemingen 7
2.1.3 Klimaatwaarnemingen 8
2.2 Modelvorming 9
2.2.1 Stralingsuitwisseling 9
2.2.2 Convectie 11
2.2.3 Verdamping 11
2.2.4 Energiebalansen 11
3 Resultaten 12
3.1 Kasklimaat 12
3.2 Gewasreacties 16
3.2.1 Bladoppervlakte 16
3.2.2 Lengte en bloei 17
3.2.3 Productie 18
3.3 Energiegebruik 21
3.4 Modelevaluatie 23
4 Discussie 25
5 Conclusies en aanbevelingen 27
Literatuur 28
Kennisoverdracht 29

Samenvatting

De verticale verdeling van lucht- en gewastemperatuur wordt beïnvloed door de plaats, diameter en temperatuur van de verwarmingsbuizen. Daarnaast beïnvloedt de plaats van de verwarmingsbuizen het energiegebruik.
In dit project is gebruik gemaakt van twee verwarmingssystemen, een buisrailnet van 4 ø 51 mm buizen en een zwaar uitgevoerd groeibuisnet van 2 ø 51 mm buizen per kap van 3,2 m, dit in tegenstelling tot de praktijk waar het groeibuisnet meestal met 2 ø 27 mm buizen per kap van 3,2 m wordt uitgevoerd.
Tijdens de beginfasen van de teelten is de groeibuis op een hoogte van 0,4 meter geplaatst om verschillen in lengtegroei en gewasontwikkeling te voorkomen. In de teelt is de verdeling van het bladoppervlak(LAI) per trossectie, ontwikkeling in lengte, de bloeisnelheid en de productie vastgelegd voor een reeks van drie buisliggingen, waarbij de buisrail in alle gevallen op de plaats heeft gelegen zoals in de praktijk gebruikelijk is.
Er is een model ontwikkeld waarmee een voorspelling van de planttemperatuur in de nacht gemaakt kan worden. De parameters die het model nodig heeft om de planttemperatuur te kunnen voorspellen zijn: de temperaturen van de bodem, dak, kaslucht en verwarmingsbuizen, de gemiddelde vochtigheid van de kaslucht, de LAI verdeling van de plant per trossectie en de plaats van de verwarmingsbuizen.
De lucht- en gewastemperatuur reageren duidelijk verschillend op de groeibuisligging. De plaats en temperatuur van de verwarmingsbuizen beïnvloeden de luchttemperatuur lokaal nauwelijks als gevolg van de opmenging van de kaslucht die door de warme verwarmingsbuizen wordt veroorzaakt.
De planttemperatuur is lokaal wel goed te beïnvloeden met behulp van de groeibuis (ca. 0,4 °C). De beïnvloedingszone van de groeibuis op de planttemperatuur is echter gering (ca 25 á 30 cm rondom de groeibuis).
De bladtemperatuur is in de nacht op alle hoogten vrijwel altijd lager dan de luchttemperatuur. Door het verschil in luchttemperatuur op de verschillende hoogten is de plaats van de meetbox van groot belang op het klimaat dat gerealiseerd wordt. Op welke hoogte de meetbox geplaatst moet worden is afhankelijk van de gewenste lucht- en gewastemperatuur op een bepaalde hoogte in de kas.
De effecten op het gewas zijn zeer gering. Voor een positieve invloed van de buisligging op bladopbouw, lengteontwikkeling en bloeisnelheid is de te realiseren temperatuurstijging op lokaal niveau te klein. Bij de hoge groeibuisligging lijkt de productie 2 a 3% hoger te liggen. Bij de hoge groeibuisligging is het energieverbruik echter ook toegenomen met 7%.

1 Inleiding

Een verbetering van de energie-efficiëntie in combinatie met een kwaliteitsverbetering is noodzakelijk voor het bedrijfsresultaat en het realiseren van de MJA-E afspraak voor de Glastuinbouw. Een betere energie-efficiëntie is ook nodig voor het verlagen van de totale CO_2-emissie. Een optimaal gebruik van de beschikbare bedrijfsuitrusting speelt daarbij een belangrijke rol, zowel voor vruchtgroenten als voor siergewassen.
Bij de teelt van hoog opgaande groentegewassen beschikt men in de praktijk vaak over twee onafhankelijk regelbare verwarmingssystemen. Een laaggelegen ondernet, meestal uitgevoerd als een buisrailsysteem en een in hoogte variabel tweede (condensor)net, meestal uitgevoerd als een zogenaamd 'groeibuisnet'. De verticale verdeling van lucht- en gewastemperatuur kan hiermee worden beïnvloed door zowel de plaats als de temperatuur (warmteafgifte) van de verwarmingsbuizen (Van Holsteijn en Kempkes, 1993).
Hierdoor kunnen processen die sterk reageren op de temperatuur, zoals de verdeling van assimilaten (Marcelis en de Koning, 1995; de Koning, 1994), ontwikkeling en bloeisnelheid (de Koning, 1994; Karlsson *et al.*, 1991) worden gestuurd en in het verlengde daarvan de kwaliteit en de kwantiteit van de productie. Deze mogelijkheden worden nog nauwelijks benut door het ontbreken van kwantitatieve informatie over de locale beïnvloeding van de lucht- en gewastemperatuur en de daaraan gekoppelde gewasrespons.
Naast een effect op de locale gewastemperatuur en daarmee op de groei en productie heeft de hoogte van het verwarmingssysteem een directe invloed op het energiegebruik. Bij hogere buisliggingen stijgt het energiegebruik omdat de door de buizen afgegeven straling bij een hogere buisligging minder door het gewas wordt onderschept. De verhoogde stralingsuitwisseling tussen de buizen en het (koude) kasdek resulteert vervolgens in extra (stralings) warmteverliezen (Bot en Van de Braak, 1995). Een hogere buisligging leidt eveneens tot hogere luchttemperaturen boven in de kas. Daardoor nemen de convectieve verliezen aan het dek toe. Voor het bereiken van een maximale energie-efficiëntie is, naast een goede uniforme verdeling van de temperatuur in het horizontale vlak, (Nijs, 1997; Bakker en de Zwart, 1997) een optimale positionering en temperatuurniveau van de verwarmingsnetten noodzakelijk. Om dit te bereiken is kwantitatieve informatie nodig over de invloed van buisligging en buistemperatuur op zowel energiegebruik als de gewasproductie.
Deze informatie kan niet alleen bijdragen aan de optimale inzet van nu reeds in de praktijk beschikbare verwarmingssystemen maar tevens aan de ontwikkeling van efficiëntere systemen voor toekomstige productiesystemen
In een samenwerkingsproject van het PBG en IMAG-DLO is onderzoek uitgevoerd om de gewenste kennis te verkrijgen over de relatie tussen buistemperatuur, buisligging, energiegebruik en gewasreacties. Als eerste stap in dit samenwerkingsproject is door IMAG-DLO een fysisch model ontwikkeld waarmee de invloed van de ligging en de buistemperatuur van buisrail en groeibuis op de verticale gewastemperatuur en de lokale gewastranspiratie bij hoog opgroeiende gewassen kan worden berekend. Invoer parameters voor dit model zijn de gewasopbouw en lucht-, bodem- en kasdektemperatuur.
Binnen het project *'realisatie van gewenste verticale temperatuur en vochtigheidsprofielen'* is dit model ingezet om keuzes te maken voor de uitvoering van een gewasexperimenten waarin door het PBG de gewasreacties bij een aantal buisliggingen zijn vastgelegd (fase 1, 1996). Op basis van de resultaten zijn richtlijnen en aanbevelingen opgesteld voor een energie-efficiënt gebruik van de in de praktijk gangbare verwarmingssystemen bij hoog opgroeiende vruchtgroentengewassen (fase 2). In fase 3 (1997) zijn twee gekozen richtlijnen getoetst, waarbij het accent op gewasrespons en gerelateerd energieverbruik ligt.

In fase 5 is een oriënterende proef bij chrysanten uitgevoerd. Op basis van de uitkomsten van deze proef is in december 1997 een vervolg project gestart met chrysant als toetsgewas, getiteld 'Effecten van buisligging bij de teelt van chrysanten'. De resultaten van de oriënterende proef zijn opgenomen in verslaglegging van het genoemde chrysanten project.

2 Opzet van het onderzoek

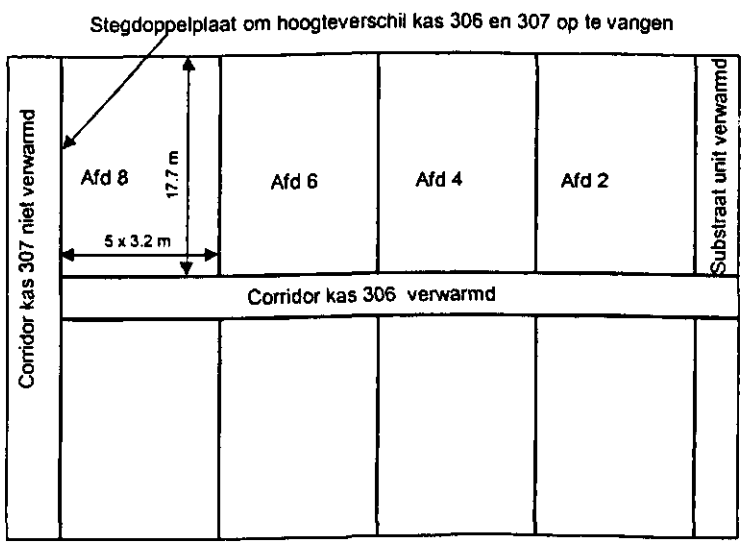
Dit onderzoek is in een aantal fasen opgesplitst, waarbij in fase 1 (1996) in een kasexperiment is vastgesteld welke gewasreacties optreden bij verschillende buisliggingen en welke klimaatverdeling (luchttemperatuur en RV) bij die buisliggingen optreden. In 1997 is in een afsluitend kasexperiment (fase3) voor een tweetal behandelingen de gewasrespons en het gerelateerde energiegebruik bepaald.
In de volgende paragrafen wordt nader ingegaan op de gehanteerde werkwijze.

2.1 Experimenten

De experimenten zijn uitgevoerd in vier kascompartimenten bij het PBG te Naaldwijk. Daarbij is gebruik gemaakt van het gewas tomaat, één van de belangrijkste hoogopgaande groentegewassen. De experimenten zijn verdeeld over twee teeltjaren uitgevoerd. In het eerste teeltjaar (1996) zijn zoveel mogelijk verschillende buisliggingen getest waarbij de aandacht is gericht op de gewasrespons. In het tweede teeltjaar (1997) zijn twee behandelingen in duplo aangelegd waarbij naast de gewasrespons ook het gerelateerd energiegebruik is bepaald.

2.1.1 Kas en verwarmingssysteem

Bij het PBG in Naaldwijk is in dit onderzoek gebruikgemaakt van de afdelingen 2, 4, 6 en 8 in kas 306. Deze afdelingen bestaan ieder uit 5 kappen van 3,2 meter en hebben een bruto oppervlakte van 283 m^2, figuur 2.1.1. De netto teeltoppervlakte van deze afdelingen bedraagt ongeveer 230 m^2. De goothoogte is 4,2 m en de gevels zijn uitgevoerd met enkel glas.
De vloer is uitgevoerd als onverwarmde betonvloer waarop goten met steenwolmatten liggen.
Per kap zijn er 4 teeltvakken, elk van 13,5 m lang. Aan de voorzijde is een pad van 1,5 meter breed en aan de achterzijde een betegeld pad van 2 meter.



Figuur 2.1.1 Plattegrond kas 306 bij PBG te Naaldwijk

Verwarmingssysteem

Er zijn twee onafhankelijk regelbare verwarmingssystemen, een buisrail hoofdnet bestaande uit 4 ø 51mm buizen op een vaste hoogte en een zogenaamd groeibuizennet van 2 ø 51mm buizen per

kap van 3,2 m, dit in tegenstelling tot de praktijk waar het groeibuizennet gewoonlijk uit 2 ø 27mm buizen per kap van 3,2 m bestaat. Met behulp van dit zwaar uitgevoerde groeibuissysteem kan lokaal veel warmte worden ingebracht. De buizen van het groeinet zijn aan kettingen opgehangen en handmatig op de gewenste hoogte in te stellen.
De regeling van de verwarming is zodanig aangepast dat het groeibuizennet als primair verwarmingssysteem wordt gebruikt. Wordt bij toenemende warmtevraag de gevraagde buistemperatuur hoger dan de ingestelde maximumbuistemperatuur van het groeinet, dan wordt het ondernet ingeschakeld. Bij afnemende warmtevraag wordt eerst het ondernet afgeschakeld.
In tabel 2.1.1 is een overzicht gegeven van de gebruikte buisliggingen in het meetseizoen 1996.

