

A
09
B
16

**Onderzoek minimale transpiratie in relatie tot
energieverbruik, produktie en kwaliteit van
glastuinbouwgewassen.**

**Verslag eerste experiment: Invloed minimum buistemperatuur op
transpiratiesom, gewasgroei en energieverbruik.**

**J.C. Bakker
R. de Graaf**

Intern verslag nr. 25, december 1993

**Proefstation voor Tuinbouw onder Glas
Kruisbroekweg 5
Postbus 8, 2670 AA Naaldwijk
tel. 01740-36700
fax. 01740-36835**

000 1 - 9

Voorwoord

Het in dit verslag beschreven experiment is uitgevoerd in het kader van een onderzoeksproject gericht op het terugdringen van het directe energieverbruik in de glastuinbouw. Doel van het project is het vastleggen van de verbanden tussen transpiratie(som) en produktie en kwaliteit bij het gewas tomaat. Dit project wordt mede gefinancierd door de NOVEM (Nederlandse Onderneming voor Energie en Milieu) en het Nutsbedrijf Westland.

Het onderzoek wordt uitgevoerd door een werkgroep bestaande uit de volgende onderzoekers en assistenten van het PTG, aangevuld met stagiaires:

R. de Graaf, H.J. Bergman, J. Janse en J.C. Bakker.

Deze groep wordt geadviseerd door C. de Krey, K. Buitelaar, A.N.M. de Koning en A. Dik van het PTG.

J.C. Bakker (projectleider/onderzoeker)

Inhoudsopgave	
Samenvatting	1
1. Inleiding	4
2. Materiaal en methoden	5
2.1 Kasoutillage en behandelingen	5
2.2 Teeltmaatregelen en wortelmilieu	6
2.3 Klimaatmetingen- en regeling	6
2.3.1 Temperatuur en luchtvochtigheid	6
2.3.2 CO ₂	7
2.3.3 Berekende warmteafgifte door buizen	7
2.3.4 Waterverbruik	8
2.4 Gewaswaarnemingen	8
2.4.1 Bloei	8
2.4.2 Bladoppervlakte	8
2.4.3 Plantslaching bij einde proef	9
2.4.4 Vruchtzetting	9
2.4.5 Oogstbare tros	9
2.4.6 Productie en kwaliteit	9
2.4.7 Bladanalyses en magnesiumgebrek	10
2.4.8 Dataopslag	10
3. Resultaten	11
3.1 Klimaat	11
3.2 Waterverbruik	11
3.3 Berekend energieverbruik	12
3.4 Watergehalte, EC en mattemperatuur	14
3.5 Bloei	14
3.6 Bladoppervlakte	14
3.7 Vruchtzetting	16
3.8 Oogstbare tros	17
3.9 Productie	17
3.10 Kwaliteit	17
3.11 Totaal vers- en drooggewicht productie en verdeling	19
3.12 Bladanalyses en magnesiumgebrek	19
4. Discussie	21
Literatuur	25
Bijlagen	
1 Schematisch overzicht verloop setpoints en proefschema	
2 IJkwaardes gift en drain	
3 Watergehalte, EC en mattemperatuur	
4 Fits + correlatietabel	
5 Datafiles + verwerkingsprogramma's	

Samenvatting

Van januari tot en met april 1993 is een eerste experiment uitgevoerd in het kader van het project minimale transpiratiebehoefte in relatie tot energieverbruik, produktie en kwaliteit van glastuinbouwgewassen. De doelstelling van dit project is: Het vaststellen van de minimaal noodzakelijke transpiratie voor een kwalitatief goede produktie en het kwantificeren van de relatie tussen gewas-transpiratie en produktie en kwaliteit.

Het doel van deze eerste proef was tweeledig:

- 1 - Het vastleggen van een mogelijk verband tussen waterverbruik en produktie.
- 2 - Eerste screening met betrekking tot de tijdsgrenzen waarbinnen een gewas een lage verdamping kan compenseren door een hoge verdamping.

Om verschillen in gewastranspiratie (en daarmee waterverbruik) te realiseren is in dit eerste experiment gekozen voor het gebruik van minimumbuis temperaturen als onderzoeksmiddel.

Er zijn zes behandelingen met minimum buistemperatuur in vier herhalingen aangelegd. Per afdeling is de watergift en de drain bepaald met behulp van speciaal voor dit project aangeschafte apparatuur.