Tabel 2.1.1 Gebruikte buisliggingen in het meetseizoen 1996

Hoogte buisrail(m)	Hoogte groeibuis (m)	Afdeling
0,15	0,40	2
0,15	0,5; 1,25; 1,5; 2,0; 2,32	4
0,15	1,50	8
0,15	2,00	6

In alle afdelingen is tijdens de beginfase van de teelt (voor de perioden gedurende de teelt zie onderdeel klimaatinstellingen) de groeibuis op een hoogte van 0,4 meter geplaatst om verschillen in lengtegroei te voorkomen. In de afdelingen 6 en 8 zijn, nadat de kop van het gewas de groeibuis is gepasseerd, de groeibuizen wekelijks tot 30 centimeter onder de kop van het gewas gehangen totdat de eindhoogte van de groeibuis (zie tabel 2.1.1) is bereikt. De metingen aan de planttemperaturen zijn gestart nadat het gewas een hoogte van 2 meter bereikt had. Er was toen voldoende lengte, bladmassa en bladoppervlak in het gewas om de voor het model benodigde gegevens te verzamelen. Tijdens de beginfase van de teelt in 1996 bleken er horizontale temperatuurverschillen in de afdelingen voor te komen, die grotendeels veroorzaakt werden door het gebruik van het groeinet als primair verwarmingssysteem. De gevelverwarming werd alleen gevoed door het ondernet en omdat het ondernet pas in een later stadium ingeschakeld werd (als de capaciteit van het groeinet te kort schoot) bleef de gevel (te) koud. Dit is opgelost door aan de gevel 2 extra ø 51 mm buizen te plaatsen die gevoed worden door het groeinet. Aan de tussengevels zijn de transportbuizen voor het ondernet geïsoleerd om overcapaciteit aan de tussengevel te voorkomen.

Klimaatinstellingen

In het eerste meetseizoen (1996) is de teelt op 25 januari gestart. In tabel 2.1.2 is een overzicht gegeven van de belangrijkste klimaatinstellingen.

Tabel 2.1.2 Klimaatinstellingen kas 306 in eerste meetseizoen januari - november 1996 (waarden in °C)

<table>
<tr><th>1996</th><th>jan</th><th>feb</th><th>feb</th><th>mar</th><th>mar</th><th>apr</th><th>apr</th><th>mei</th><th>mei</th><th>jun</th><th>jun</th><th>jul</th><th>jul</th><th>aug</th><th>aug</th><th>sep</th><th>sep</th><th>okt</th><th>okt</th><th>nov</th></tr>
<tr><td>minimumbuis</td><td colspan="2">45</td><td colspan="2">1)</td><td colspan="17">geen</td></tr>
<tr><td>buisrail</td><td colspan="2">max 65</td><td colspan="19">max 60</td></tr>
<tr><td>groeibuis</td><td colspan="2">max 65</td><td colspan="19">max 60</td></tr>
<tr><td>regelprioriteit 2)</td><td colspan="3">3)</td><td colspan="17">groeibuis primair tot maximum buistemperatuur, daarna komt buisrail bij</td></tr>
<tr><td>Tkas dagdeel1 a)</td><td rowspan="4">20</td><td rowspan="2">18,5</td><td colspan="4">17</td><td colspan="2">17</td><td>16,8</td><td colspan="4">16,8</td><td colspan="3">16</td><td colspan="3">15,5</td></tr>
<tr><td>Tkas dagdeel2 b)</td><td colspan="4">16,5</td><td colspan="3" rowspan="2">16,5</td><td colspan="3" rowspan="2">17,5</td></tr>
<tr><td>Tkas dagdeel3 c)</td><td rowspan="2">17,5</td><td colspan="4">17,5</td></tr>
<tr><td>Tkas dagdeel4 d)</td><td>20</td><td>19</td><td>18,5</td><td>18,5</td><td>18</td></tr>
<tr><td>luchttempdagdeel1</td><td rowspan="4">25</td><td rowspan="2">21</td><td colspan="4">19</td><td colspan="2">19</td><td>18</td><td colspan="4" rowspan="2">17,3</td><td colspan="3" rowspan="2">16,5</td><td colspan="3" rowspan="2">16</td></tr>
<tr><td>luchttempdagdeel2</td><td colspan="4">17</td><td colspan="3" rowspan="2">17</td></tr>
<tr><td>luchttempdagdeel3</td><td rowspan="2">20</td><td colspan="4">18</td><td colspan="7" rowspan="2">18</td></tr>
<tr><td>luchttempdagdeel4</td><td>21</td><td>20</td><td>19,5</td><td>20</td><td>19</td></tr>
</table>

1) lichtafhankelijk afgebouwd naar kasluchttemperatuur bij een globale straling tussen 200 en 400 W
2) regelprioriteit van de verwarmingsnetten
3) buisrailtemperatuur is gelijk aan de groeibuistemperatuur
a) dagdeel 1 is de nacht en loopt van zonsondergang tot 3 uur voor zonsopgang

b) dagdeel 2 is de nanacht en loopt van 3 uur voor zonsopgang tot zonsopgang
c) dagdeel 3 is de morgen en loopt van zonsopgang tot 11 uur in de morgen
d) dagdeel 4 is de middag en loopt van 11uur in de morgen tot zonsondergang

Bij het gebruik van twee dagdelen na half mei, waarbij de dagdelen 1 & 2 en de dagdelen 3 & 4 zijn samengevoegd, loopt de nacht van zonsondergang tot zonsopgang en de dag van zonsopgang tot zonsondergang
Bij het gebruik van drie dagdelen (waar dagdeel 2 & dagdeel 3 zijn samengevoegd) loopt de nanacht van 3 uur voor zonsopgang tot 2 uur na zonsopgang

Voor het tweede meetseizoen eind december 1996 – november 1997 zijn geen wijzigingen aan het verwarmingssysteem doorgevoerd. In dit meetseizoen is gekozen voor een proef in tweevoud. In tabel 2.1.3 is een overzicht gegeven van de gebruikte buisliggingen in het meetseizoen 1996 - 1997.

Tabel 2.1.3 Gebruikte buisliggingen in het tweede meetseizoen december 1996 – november 1997

Hoogte buisrail (m)	Hoogte groeibuis (m)	Afdeling
0,15	0,4	2
0,15	2,0	4
0,15	2,0	6
0,15	0,4	8

De gebruikte klimaatinstellingen zijn vrijwel gelijk aan die van het eerste meetsizoen, tabel 2.1.2 (eerste teeltjaar), met als verschil dat er geen nanacht- maar een voornachtverlaging wordt toegepast en de maximumbuistemperatuur van de groeibuis jaarrond op 45 °C is ingesteld. Als de warmtevraag groter wordt dan de maximaal door het groeinet te leveren warmte, zal ook het ondernet worden ingeschakeld.
De voornacht periode is van zonsondergang tot 3 uur na zonsondergang en de nanacht van 3 uur na zonsondergang tot zonsopgang. Er is tot 1 juli geen minimumbuistemperatuur of minimumraamstand gebruikt.

2.1.2 Teeltwaarnemingen

In beide teeltjaren is gebruik gemaakt van de cultivar Aromata. Het eerste teeltjaar is 25 januari 1996 gestart en geëindigd op 8 november 1996. Het tweede teeltjaar is 12 december 1996 geplant en is op 3 november 1997 beëindigd. In elke afdeling stonden 20 rijen van 30 planten. De plantafstand was 45 cm, een plantdichtheid van 2,77 plant per m^2. Door deze hoge plantdichtheid zijn er tijdens de teelten geen extra stengels aangehouden. In elke afdeling werden 4 rijen van 10 planten, 2 rijen onder de goot en 2 rijen onder de nok, gebruikt voor waarnemingen aan groei en productie.
Om de effecten van verschillende buisliggingen op de groei en bloeisnelheid betrouwbaar te kunnen aantonen zijn de proefvakken op onderling vergelijkbare plaatsen in de afdelingen aangelegd.

Gewas

Tijdens het stookseizoen is een aantal malen het bladoppervlak per trossectie bepaald door middel van destructieve oppervlakte metingen. Vanuit deze metingen zijn de verdeling van het bladoppervlak in verticale richting en de totale LAI berekend.
Tot het einde van de teelt is in beide proeven de ontwikkeling in lengte en bloeisnelheid van de planten in de proefvakken vastgelegd.

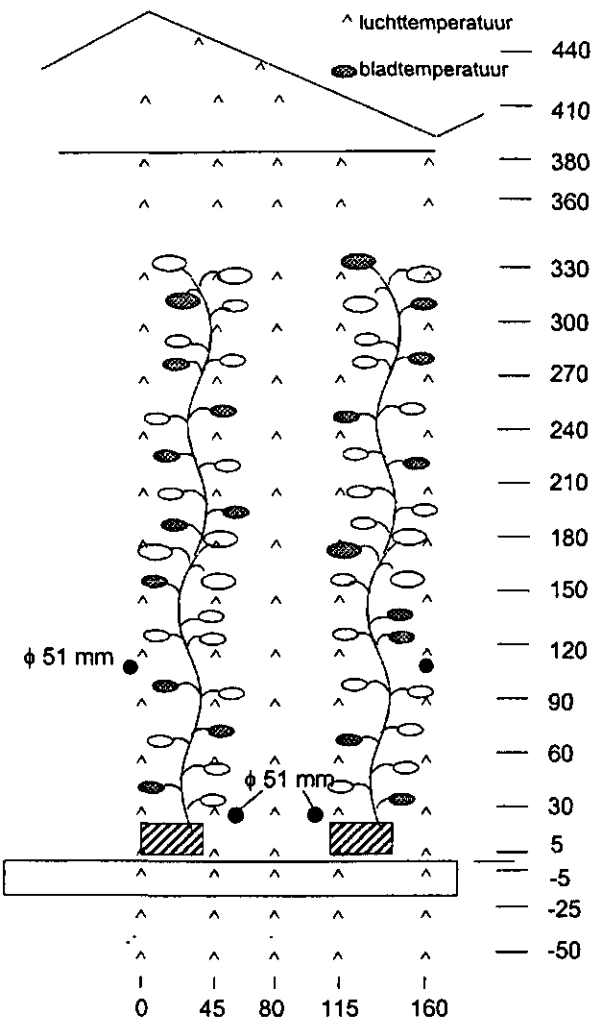
Productie

Tijdens de teelt is in de proefrijen de productie bijgehouden. Hierbij zijn in alle afdelingen de gegevens van elke rij afzonderlijk verzameld. Bij de opbrengstcijfers is onderscheid gemaakt in exportkwaliteit (klasse 1), binnenland (klasse 2) en neusrot.

2.1.3 Klimaatwaarnemingen

In geventileerde meetboxen is op 3 hoogten, respectievelijk 0,5; 1,5 en 2,5 meter, de lucht- en natteboltemperatuur gemeten. Met de meetbox op 1,5 meter is het klimaat geregeld. Met behulp van thermokoppels is op 94 plaatsen de lucht- bodem- buis- en glastemperatuur gemeten. Tevens is op 60 plaatsen de bladtemperatuur gemeten.
De metingen aan lucht- en bladtemperatuur zijn in de nacht uitgevoerd omdat:

- met het gebruikte meetsysteem overdag als gevolg van instraling van direct zonlicht met name de betrouwbaarheid van de luchttemperatuurmetingen in het geding zijn
- bij instraling van zonlicht al snel wordt gelucht waardoor grote ondefinieerbare luchtstromingen in de kasafdeling ontstaan die de verticale luchttemperatuur opbouw verstoren
- bij directe instraling van zonlicht de buistemperatuur al snel zal wegzakken waardoor de effecten van buisligging op het gewas zullen nivelleren

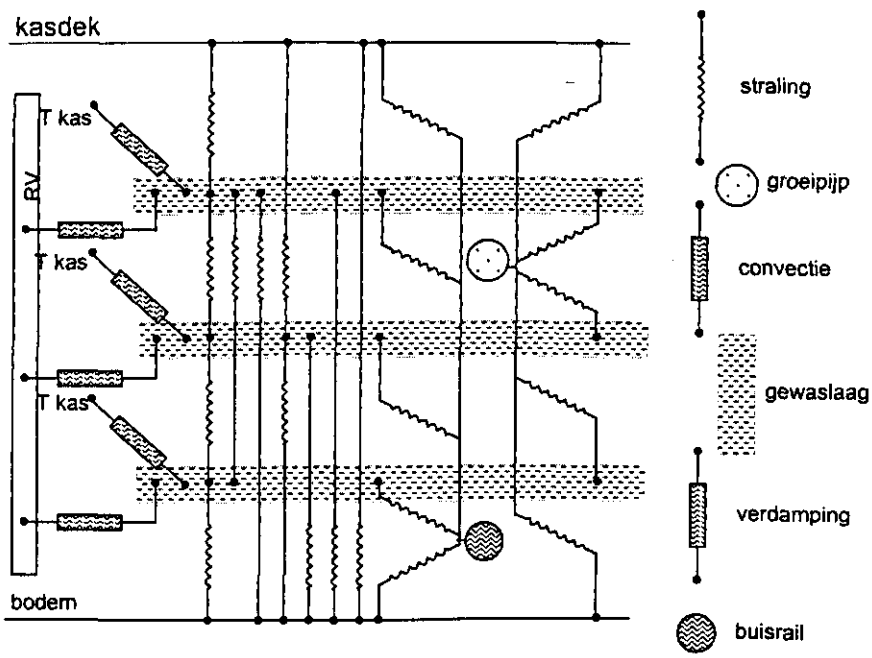


Figuur 2.1.2 Locatie lucht en bladtemperatuur-metingen

In figuur 2.1.2 is een overzicht gegeven van de locaties waar de lucht- en planttemperaturen zijn gemeten. De thermokoppels zijn in het verticale vlak in een halve kap verdeeld. De thermokoppels zijn niet voor straling afgeschermd zodat de (bruikbare) waarnemingen met dit meetsysteem tot de nacht beperkt zijn. Ook de buistemperaturen van zowel het buisrailsysteem als het groeinet zijn gemeten op de plaats waar de verwarmingsbuizen door het meetvlak liepen. De glastemperatuur is op 2 plaatsen gemeten. De temperaturen zijn met behulp van een dataloggersysteem (acurex) gemeten en via het datanet van het PBG (Bakker *et al.*,1988) op de centrale computer overgezet.
Daarnaast is voor de klimaatwaarnemingen gebruik gemaakt van de voor de klimaatregeling noodzakelijke sensoren en gegevens, zoals setpointtemperaturen, raamstanden, CO_2-niveaus en buistemperaturen. In het teeltjaar 1996 zijn tevens een beperkt aantal vruchttemperatuur metingen uitgevoerd.

2.2 MODELVORMING

Er is een tweedimensionaal lagenmodel gemaakt van een kas met gewas. Dit model bestaat uit een toplaag die het dek van de kas representeert, en een bodemlaag voor de grond van de kas en ertussen een aantal lagen (maximaal 9) die het tomatengewas en de kaslucht voorstellen. De verwarmingsbuizen worden gerepresenteerd door twee objecten die tussen de gewaslagen liggen; één voor het buisrailsysteem en één voor de groeibuizen. Voor elke tros worden de bijbehorende bladeren gerepresenteerd door een gewaslaag. Hierbij wordt het blad bij de bovenliggende tros geteld. De porositeit van deze gewaslagen is afhankelijk van het bladoppervlak van de trossectie die bij deze laag hoort. De kaslucht is opgedeeld in een zelfde aantal lagen als het gewas.
In figuur 2.2.1 is het model schematisch met voor de eenvoud 3 gewaslagen weergegeven.
De uitwisseling van warmte en vocht tussen de lagen wordt in de volgende paragrafen beschreven.



Figuur 2.2.1 Vereenvoudigde schematische weergave thermisch gewasmodel met 3 gewaslagen

2.2.1 Stralingsuitwisseling

Er is een apart computerprogramma ontwikkeld om de stralingsuitwisselingen tussen de verschillende lagen te bepalen, afhankelijkheid van het aantal lagen, de bladverdeling, de bladhoogte boven de grond, de onderlinge afstand tussen de lagen en de positie van de verwarmingsbuizen ten opzichte van gewas, bodem en dek.
Eerst worden de onderlinge viewfactoren berekend. De viewfactor, F_{ij}, is een getal dat aangeeft welk deel van de straling uitgezonden door object i (bijvoorbeeld de groeibuis) direct wordt opgevangen door object j (bijvoorbeeld het blad).
De stralingsflux, uitgezonden door een oppervlak i wordt bepaald door de emissiefactor (ε_i), oppervlak (A_i) [m^2] en temperatuur (T_i) [K]. De fractie van de straling (direct van i) die door oppervlak j wordt geabsorbeerd is $F_{ij}\varepsilon_j$. Oppervlak j ontvangt ook indirect straling van i, via reflecties aan de oppervlakken k. B_{ij} is de absorptiefactor die de fractie weergeeft van alle straling van oppervlak i die wordt geabsorbeerd door oppervlak j. Deze absorptiefactor kan voor niet transparante oppervlakken worden geschreven als (Vollebregt and Van de Braak, 1994)

$$B_{ij} = F_{ij}\,\varepsilon_j + \Sigma_k F_{ik}\,(1-\varepsilon_k)\,B_{kj} \qquad [-] \qquad (1)$$

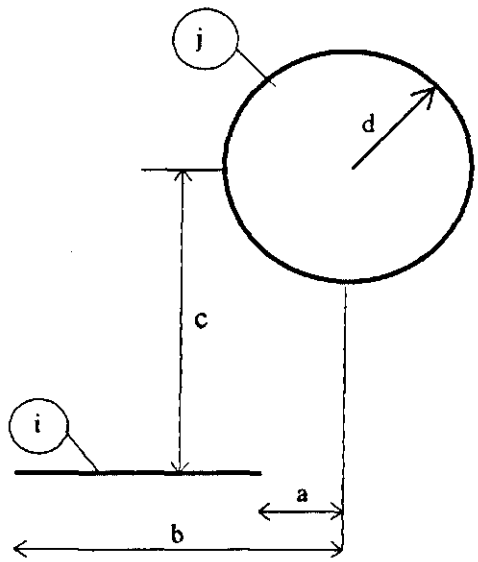
Waarin Σ_k de som is van de reflecties aan alle oppervlakken (k) naar j.
De netto stralingsuitwisseling q [W] tussen de oppervlakken i en j kan worden geschreven als

$$q_{ij} = \varepsilon_i A_i B_{ij} \sigma (T_i^4 - T_j^4) \qquad [W] \qquad (2)$$

Waarin σ de Stefan-Boltzman constante is [5,67 10^{-8} $W.m^{-2}.K^{-4}$] en de term $\varepsilon_i A_i B_{ij}$ [m^2] de stralingsuitwisselingsfactor of stralingskoppeling wordt genoemd. Als ε_i hoog is, zoals vaak het geval is in kassen, kan de tweede term van vergelijking (1) worden verwaarloosd en wordt B_{ij} gelijk aan $\varepsilon_j F_{ij}$.
De viewfactoren tussen de verschillende lagen(i) en de verwarmingsbuizen (j) worden berekend door:

$$F_{ij} = (\mathrm{atan}((Z/X) - \mathrm{atan}(Y/X))/(Z - Y) \quad [-] \qquad (3)$$

Met X = c/d, Y = a/d en Z = b/d waarin a, b, c en d de afmetingen zijn zoals weergegeven in figuur 2.2.2.
Aan elke zijde van een verwarmingspijp zijn in de berekening vijf gewasrijen meegenomen. In figuur 2.2.3 is een overzicht gegeven van de oppervlakten en nummering van de gewasrijen en de vlakverdeling voor de berekening van de viewfactor tussen vlakken en pijpen.

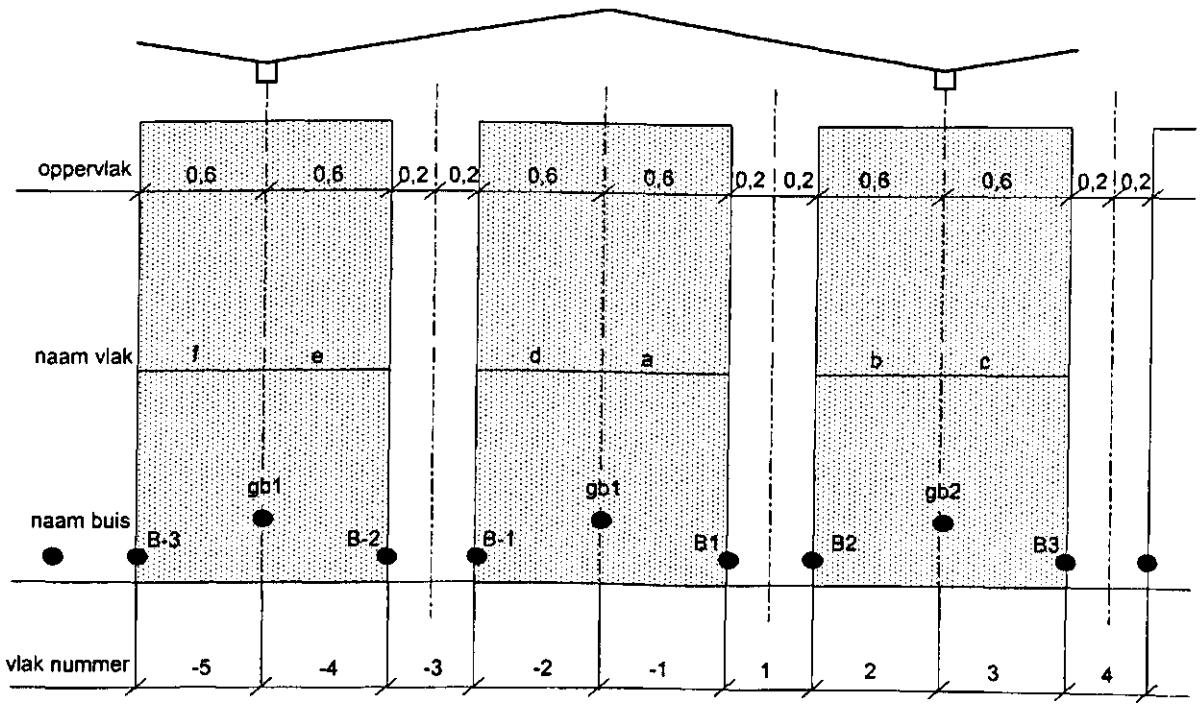


Figuur 2.2.2 Configuratie voor viewfactor berekening vlak i naar pijp j

De viewfactoren tussen de gewaslagen worden berekend door de leaf area index (LAI [-]) van de individuele lagen als stralingsonderscheppende oppervlakken te zien. Zo is bijvoorbeeld de viewfactor van de bodem naar de vierde gewaslaag:

$$F_{bodem,gewas4} = (1-LAI_{c1})\,(1-LAI_{c2})\,(1-LAI_{c3})\,LAI_{c3} \qquad [-] \qquad (4)$$

Waarin LAI_{cx} de Leaf Area Index van gewaslaag x is.



Figuur 2.2.3 Gewasrijen en vlakverdeling voor viewfactor berekening tussen vlakken en pijpen

De resulterende viewfactoren tussen de gewaslagen worden gecorrigeerd, waarbij rekening gehouden wordt met de viewfactoren naar de verwarmingspijpen. Daarbij wordt gebruik gemaakt van de eigenschap dat de som van alle viewfactoren van een oppervlak gelijk is aan 1.

2.2.2 Convectie

De convectieve warmteoverdracht tussen een bladlaag i en de omringende lucht wordt gegeven door

$$q_{ic} = \alpha\ 2\ LAI\ (T_i - T_{lucht}) \qquad [W] \qquad (5)$$

Waarin de warmteoverdrachtscoëfficiënt α [$W.m^{-2}.K^{-1}$] tussen de kaslucht en gewas voor elke individuele lucht-gewaslaag bepaald wordt volgens Stangellini (1987):

$$\alpha = \rho\ c_p\ r_e^{-1} \qquad [W.m^{-2}.K^{-1}] \qquad (6)$$

De externe weerstand r_e [$m.s^{-1}$] hierin is gelijk aan:

$$r_e = 1174\ L^{0,5}\ (L\ |\ T_{gewas} - T_{lucht}\ |\ + 207u^2)^{-0,25} \qquad [m.s^{-1}] \qquad (7)$$

L is de karakteristieke lengte [m] van de bladeren in een gegeven laag (tussen 1 en 7 cm) en de luchtsnelheid (u [$m.s^{-1}$]) voor bladeren onder de verwarmingsbuizen is geschat op 0,05 $m.s^{-1}$ en boven de verwarmingspijpen op 0,15 $m.s^{-1}$ (Stanghellini, 1987).

2.2.3 Verdamping

De uitwisseling van latente warmte q_{il} [W] naar de kas door verdamping voor elke gewaslaag wordt berekend met de algemene formulering van Stanghellini (1987):

$$q_{il} = 2\ LAI_i\ \rho\ c_p\ \Delta p\ (\gamma(r_i+r_e))^{-1} \qquad [W] \qquad (8)$$

Waarin r_i [$m.s^{-1}$] de interne bladweerstand is en Δp [Pa] het dampdrukdeficiet.
De volgende parameters zijn voor de nachtcondities gebruikt:

$$r_i = 685,5\ r_{\Delta p}\ r_t\ r_{co2} \qquad [m.s^{-1}] \qquad (9)$$

$$r_{\Delta p} = \text{minimum van } (3,8 \text{ en } (1 + 5,2\ 10^{-6}\ \Delta p^2)) \qquad [m.s^{-1}] \qquad (10)$$

$$r_t = 1 + 0,005\ (T_{gewas}-273,15-33,6)^2 \qquad [m.s^{-1}] \qquad (11)$$

$$r_{co2} = 1+1,11\ 10^{-11}\ (CO_2-200)^2 \qquad [m.s^{-1}] \qquad (12)$$

Waarin T_{gewas} [K] de bladtemperatuur en CO_2 de kooldioxideconcentratie [ppm] in de kaslucht.

2.2.4 Energiebalansen

Het model gebruikt de temperaturen van de bodem, dak, kaslucht, verwarmingsbuizen en de gemiddelde vochtigheid van de kaslucht als randvoorwaarden. Via de energiebalansen van de gewaslagen, waarin de verdamping, convectieve warmteoverdracht en stralingsuitwisseling zijn opgenomen wordt de verticale temperatuurverdeling in het gewas berekend. Deze heeft voor laag i de vorm:

$$\Sigma_i\ q_{ij} + q_{ic} + q_{il} = 0 \qquad [W] \qquad (13)$$

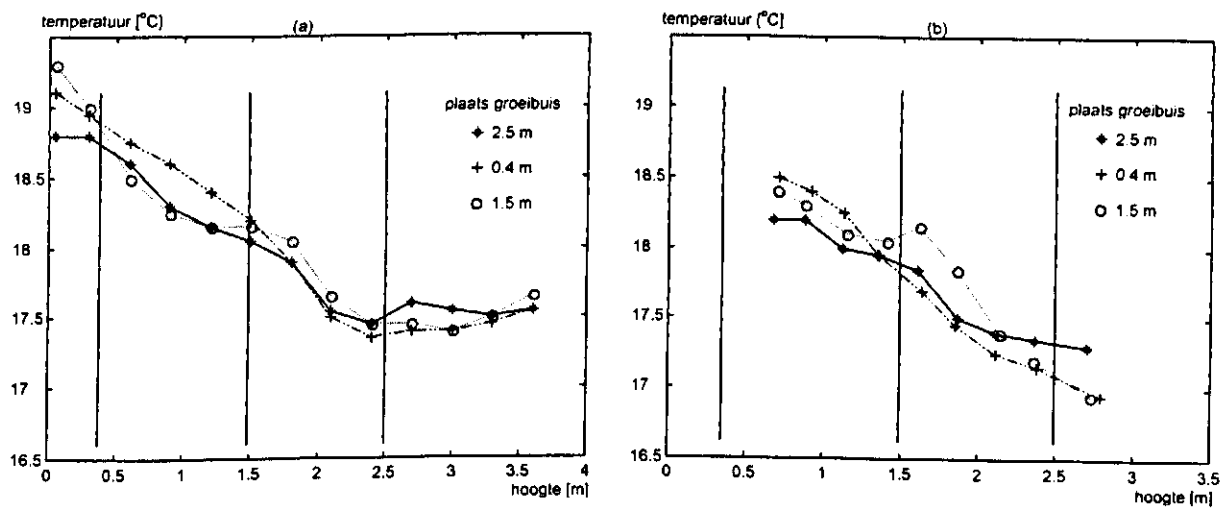
3 Resultaten

3.1 KASKLIMAAT

Uit de temperatuurmetingen van de nachtperioden is voor een aantal representatieve datasets uit 1996 een gemiddelde berekend van de lucht- en gewastemperaturen op de verschillende hoogten over periodes van een week.(de periode waarin de buis op een bepaalde hoogte heeft gehangen) In figuur 3.1.1 (a en b) zijn de gemiddelde lucht- en gewastemperaturen van respectievelijk de buishoogten 0,4; 1,5 en 2,5 meter weergegeven als functie van de hoogte.

Luchttemperatuur in de nacht

De luchttemperatuur wordt minder direct beïnvloed door de ligging van de verwarmingsbuizen dan de bladtemperatuur.



Figuur 3.1.1 Gemeten luchttemperatuurverdeling (a) en blad temperatuurverdeling (b) voor 3 groeibuisposities

In figuur 3.1.1a zijn de gemeten luchttemperaturen bij de 3 groeibuisliggingen weergegeven. De luchttemperatuur neemt van beneden naar boven geleidelijk af tot een hoogte van ongeveer 2 meter. Daarboven is de luchttemperatuur vrijwel constant. Dit komt door de gewasopbouw van de tomatenplant. De bovenste meter van het gewas heeft naar verhouding weinig blad. Daardoor kan de lucht boven een hoogte van 2 meter goed opmengen en is boven deze hoogte een vrijwel constante luchttemperatuur aanwezig. Dit in tegenstelling tot de bladtemperatuur die, zoals uit figuur 3.1.1b blijkt, wel bij een toenemende hoogte in temperatuur blijft dalen. Het bovenste deel van de plant zal meer uitstraling naar het koude kasdek hebben, en daardoor ook lager in temperatuur zijn.
Zoals uit figuur 3.1.1a blijkt zijn er verschillen in luchttemperatuur op verschillende hoogten. De hoogte van de meetbox heeft veel invloed op het uiteindelijk gerealiseerde klimaat. Afhankelijk van een gewenste temperatuur voor een bepaald plantonderdeel moet de meetbox dus op de juiste hoogte worden opgehangen.
De stralingswarmte heeft in de directe omgeving van een verwarmingsbuis nauwelijks invloed op de luchttemperatuur. Door de warme buis zal de lucht daar juist in beweging worden gebracht en opmengen met koudere lucht, waardoor de luchttemperatuur in de omgeving van de buis nauwelijks toeneemt. Denk hierbij aan een blad dat daadwerkelijk contact met een verwarmingsbuis moet maken om zichtbare schade (bladverbranding) te ondervinden. Het blad zal wel warmer worden door de

straling die de verwarmingsbuis afgeeft. Dit wordt gecompenseerd doordat het blad extra gaat verdampen. Daarnaast wordt de opgenomen warmte door het blad ook weer afgegeven aan de omgeving, waarmee zowel de omringende lucht als bladlagen worden bedoeld.

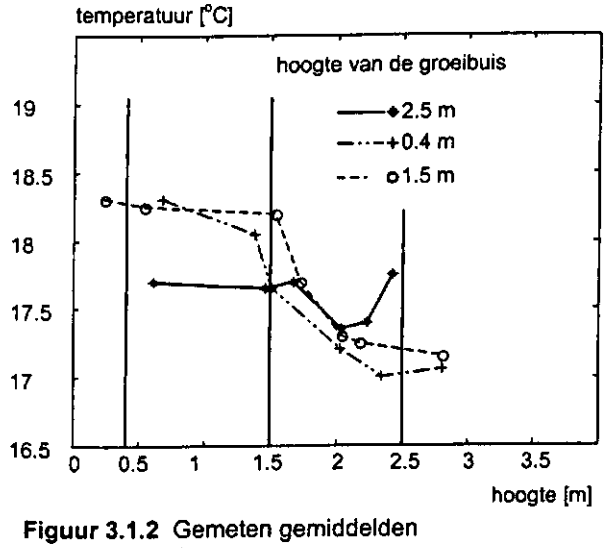
Planttemperatuur in de nacht

In figuur 3.1.1b zijn de gemeten bladtemperaturen bij 3 groeibuisliggingen weergegeven. Een vergelijking met figuur 3.1.1a maakt duidelijk dat de bladtemperatuur 's nachts altijd lager ligt dan de luchttemperatuur. In het gewas ontstaat een temperatuurverschil, dat kan oplopen tot 1,5 °C tussen de laagste bladeren en de kop van het gewas bij de groeibuisligging op een hoogte van 0,4 m. Hierbij moet wel gerealiseerd worden dat de hoogte van de laagste bladeren in de loop van het teeltseizoen door gewasonderhoud als bijvoorbeeld bladplukken, sterk in hoogte kan variëren. De gerealiseerde kasluchttemperatuur op 1,5 m hoogte was 18.2 °C, bij een gerealiseerde groeibuistemperatuur van ongeveer 45 °C. Er is voornamelijk een grote invloed van de groeibuis op de bladtemperatuur te zien bij een groeibuishoogte van 1,5 m. Dit komt doordat de bladdichtheid (LAI) op deze hoogte het grootst is. Vrijwel alle stralingsenergie die de groeibuis afgeeft zal door de direct omringende bladlagen worden opgenomen. Ligt de groeibuis hoger, bijvoorbeeld op 2,5 m, dan is het temperatuureffect op de bladtemperatuur in de directe omgeving van de buis kleiner, doordat het gewas op deze hoogte veel opener van structuur is. (zie ook sectie 3.2.1 bladoppervlak) In deze situatie, met de groeibuis op een hoogte van 2,5 m, gaat zelfs een deel van de stralingswarmte van de buis direct naar het kasdek.

Door de lokaal hogere temperatuur van het blad, zal het gewas ook extra verdampen. Zonder deze extra verdamping zou de bladtemperatuur hoger kunnen zijn, dan nu is gemeten. Immers door de toegenomen verdamping wordt het blad afgekoeld. Hoeveel extra verdamping lokaal door de hogere bladtemperatuur ontstaat is niet gemeten. Met behulp van een model is deze verdamping wel te berekenen. (zie sectie 3.4.3)
In de onderste bladlagen zijn vrijwel geen bladtemperatuurverschillen (< 0,4 °C) tussen de behandelingen. Dit heeft als reden dat ook bij de afwezigheid van de groeibuis onder in het gewas, toch de meeste warmte onder in de kas ingebracht wordt door het buisrailsysteem.
Het aandeel van de groeibuis in de totale verwarmingscapaciteit blijft beperkt door de omvang en het aantal buizen van dit verwarmingsnet. Doordat het groeibuisnet als primair net is gebruikt, is in deze proef ongeveer 50% van alle warmte door het groeibuisnet ingebracht.
Bij gelijke buistemperatuur van zowel groeibuis als buisrail wordt bij 2 maal ø 51 mm groeibuizen en 4 maal ø 51 mm buisrail maar 33% van de totale warmte door de groeibuizen ingebracht.

Vruchttemperaturen

De lucht- en gewastemperaturen van figuur 3.1.1 a en b zijn alleen in de nacht gemeten omdat bij de gebruikte meettechniek straling van de zon de metingen beïnvloedt (sectie 2.1.3). Bij vruchttemperatuurmetingen is er geen invloed van de zon op de meetsensor omdat deze in de vrucht is gestoken.
Om een indruk te krijgen hoe de verticale temperatuurverdeling doorwerkt in de vruchttemperaturen is op verschillende hoogten de temperatuur in de kern van de vrucht (tomaat) gemeten. In figuur 3.1.2 zijn de gemiddelde vruchttemperaturen voor drie hoogten van de groeibuis weergegeven. Bij de groeibuisligging van 1,5 en 2,5 m heeft tijdens deze metingen geen vruchten onder een hoogte van 0,6 m gehangen.
Bij de hoge buisligging is er weinig temperatuurverschil tussen vruchten die hoog en laag hangen. Bij de lage



Figuur 3.1.2 Gemeten gemiddelden vruchttemperaturen

buisligging kan dit verschil oplopen tot 1,3 °C. De temperatuurverlopen zijn dus vergelijkbaar met de bladtemperaturen.
Uit de vruchttemperatuurmetingen is verder naar voren gekomen dat vruchttemperaturen door weersinvloeden sterk kunnen variëren. In de kop van de plant kunnen bij een buitentemperatuur in de nacht van 6,5 °C met een heldere hemel, zodat er sprake is van forse uitstraling, de vruchttemperaturen dalen tot ongeveer 16 °C, terwijl de gerealiseerde kasluchttemperatuur 17,5 °C was. Overdag kan de vruchttemperatuur in de kop oplopen tot ruim 29 °C bij een gerealiseerde kasluchttemperatuur van 23 °C. Dit bij een buitentemperatuur van 18 °C en een globale straling van 780 W/m^2.
In de kop van het gewas ontstaan dus onafhankelijk van de groeibuisligging en buistemperatuur grote temperatuurvariaties in de vruchten, die op kunnen lopen tot 13 °C (dag / nacht situatie) terwijl de vruchten op een hoogte van 0,4 meter een temperatuurtraject van 7 °C doorlopen.

In tabel 3.1.1 zijn de gemiddelde luchttemperatuur en luchtvochtigheid in de periode 14 maart – 5 juni 1996 op 3 hoogten in de kas weergegeven. Dit is gedaan voor de afdelingen 2, 6 en 8 omdat in afdeling 4 vanwege de experimenten de groeibuisligging wekelijks is aangepast.

Tabel 3.1.1 Gerealiseerde gemiddelde luchttemperatuur en luchtvochtigheid in de periode 14 maart – 5 juni 1996 op 3 hoogten in de afdelingen met een vaste buisligging.

		luchttemperatuur [°C]			luchtvochtigheid [%]		
afdeling	hoogte groeibuis meetbox	0,5	1,5	2,5	0,5	1,5	2,5
2	0,4	20,0	18,6	18,9	78,8	81,6	79,7
6	2,0	19,1	18,6	18,7	81,4	83,1	81,4
8	1,5	18,5	18,7	18,4	81,2	80,7	79,2

In de tabellen 3.1.2 tot en met 3.1.4 zijn de RV's, vochtgehalten en luchttemperaturen weergegeven zoals gemeten in seizoen '96/'97 met behulp van de meetboxen die op drie hoogten (0.5, 1.5 en 2.5 m) zijn aangebracht. Uit deze metingen blijkt dat in de afdelingen 4 en 6 op een halve meter hoogte de luchttemperatuur achterblijft. Omdat de groeibuis, die in deze afdelingen op een hoogte van 2 meter ligt, primair wordt gestookt, zal er minder warmte via het laaggeplaatste buisrail net worden ingebracht. Hierdoor wordt de kaslucht minder opgemengd waardoor het onder in de afdelingen ongeveer 0,7 °C kouder blijft. Op een hoogte van 1,5 meter is dit verschil weer opgeheven, wat ook te verwachten is omdat het klimaat met behulp van de meetboxen op deze hoogte is geregeld. Er is geen tot weinig verschil in de gerealiseerde vochtgehalten. In afdeling 8 is het vochtniveau gemiddeld iets lager. Dit kan een gevolg zijn van het meer moeten stoken in deze afdeling als gevolg van de kassituering.

Tabel 3.1.2 Gerealiseerde gemiddelde luchtvochtigheid in de periode 24 januari – 20 juni 1997 op 3 hoogten

		rv dag en nacht [%]			rv nacht [%]		
afdeling	hoogte groeibuis meetbox	0,5	1,5	2,5	0,5	1,5	2,5
2	0,4	81,9	82,0	82,0	81,3	81,3	81,4
4	2,0	83,0	82,4	81,9	82,5	81,7	81,9
6	2,0	83,5	83,5	81,8	82,6	82,7	81,4
8	0,4	79,7	81,4	80,2	78,3	79,7	79,4

Tabel 3.1.3 Gerealiseerde gemiddelde vochtgehalten in de periode 24 januari – 20 juni 1997 op 3 hoogten

		vochtgehalte dag en nacht [kg/kg]			vochtgehalte nacht [kg/kg]		
afdeling	hoogte meetbox groeibuis	0,5	1,5	2,5	0,5	1,5	2,5
2	0,4	0,0115	0,0111	0,0114	0,0104	0,0099	0,0101
4	2,0	0,0111	0,0112	0,0112	0,0100	0,0099	0,0099
6	2,0	0,0113	0,0113	0,0114	0,0102	0,0101	0,0101
8	0,4	0,0112	0,0110	0,0111	0,0101	0,0097	0,0097

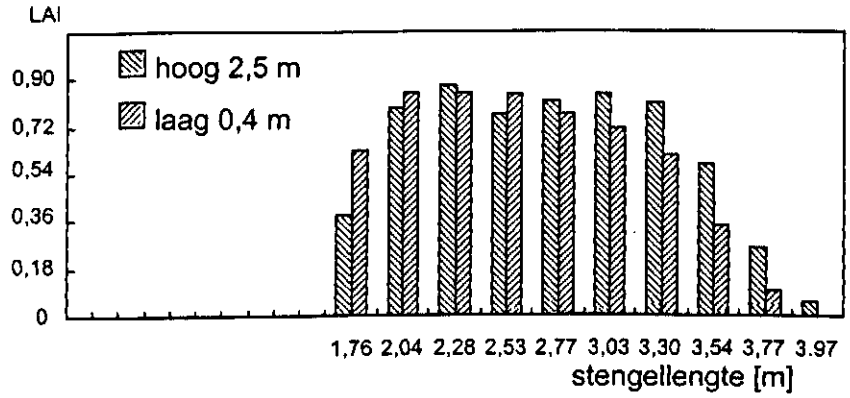
Tabel 3.1.4 Gerealiseerde gemiddelde luchttemperaturen in de periode 24 januari – 20 juni 1997 op 3 hoogten

		luchttemperatuur dag en nacht [°C]			luchttemperatuur nacht [°C]		
afdeling	hoogte meetbox groeibuis	0,5	1,5	2,5	0,5	1,5	2,5
2	0,4	19,2	18,6	19,0	17,8	17,1	17,4
4	2,0	18,4	18,6	18,8	17,0	17,1	17,1
6	2,0	18,6	18,6	19,0	17,3	17,1	17,4
8	0,4	19,2	18,6	18,9	18,0	17,1	17,2

3.2 GEWASREACTIES

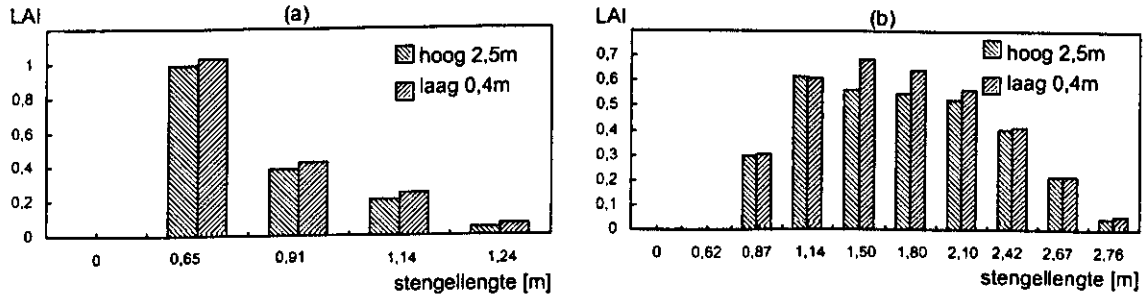
3.2.1 Bladoppervlakte

In de grafiek van figuur 3.2.1 is de gemiddelde LAI per trossectie weergegeven, zoals deze gemeten is op 30 mei 1996 bij hoge en lage buisligging.



Figuur 3.2.1 LAI per tros op 30 mei 1996

In figuur 3.2.2 (a) en (b) staan de gemeten waarden over 1997, gemeten op 28 januari en 7 maart 1997 bij hoge en lage buisligging.
In 1996 blijkt bij de bepaling op 30 mei dat bij stoken met een hoge buisligging het gewas bij de hoger gelegen trossen meer blad heeft. Deze planten waren ook iets vóór in bloei. De totale LAI komt ook iets hoger uit, namelijk 4,75 bij de hoge buisligging ten opzichte van 4,38 bij de lage buisligging.
In figuur 3.2.1 en 3.2.2 is de hoogte van de betreffende tros aangegeven als stengellengte. Deze is gemeten vanaf de bovenkant van de pot tot de betreffende trossectie. Voor de omrekening naar een absolute hoogte in de kas kan er van worden uitgegaan dat de kop van het gewas (indien de gewasdraad bereikt is) op een hoogte van 3 à 3,25 meter zit.
De totale LAI op 28 januari en 7 maart 1997 ligt bij de afdeling met hoge buisligging iets lager, doordat er onderin meer blad is weggeplukt. De eerste twee trossecties hebben een vrij lage LAI. Dit zal vooral veroorzaakt worden door wegplukken van blad. Het bladoppervlak in het midden van de plant is voor de verschillende trossecties nagenoeg constant. In de 3 hoogste trossecties neemt het bladoppervlak met de hoogte sterk af.
De LAI-bepalingen in 1997 laten een ander beeld zien. Bij de bepalingen op 7 maart heeft het gewas bij de hoge buisligging middenin minder blad dan bij de lage buisligging, terwijl het in de kop en



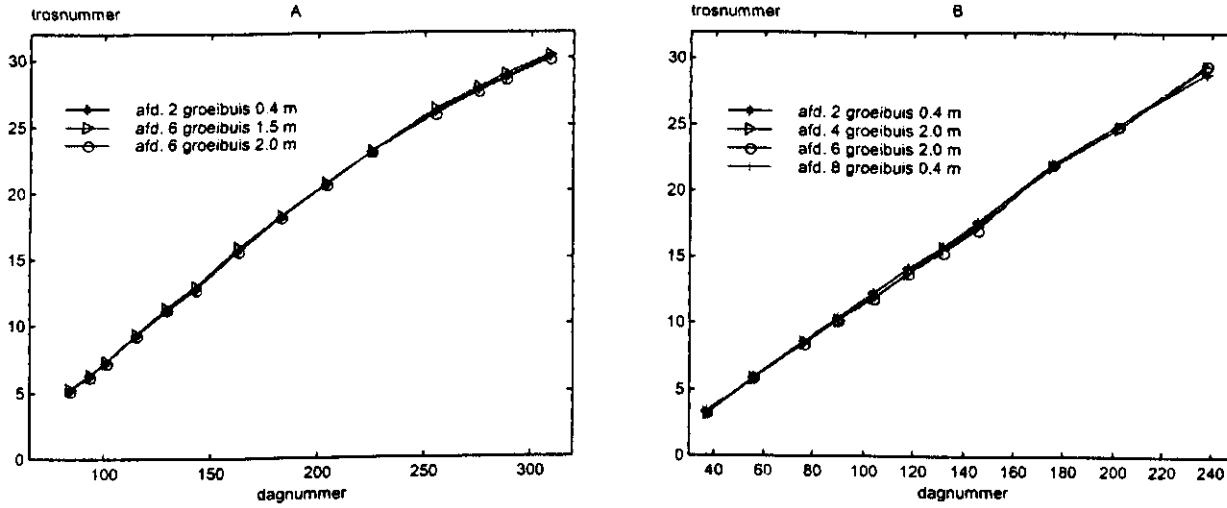
Figuur 3.2.2 LAI per tros op 28 januari 1997 (a), en 7 maart 1997 (b)

onderin het gewas vrijwel gelijk is. Ook de totale LAI is bij de hoge buisligging lager; 3,21 ten opzichte van 3,48 bij de lage buisligging, wat niet veroorzaakt kan zijn door het wegplukken van blad. Ook bij de LAI bepaling op 28 januari is er in de afdelingen met lage buisligging meer blad aanwezig,

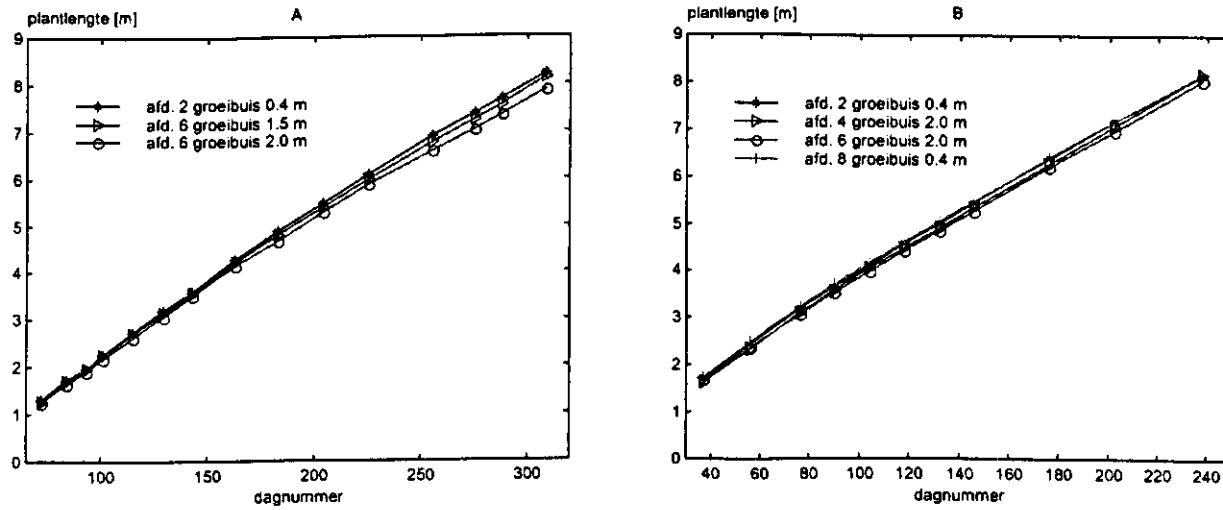
LAI=1,77 tegen 1,62 bij de hoge buisligging. De wisselende verschillen in LAI tussen deze twee jaren wijzen op een niet consistente invloed van de buisligging op de bladopbouw.
De groeisnelheid van vegetatieve delen is moeilijk te bepalen. Eerder onderzoek wijst op een afname van vegetatieve groei bij een stijging van temperatuur. (de Koning,1994) De gerealiseerde temperatuurstijging in de omgeving van de groeibuis en de beinvloedingszone van de groeibuis zijn waarschijnlijk dermate klein geweest dat er geen consistente invloed van de buisligging op de bladopbouw is gevonden.

3.2.2 Lengte en bloei

Tijdens de proef is de bloeisnelheid (figuur 3.2.3. (a) en (b)) en de plantlengteontwikkeling (figuur 3.2.4 (a) en (b))gevolgd. In 1996 zijn deze metingen van 14 maart tot 6 november gedaan. In 1997 is dit van 6 februari tot 27 augustus gebeurd. Hoewel de verwachting was dat bij verwarming hoog in het gewas de planten meer zouden strekken is dit niet duidelijk uit de metingen gebleken. In 1996 was het gewas bij hoge buisligging aanvankelijk een tros verder in ontwikkeling. Aan het eind van het stookseizoen was er echter geen enkel verschil meer. Bij de herhaling in 1997 waarbij de behandelingen in tweevoud zijn uitgevoerd, konden ook geen verschillen worden aangetoond.



Figuur 3.2.3 Bloei kas 306 1996 afd. 2, 6 en 8 (a) en bloei 306 afd. 2, 4, 6, 8 1997 (b)



Figuur 3.2.4 Plantlengteontwikkeling in 1996 (a) en plantlengteontwikkeling in 1997 (b)

Eerder onderzoek heeft aangetoond dat de bloeisnelheid afhankelijk is van de temperatuur.(de Koning,1994) Bij een hogere kastemperatuur neemt de bloeisnelheid bijna rechtevenredig toe met de temperatuurstijging van de kaslucht. Een kleine lokale temperatuurstijging tijdens een gedeelte (stookseizoen) van de teeltperiode is onvoldoende gebleken om extra trossen te verkrijgen

3.2.3 Productie

De totale productie over 1996 (tabellen 3.2.1 t/m 3.2.3 en 3.2.7) ligt lager dan gebruikelijk doordat de teelt later is gestart. Hoewel er geen verschillen in plantontwikkeling zijn ligt de uiteindelijke productie bij behandeling 1 (groeibuis laag) van 38,8 kg/m^2, 6 tot 8% lager dan bij de behandelingen met hogere buisliggingen (41,09 kg/m^2 resp. 42,06 kg/m^2). Dit komt door een kleiner aantal vruchten en een lager vruchtgewicht. Het is waarschijnlijk dat bij er bij een hoge buisligging soms betere condities voor een optimale bestuiving ontstaan, waardoor er meer vruchten te verwachten zijn bij hoge buisligging. Het aandeel klasse 2 en neusrot is in alle behandelingen laag.
In de afdeling met hoge buisligging is in juli / augustus een zwaardere aantasting van mineervlieg geweest dan in de andere afdelingen. Mogelijk heeft dit een gering nadelig effect op de productie gehad.

Tabel 3.2.1 Productiegegevens 1996 klasse 1

	stuks klasse 1 [n.m^{-2}]			gewicht klasse 1 [kg.m^{-2}]			vruchtgewicht klasse 1 [gr]		
buishoogte	nok	goot	gemiddeld	nok	goot	gemiddeld	nok	goot	gemiddeld
0,4 m	420,7	416,4	418,5	36,91	36,72	36,81	88	88	88
1,5 m	448,1	440,3	444,2	39,42	39,38	39,40	88	89	89
2,0 m	452,1	433,9	443,0	40,36	39,88	40,12	89	92	91
gemiddeld	440,3	430,0	435,2	38,9	38,7	38,8	88,3	89,7	89,3

Tabel 3.2.2 Productiegegevens 1996 klasse 2 en de totale productie

	stuks klasse 2 [n.m^{-2}]			gewicht klasse 2 [kg.m^{-2}]			totaal gewicht [kg.m^{-2}]		
buishoogte	nok	goot	gemiddeld	nok	goot	gemiddeld	nok	goot	gemiddeld
0,4 m	26,4	33,1	29,7	1,57	1,60	1,58	39,02	38,59	38,80
1,5 m	24,2	26,3	25,2	1,19	1,16	1,18	41,28	40,91	41,09
2,0 m	28,1	31,4	29,7	1,46	1,94	1,70	42,08	42,04	42,06
gemiddeld	26,2	30,3	28,2	1,41	4,57	1,49	40,79	40,51	40,65

Tabel 3.2.3 Productiegegevens 1996 percentage klasse 2 en neusrot

	procent klasse 2			procent neusrot		
buishoogte	nok	goot	gemiddeld	nok	goot	gemiddeld
0,4 m	4,0	4,2	4,1	1,4	0,7	1,0
1,5 m	2,9	2,8	2,9	1,6	0,9	1,3
2,0 m	3,5	4,6	4,0	0,6	0,5	0,6
gemiddeld	3,5	3,9	3,7	1,2	0,7	1,0

In 1997 (tabellen 3.2.4 t/m 3.2.7)zijn de behandelingen in tweevoud uitgevoerd, waarbij gekozen is voor de extreme behandelingen groeibuis laag en groeibuis vlak onder de kop van het gewas (groeibuis hoog). Één behandeling met de groeibuis hoog komt met 45,3 kg/m^2 4 à 6% hoger in totale productie uit ten opzichte van de behandelingen met groeibuis laag (42,69 kg/m^2 en 43,39 kg/m^2). De andere behandeling met 43,9 kg/m^2 bevestigt dit echter niet. Het verschil tussen deze twee herhalingen is veroorzaakt door verschil in vruchtgewicht. Gemiddeld is de productie bij een hoge buisligging 44,6 tegen over 43,0 kg/m^2 voor een lage buisligging, een verschil van 4%. Door het beperkte aantal herhalingen waarin de proef kon worden uitgevoerd, kunnen de geconstateerde verschillen niet statistisch betrouwbaar genoemd worden.

Tabel 3.2.4 Productiegegevens 1997 klasse 1 in kg per m^2

	stuks klasse 1 [$n.m^{-2}$]			gewicht klasse 1 [$kg.m^{-2}$]			vruchtgewicht klasse 1 [gr]		
buishoogte	nok	goot	gemiddeld	nok	goot	gemiddeld	nok	goot	gemiddeld
0,4 m	452,6	459,9	456,3	37,41	38,36	37,89	83	84	83
2,0 m	493,3	492,1	492,7	40,43	40,18	40,30	82	82	82
2,0 m	491,7	496,0	493,8	41,54	42,71	42,12	84	86	85
0,4 m	470,0	476,8	473,4	39,27	39,39	39,33	84	83	83
gemiddeld	476,9	481,2	479,1	39,66	40,16	39,91	83,3	83,8	83,3

Tabel 3.2.5 Productiegegevens 1997 klasse 2 en de totale productie in kg per m^2

	stuks klasse 2 [$n.m^{-2}$]			gewicht klasse 2 [$kg.m^{-2}$]			totaalgewicht [$kg.m^{-2}$]		
buishoogte	nok	goot	gemiddeld	nok	goot	gemiddeld	nok	goot	gemiddeld
0,4 m	75,8	66,4	71,1	4,07	3,53	3,80	42,57	42,81	42,69
2,0 m	59,2	65,7	62,4	3,19	3,20	3,19	43,96	43,84	43,90
2,0 m	45,6	41,0	43,3	2,78	2,42	2,60	45,06	45,54	45,30
0,4 m	58,7	64,4	61,6	3,08	3,49	3,28	43,24	43,55	43,39
gemiddeld	59,8	59,4	59,6	3,28	3,16	3,22	43,71	43,94	43,82

Tabel 3.2.6 Productiegegevens 1997 percentage klasse 2 en neusrot

	procent klasse 2			procent neusrot		
buishoogte	nok	goot	gemiddeld	nok	goot	gemiddeld
0,4 m	9,6	8,2	8,9	2,6	2,2	2,4
2,0 m	7,3	7,3	7,3	0,8	1,1	0,9
2,0 m	6,2	5,3	5,8	1,6	0,9	1,3
0,4 m	7,1	8,0	7,6	2,1	1,5	1,8
gemiddeld	7,6	7,2	7,4	1,8	1,4	1,6

Evenals in 1996 hebben ook in 1997 de behandelingen met de lage buisligging iets minder vruchten per m^2.
Het aandeel klasse 2 is in de behandelingen met hoge buisligging wat lager. Het aandeel neusrot is bij alle behandelingen laag, maar het laagst bij de hoge buisligging.
Door over een lange periode een hogere luchttemperatuur in de kas aan te houden, kan bloeisnelheid en uitgroeiduur van vruchten versneld worden. De temperatuurstijging die uiteindelijk in deze proef bereikt is, is klein geweest. Bovendien is de beinvloedingszone vanaf de buisligging klein. Hierbij vindt er ook alleen lokaal een temperatuurstijging plaats tijdens de stookperiode. Er is dan ook slechts een beperkt effect op de gewasontwikkeling (lengte en bloei) en productie gevonden.
Uit de tabellen 3.2.1 tot en met 3.2.6 blijkt ook dat de verschillen tussen goot- en nokrijen gering waren en statistisch niet betrouwbaar.
In tabel 3.2.7 zijn de resultaten van de beide teelten (proefjaren) voor de lage en hoge buisligging samengevat. Hoewel statistisch niet betrouwbaar wijst een hoge buisligging ten opzichte van een lage buisligging op een lichte verhoging van de productie en een verlaging van het percentage klasse 2 en neusrot.

Tabel 3.2.7 Overzicht van de twee proefjaren, 1996 en 1997

	1996 enkelvoud	1997 herhaling 1	1997 herhaling 2	gemiddelde 1996 en 1997
productie [kg.m^{-2}]				
buis laag (0,4 m)	38,8	42,7	43,4	41,6
buis hoog (2,0 m)	42,1	43,9	45,3	43,8
aantal vruchten [n.m^{-2}]				
buis laag (0,4 m)	448	527	535	503
buis hoog (2,0 m)	473	555	537	522
vruchtgewicht [gr]				
buis laag (0,4 m)	86,6	81,1	81,1	82,9
buis hoog (2,0 m)	89,0	79,0	84,0	84,0
klasse 2 [%]				
buis laag (0,4 m)	4,1	8,9	7,6	6,9
buis hoog (2,0 m)	4,0	7,3	5,8	5,7
neusrot [%]				
buis laag (0,4 m)	1,0	2,4	1,8	1,7
buis hoog (2,0 m)	0,6	0,9	1,3	0,9

3.3 ENERGIEGEBRUIK

In fase 3 (1997) is ook het energiegebruik bepaald. Het energieverbruik is niet direct gemeten maar berekenend aan de hand van de gemeten buis- en luchttemperaturen.
Voor de buistemperatuur is de gemeten watertemperatuur achter de mengklep genomen en voor de luchttemperatuur de gemeten temperatuur in de meetbox. Er kan aan de hand van deze gegevens berekend worden (Verveer,1995) hoeveel warmte de buizen hebben afgegeven.
Voor iedere in de datasets opgeslagen lucht- en buistemperatuur is het temperatuurverschil tussen lucht en buis berekend. Voor het betreffende buistype kan daaruit de warmteafgifte bepaald worden. Door deze warmteafgifte te vermenigvuldigen met de sampletijd van de databestanden wordt de afgegeven energie van de verwarmingsbuizen voor de sampletijd bepaald. Door dit voor de gehele meetperiode te herhalen en de afgegeven energie te sommeren, wordt de totale energie input van ieder verwarmingssysteem (buisrail en groeibuis) berekend. Voor de omrekening van deze energie input naar gasverbruik per m^2 kas is voor de afzonderlijke buistypen rekening gehouden met het aantal verwarmingsbuizen per m^2 kas. Bij de berekeningen is uitgegaan van een energie-inhoud van aardgas van 31,65 10^6 J/m^3 (onderste verbrandingswaarde).
Omdat kasafdelingen nooit helemaal gelijk zijn, zijn enkele correcties uitgevoerd.
In figuur 2.1.1 is een plattegrond weergegeven van kascomplex 306. Hierbij is aangegeven dat er een hoogteverschil is tussen de kascomplexen 306 en 307, wat is opgevangen door tussen de lage goot van corridor 307 en de goot van afdeling 8 van kas 306 stegdoppelplaat te monteren. Ondanks dat heeft deze afdeling meer warmteverliezen dan de overige 3 afdelingen en deze verliezen worden niet voldoende gecompenseerd door verwarmingsbuizen aan de zijgevel van afdeling 8 met de corridor van kascomplex 307. Door dit warmteverlies was de buistemperatuur in afdeling 8 hoger waardoor in de berekening van het gasverbruik voor afdeling 8 een hoger, dan in de andere afdelingen, energieverbruik ontstond.
Voor afdeling 2 wordt geen correctie gemaakt omdat de substraat corridor (figuur 2.1.1) verwarmd wordt.
Om voor deze verliezen een correctie aan te brengen zijn extra berekeningen uitgevoerd, waarbij de volgende gegevens zijn gebruikt:

- k waarde enkelglas = 8 W/m^2
- k waarde stegdoppelplaat = 6 W/m^2
- delta T afdeling 8 corridor 307 = 6 °C
- delta T afdeling 8 buiten = 10 °C
- hoogte stegdoppelplaat = 1 m
- hoogte enkelglas = 3,2 m
- lengte zijgevel = 17,7 m

De aangegeven temperaturen zijn de gemiddelden van de gemeten waarden. Voor deze berekening is de meetperiode van 16 december 1996 tot 1 juni 1997 genomen. In tabel 3.3.1 zijn de resultaten van deze berekeningen opgenomen.

Tabel 3.3.1 Gemiddeld warmteverlies door zijgevel afdeling 8 naar corridor 307 en buiten

	verlies naar corridor [W]	verlies naar buiten [W]	totaal [W]
1997	2718	1062	3780

Met behulp van het gemiddelde warmteverlies door de zijgevel is voor hele meetperiode een verlies in m^3 gas te bereken. Het totale energieverlies door de zijgevel is 1697 m^3 aardgas. De correctie op het energieverbruik van afdeling 8 ten gevolge van de niet verwarmde zijgevel is dan 5,9 m^3 per m^2 kas.
In tabel 3.3.2 zijn de berekende gasverbruiken weergegeven. Voor afdeling 8 is dus een correctie uitgevoerd.

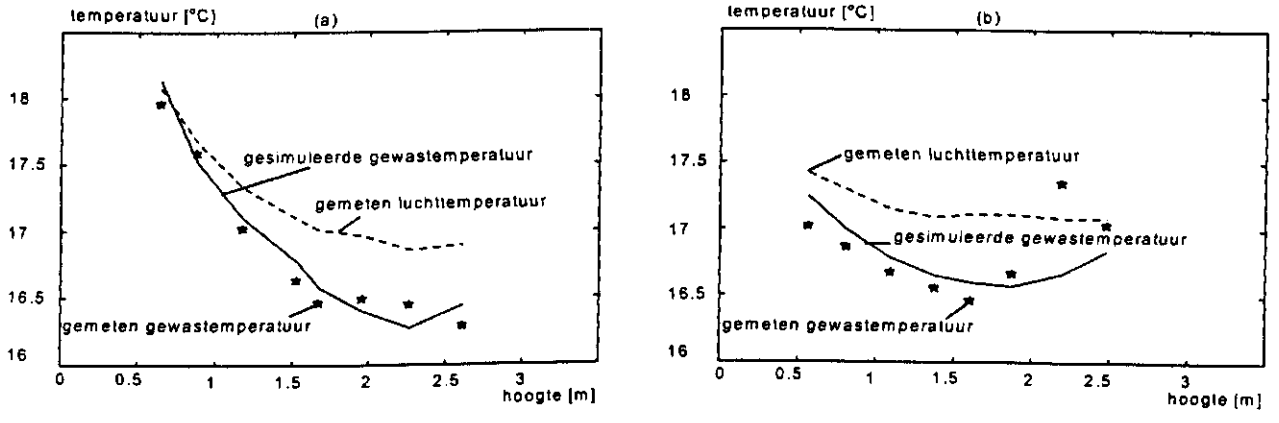
Tabel 3.3.2 Berekende gasverbruik in m^3/m^2 kas

	afd. 2	afd. 4	afd.6	afd. 8
1997	32,8	35,1	34,3	38,1
1997 gecorrigeerd	32,8	35,1	34,3	32,2

De twee afdelingen (4 en 6) met de hoge buisligging geven het verwachte hogere energieverbruik te zien.
De energie-efficiëntie bij de hoge buisligging is 1,29 kg/m^3 en bij de lage buisligging 1,32 kg/m^3.
Daarmee is de energie-efficiëntie bij de lage buisligging ca. 3% beter dan bij de hoge buisligging.

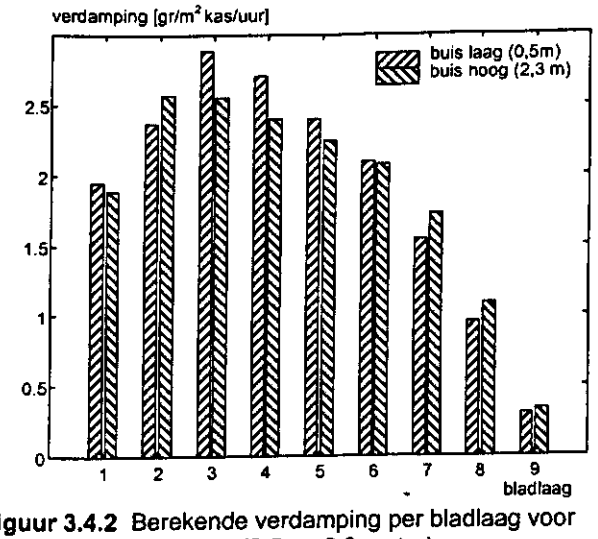
3.4 MODELEVALUATIE

De gemeten gemiddelde bladtemperaturen zijn vergeleken met de modelvoorspellingen van de bladtemperatuur. De luchttemperatuur kan bij deze simulaties niet goed voorspeld worden omdat door luchtstromingen de opbouw van het stromingsprofiel te vaak verstoord wordt en de voorspelde luchttemperatuur derhalve niet betrouwbaar is. Bij de modelberekeningen van de gewastemperatuur zijn de in de meetboxen gemeten luchttemperaturen gebruikt als randtemperaturen van het model (zie sectie 2.2).
Figuur 3.4.1 laat zien dat zowel voor de positie van de groeipijp op 0,4m (a) én voor de situatie met de groeipijp op 2,5m (b), het voorspelde temperatuurprofiel correspondeert met de metingen. De gewastemperaturen liggen zowel bij de metingen als bij de voorspellingen iets onder de luchttemperatuur.



Figuur 3.4.1 Gemeten lucht- en bladtemperatuur en gesimuleerde bladtemperatuur voor een groeibuishoogte van 0.4 m (a) and 2.5 m (b)

De gemeten lucht- en gewastemperaturen hebben een nauwkeurigheid van ± 0,2 °C en de nauwkeurigheid van de rv-metingen is ± 3%. De gesimuleerde gewastemperatuur heeft als gevolg daarvan een fout van ten minste 0,2 °C.
Figuur 3.4.1 laat zien dat de voorspelling van de bladtemperatuur binnen de meetnauwkeurigheid valt.
De buisligging en temperatuur hebben ook invloed op de lokale verdamping. In figuur 3.4.2 is de berekende verdamping per bladlaag voor twee groeibuisliggingen (hoog 2,3 m en laag 0,5 m) weergegeven voor een groeibuistemperatuur van 60 °C en een uitgeschakeld buisrailnet. Hiervoor zijn gegevens uit het teeltjaar 1996 gebruikt in verband met de hoge groeibuistemperatuur die in 1997 begrensd was op 45 °C. Het blad van bladlaag 1 hangt op een hoogte van ± 0,8 m. De groeibuis op 0,5 m hoogte hangt dus niet tussen het blad.
Bij de beide buisliggingen vindt de meeste verdamping plaats in de onderste helft van de plant doordat daar ook het meeste blad aanwezig is. De verschillen tussen de twee buisliggingen zijn beperkt maar wel zichtbaar. Bij de lage buisligging is de verdamping in de bladlagen rond de eerste vier trossen in het algemeen ongeveer 0,5 gram/m^{2}kas/uur hoger dan bij de hoge buisligging. Bij de hoge



Figuur 3.4.2 Berekende verdamping per bladlaag voor twee groeibuisliggingen (0,5 en 2,3 meter)

buisligging wordt in de kop (tros 7 t/m 9) van het gewas iets meer verdampt (ongeveer 0,35 gram/m^2kas/uur) dan bij de lage buisligging. De totale verdamping bij de lage buisligging is ca. 25,3 gram/m^2kas/uur en bij de hoge buisligging ca. 24,8 gram/m^2kas/uur. Het onderlinge verschil is ca. 2% en valt binnen de berekeningsnauwkeurigheid. De hier berekende verdamping van ongeveer 25 gram/m^2kas/uur liggen op de in de praktijk en onder experimentele omstandigheden gemeten niveaus (De Graaf,1993; Stangellini,1987) Uit de resultaten kan geconcludeerd worden dat de buisligging weinig of geen effect heeft op de totale gewasverdamping, maar dat wel de verdeling binnen het gewas beïnvloed wordt.

4 Discussie

De invloed van de buisligging op de verticale gewastemperatuuropbouw blijkt betrekkelijk gering te zijn. Zelfs bij het gebruik van een zwaar uitgevoerd (ø 51 mm) groeibuisnet als primair net (waarbij de buistemperaturen tot 60 °C zijn opgevoerd), in combinatie met een normaal buisrail systeem zijn de effecten op lucht- en gewastemperatuur klein (sectie 3.1).
De lucht- en gewastemperatuur reageren daarbij bovendien verschillend op de buisligging, de gewastemperatuur ligt in de nacht vrijwel altijd lager dan de luchttemperatuur. Dit is in overeenstemming met de resultaten van (Winspear 1978) en de conclusies van (Yang 1995) die voor de winterperiode ook constateerde dat de bladtemperatuur onder de luchttemperatuur lag. Bij een hoge buisligging blijkt dat de gewastemperatuur (blad- en vruchttemperatuur), en in mindere mate de luchttemperatuur, een geringere verticale gradiënt vertonen (figuur 3.1.1 en 3.1.2) dan bij een lage buisligging. Ter plaatse van en juist boven de groeibuis zijn zowel de lucht- als gewastemperatuur iets hoger dan in een situatie zonder de groeibuis op die hoogte. De verschillen tussen de behandelingen zijn echter beperkt: bij een buistemperatuur van 50 °C ligt de gewastemperatuur in de directe omgeving van de buis 0,3 tot 0,4 °C hoger. Bij de hoge groeibuisligging zal de luchttemperatuur onder in het gewas wat lager zijn dan bij de lage groeibuisligging. Boven in het gewas zijn er vrijwel geen luchttemperatuurverschillen.

Op basis van een verschil in de temperatuur van 0,4 °C kan, bij een gemiddeld temperatuurniveau van 18,5 °C een verschil in bloeisnelheid worden verwacht van ongeveer 0,003 trossen per dag (De Koning, 1994). Over de totale teeltperiode van ongeveer 9 maanden komt dit neer op maximaal 1 tros verschil in bloei. De uitgroeiduur van de vruchten is door deze hogere temperatuur globaal 1 dag korter (De Koning, 1994).
De omstandigheden waarbij de bovengenoemde temperatuurverschillen voorkomen treden slechts gedurende een beperkte periode van de teelt op, met name tijdens de nacht en bij een hoge warmtevraag. De te verwachten invloed op de bloei en vervroeging van de productie is dan ook gering hetgeen wordt bevestigd door de bloeiwaarnemingen (figuur 3.2.3).
De gemiddelde productie vertoont een trend naar iets hogere opbrengst bij de hoge buisligging (tabel 3.2.2., 3.2.5 en 3.2.7). Deze trend is zowel het gevolg van een iets groter aantal vruchten als een iets hoger gemiddeld vruchtgewicht (tabellen 3.2.1, 3.2.2, 3.2.4 en 3.2.5). Omdat het aantal trossen niet verschillend is (figuur 3.2.3) moet de verklaring hiervoor worden gezocht in een iets betere zetting bij een hogere temperatuur. De gemiddelde temperatuur tijdens het experiment lag rond de 18,5 °C (tabel 3.1.3). Voor de zetting ligt het optimale temperatuur niveau iets hoger (19-20 °C), een geringe verhoging van de temperatuur van 18,5 °C zal de zetting dan ook met enkele procenten kunnen verbeteren (De Koning, 1994). De verschillen in gewasontwikkeling, groei en bloeisnelheid en de productie tussen de teeltjaren 1996 en 1997 zijn gering. Hoewel statistisch niet betrouwbaar neigt een hogere buisligging ook tot en daling in tweede kwaliteit en neusrot (tabel 3.2.7). Ook de gootrijen verschilden niet betrouwbaar van de nokrijen.

Naast de iets hogere productie is ook het energiegebruik bij de hoge buisligging enkele procenten hoger (tabel 3.3.2) als gevolg van een verhoogde stralingsuitwisseling met het dek. Een hogere buisligging leidt eveneens tot hogere luchttemperaturen boven in de kas. Daardoor nemen de convectieve verliezen aan het dek toe.
De energie-efficiëntie zoals berekend uit de gemiddelde productie (tabel 3.2.5) en het gemiddelde energiegebruik in 1997 is bij de hoge buisligging is 1,29 kg/m^3 en bij de lage buisligging 1,32 kg/m^3. Daarmee is de energie-efficiëntie bij de lage buisligging ca. 3% beter dan bij de hoge buisligging.

Deze resultaten zijn echter verkregen door relatief extreme omstandigheden voor groentegewassen aan te leggen wat betreft buisafmeting en buistemperatuur. Onder normale praktijkcondities, waarbij het groeibuisnet vrijwel altijd als condensornet is uitgevoerd (met een kleinere diameter en gemiddeld lagere buistemperaturen), zal bij een hoog liggende groeibuis de energie-efficiëntie eveneens lager zijn. Het lijkt daarom aannemelijk dat het verschil in efficiëntie tussen hoge en lage groeibuisligging in

de praktijk kleiner zal zijn. Voor een maximale energie-efficiëntie is een lage buisligging dan ook noodzakelijk.

Het in dit experiment bepaalde energiegebruik is bij de hoge buisligging duidelijk hoger, ondanks het feit dat boven de buis een behoorlijke hoeveelheid bladmassa aanwezig is (tot ca. 0,8 m^2, zie figuur 3.2.1 en 3.2.2) die een deel van de straling onderschept. Bij lage gewassen, waarbij boven de hoogste buis geen bladmassa aanwezig is (chrysant, roos), kan verwacht worden dat het effect op de energie-efficiëntie nog ongunstiger zal zijn. Het verlagen van de buizen heeft weliswaar een positief effect op het energiegebruik maar kan bij deze dichte gewassen mogelijk op problemen stuiten door de zeer beperkte afstand tussen buis en gewas. Nader onderzoek hiernaar is gewenst met name omdat genoemde gewassen een relatief groot aandeel innemen van het totale areaal (KWIN, 1997) en daarmee van het totale energiegebruik van de sector.

Het ontwikkelde model voor het berekenen van de bladtemperaturen geeft goede overeenkomsten met de gemeten temperaturen (figuur 3.4.1) mits de luchttemperatuurgradiënt als randvoorwaarde wordt opgelegd. Het nu ontwikkelde model is bruikbaar voor het berekenen van locale temperatuur- en transpiratieverhoging. De resultaten tonen aan dat de transpiratieverdeling binnen het gewas beperkt bestuurbaar is (figuur 3.4.2). Dit biedt mogelijkheden om door gerichte beïnvloeding van de transpiratie, de verdeling van bepaalde nutriënten (met name calcium) in het gewas te sturen om daarmee nadelige effecten van extreem hoge luchtvochtigheid (calciumgebrek) te voorkomen (De Krey, 1993). Bij ernstige vorm van calciumgebrek in de bladeren kan het bladoppervlak (locaal) sterk teruglopen waardoor de vruchten van de trossen in de omgeving van dit blad een lagere productie geven (Bakker, 1991). Deze symptomen treden met name op bij een langdurig hoge relatieve luchtvochtigheid van boven de 90%. In de hier uitgevoerde experimenten lag de gemiddelde luchtvochtigheid aanzienlijk lager (rond de 80-85% RV) waardoor er geen calciumgebrek en bladoppervlakte verkleining is geconstateerd. Bij de toepassing van energieschermen kunnen de RV niveau's wel langere tijd hoog blijven zodat onder die omstandigheden locale transpiratie verhoging door hoge buisligging mogelijke problemen kan voorkomen. Door de aanwezigheid van het scherm zal de uitstraling van de hoge buis naar het kasdek in dat geval afnemen. De verwachting is dat hierdoor ten opzichte van een lage buis de energie-efficiëntie minder zal verschillen.

5 Conclusies en aanbevelingen

Naar aanleiding van dit onderzoek kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Met het ontwikkelde model kan de verticale bladtemperatuur verdeling van hoog opgroeiende gewassen kas goed voorspeld worden bij gegeven buistemperatuur, -ligging en bekende luchttemperatuurgradiënt en luchtvochtigheid
- Het model kan benut worden voor berekening van de locale transpiratieverhoging als gevolg van buisligging en –temperatuur.
- De invloed van een als primair gestookt bovennet van ø 51 mm op de locale gewastemperatuur is beperkt tot ongeveer 0,4 °C.
- De bladtemperatuur ligt 's nachts vrijwel altijd onder de luchttemperatuur.
- Bij een hoge buisligging treedt een afvlakking van het verticale temperatuurpatroon gedurende de nacht op.
- De buisligging heeft een beperkt effect op gewasontwikkeling (bloei en lengtegroei).
- Bij een hoge buisligging is de productie enkele procenten (niet significant) hoger, met name als gevolg van een iets groter aantal vruchten.
- Het energiegebruik neemt bij hoge buisligging met 5-10% toe.
- De energie-efficiëntie is bij de hoge buisligging ca. 3% slechter dan bij de lage buisligging.
- Bij de in de praktijk toegepaste groeibuissystemen zal een hoge buisligging een beperkte negatieve invloed hebben op de energie-efficiëntie.
- De buisligging heeft weinig of geen effect op de totale gewasverdamping, maar de verdeling binnen het gewas is wel te beïnvloeden.
- Omdat de in de praktijk toegepaste groeibuissystemen een kleinere verwarmingscapaciteit hebben dan in dit onderzoek (als gevolg van kleinere buisdiameters), zullen de effecten ook geringer zijn.

Aanbevelingen:

- Door het verschil in luchttemperatuur op de verschillende hoogten is de plaats van de meetbox van groot belang voor het klimaat dat gerealiseerd wordt. De meetbox moet geplaatst worden op die hoogte waar de ingestelde temperatuur gerealiseerd moet worden.
- De effecten op het energiegebruik zijn bij de hoge groeibuisligging negatief en het positieve effect op de productie en kwaliteit gering. Daarom moet de groeibuis bij tomaat in de praktijk onder in het gewas gehouden worden om de hoogste energie-efficiëntie te bereiken
- Bij gewassen, waarbij relatief veel buizen boven in de kas liggen (chrysant, roos), kan verwacht worden dat het verlagen van de buizen een fors positief effect op de energie-efficiëntie zal hebben mits er geen nadelige gewasreacties optreden. Nader onderzoek hiernaar is gewenst gezien het areaal en aandeel in het totale energiegebruik van deze gewassen.

Literatuur

Bakker, J.C., Bos, L. van den, Arendzen, A.J., en Spaans, L., 1988.
A distributed system for glasshouse climate control, data acquisition and analysis. Computers and Electronics in Agriculture, 3: 1-9.

Bakker, J.C., 1991. Analysis of humidity effects on growth and produktion of glasshouse fruit vegetables. Dissertation Agricultural University, Wageningen, 155pp.

Bakker, J.C., de Zwart, 1997. Nieuw programma bestrijdt klimaatverschillen, Vakblad voor de Bloemisterij, 45: 46-47.

Bot G.P.A. en Van de Braak, N.J., 1995. Transport phenomena.
In: Greenhouse climate control: an integrated approach (Eds. J.C. Bakker, G.P.A. Bot, H. Challa and N.J. van de Braak). Wageningen Pers,125-134.

Karlsson, M.G., Heins, R.D., Gerberick, J.O. en Hackmann, M.E., 1991.
Temperature driven leaf unfolding rate in *Hibiscus rosa-sinensis*. Scientia Hortic., 45: 323-331.

De Graaf, R., 1993. Plantgewicht schommelt door verdamping en groei. In: Luchtvochtigheid, informatiereeks no.104: 28-29

De Koning, A.N.M., 1994. Development and dry matter distribution in glasshouse tomato: a quantitative approach. Dissertation Agricultural University, Wageningen, 240pp.

De Krey, C., 1993. Plantgewicht schommelt door verdamping en groei. In: Luchtvochtigheid, informatiereeks no.104: 36-37

Marcelis, L.F.M. en De Koning, A.N.M., 1995. Biomass partitioning in plants.
In: Greenhouse climate control: an integrated approach (Eds. J.C. Bakker, G.P.A. Bot, H. Challa and N.J. van de Braak). Wageningen Pers, 84-92.

Nijs, L., 1997. Handleiding voor het opsporen en oplossen van horizontale klimaatverschillen in kassen. Rapport nr. 112 PBG Naaldwijk.

Stangellini, C., 1987. Transpiration of greenhouse crops, an aid to climate management.
Ph.D. Dissertation, Agricultural University, Wageningen, 150pp.

Van Holsteijn, G.P.A en Kempkes, F.L.K., 1993. Hoogte buis beïnvloedt temperatuurverdeling. Groenten en Fruit, Vakdeel Glasgroenten, 3(50): 28-29.

Verveer, J.B., 1995 Handboek verwarming glastuinbouw. Nutsbedrijf Westland N.V., Misset B.V., 192pp.

Vollebregt, H.J.M. and. Van de Braak, N.J. 1994.
Analysis of radiative and convective heat exchange at greenhouse walls. J. Agric. Eng. Res., 60: 99-106.

Yang, X, 1995. Greenhouse micrometeorology and estimation of heat and water vapour fluxes. J. Agric. Eng. Res., 61, 227-238

Winspear,K.W., 1978 Vertical temperature gradients and greenhouse energy economy.
Acta Hortic., 76: 97-103.

Kennisoverdracht

In het kader van kennisoverdracht zijn tijdens de looptijd van dit project de volgende artikelen gepubliceerd en posters gepresenteerd:

Kempkes,F.L.K., 1996. Plaatsing groeibuis beïnvloedt temperatuur. Groenten + Fruit/ Glasgroenten,12 april 1996, blz 22-23.

Kempkes, F.L.K, Verticale temperatuurverschillen in hoog opgaande groentegewassen, openavond tomaat, PBG 9 mei 1996.

Kempkes, F.L.K en Bloemhard, C.M.J., Temperatuur van chrysant tijdens en na het schermen, Voordracht landelijk chrysantencommissie, 25 februari 1997.

Bloemhard, C.M.J. en Kempkes, F.L.K., 1997. Chrysanten staan deels in de kou. Vakblad voor de Bloemisterij 8: 47.

Bloemhard, C.M.J. en Kempkes, F.L.K, Verticale temperatuurverdeling. Posterpresentatie tijdens energiemiddag PBG 8 oktober 1997.

Kempkes, F.L.K, Bloemhard, C.M.J. Verticale lucht- blad-temperatuurverschillen en vochtverdeling in hoog opgaande groentegewassen, openavond tomaat, PBG 15 mei 1997.

Kempkes F.L.K., J.C. Bakker, N.J. van de Braak, Modelling and control of vertical air- and leaf temperature distribution in greenhouses, Acta Horticulturae symposium augustus 1997. Poster

Kempkes, F.L.K., J.C. Bakker en N.J. van de Braak, 1997. Modelling and control of vertical temperature distribution in greenhouses. Acta Horticulturae Second International Symposium on Models for Plant Growth, Environmental Control and Farm Management in Protected Cultivation, august 1997, in press: 8 blz.

De resultaten worden ook opgenomen in de Elektronische VraagBaak van het PBG.