De aangelegde behandelingen (van 8/2 t/m 27/4 = dag 40 t/m 117 van 1993) waren:

1. Continu minimum buis 30°C
2. Continu minimum buis 50°C
3. Continu minimum buis 70°C
4. Minimum buis 30/70°C wisselend per dag; op oneven dagnummers: 30°C, op even dagnummers: 70°C.
5. Minimum buis 30/70°C wisselend per 5 dagen; op dagnummer: 40 t/m 44: 30°C, op dagnummer 45 t/m 49: 70°C, etc.
6. Minimum buis 70/30°C wisselend per 5 dagen; op dagnummer: 40 t/m 44: 70°C, op dagnummer 45 t/m 49: 30°C, etc.

Het onderzoek is uitgevoerd met het ras Astrid met plantdatum 25 januari 1993. Verschillen in kasttemperatuur zijn vermeden door toepassing van een PI regeling op de ventilatie. Hierdoor werd de kasttemperatuur bij alle behandelingen gelijk gehouden. Ook de CO₂ concentratie was gelijk.

Het verschil in energieverbruik is op twee manieren geschat uit metingen van de kaslucht- en buistemperatuur. De behandelingen resulteerden in duidelijke verschillen in waterverbruik en berekend energieverbruik.

Over de meetperiode werd een verschil in waterverbruik van 15% gemeten tussen de extreme behandelingen. De verschillen in energieverbruik waren

aanzienlijk groter. De minimum buis van 70°C gebruikte 68% extra energie t.o.v. 30°C. Bij 50°C was dit 12% extra energie. De per dag en per vijf dagen wisselende behandelingen gebruikten tussen de 30-35% meer energie ten opzicht van de continue minimum buis van 30 °C. Het gemeten waterverbruik (t/m 6/4) steeg slechts met 15% bij 70°C buistemperatuur. Uitgaande van de verhouding extra waterverbruik per eenheid extra energie is de 50°C buis het meest ongunstig. Per procent hoger waterverbruik was hierbij 12% extra energie nodig. Bij de 70 °C was deze verhouding het gunstigst: 4.5% extra energie per % extra waterverbruik.

De behandelingen hadden geen significante verschillen in gewasontwikkeling tot gevolg. Zowel de bloeisnelheid, bladoppervlakte-ontwikkeling alsmede totaal vers (en droog-) gewichtsgroei werden niet beïnvloed. Ook de verdeling van vers- en drooggewicht over de verschillende organen werd niet statistisch betrouwbaar beïnvloed.

De vruchtproductie lag aan het einde van de behandelingsperiode op ongeveer 8.0 kg m² en verschilde niet tussen de behandelingen. De kwaliteit van de vruchten werd wel beïnvloed: bij een minimumbuis temperatuur van continu 70 °C was de smaakbeoordeling door het smaakpaneel significant hoger dan bij 30 °C minimum buis. Dit was het gevolg van hogere waarderingen voor aroma, zoet, zuur en minder melige en meer sappige vruchten. Wat betreft de uitwendige kwaliteit nam alleen het aantal zwelscheuren duidelijk af bij de hoogste buistemperatuur.

Bij de verdere verwerking van de gegevens is getracht verbanden te leggen tussen het waterverbruik en groei en produktie. In geen enkel geval kon een statistisch betrouwbaar verband worden aangetoond tussen het waterverbruik en de volgende parameters: totale versgewicht of drooggewichttoename, kilogram vruchtproductie, bladoppervlak, het aantal vruchten en droge stof gehalten van de verschillende organen (blad, stengel en vruchten). In die gevallen waarbij van enige trend sprake was, was de tendens in alle gevallen een lagere groei en lager aantal bij de hogere waterverbruiken.

De belangrijkste conclusies zijn:

- 1) Voor een relatief geringe verhoging: (15%) van de transpiratiesom is een zeer grote hoeveelheid extra energie nodig (bijna 70%).
- 2) Het continu aanhouden van een minimum buis van 50°C is voor het verhogen van de transpiratiesom energetisch zeer ongunstig.
- 3) De groei en gewasontwikkeling verschilde niet tussen de diverse behandelingen. Zelfs bij het laagste waterverbruik verliep de groei normaal. Verhoging van het waterverbruik boven dit laagste niveau leidde niet tot groei of produktiewinst.

- 4) Er bestaat geen aantoonbaar verband tussen de transpiratiesoort in het onder de heersende omstandigheden onderzochte gebied (110 tot 126 lm^2) en de totale versgewicht- of vruchtproductie. Daaruit kan worden afgeleid dat boven een bepaald verdampingsniveau het gewas blijkbaar niet meer reageert op de transpiratie-integraal. Voor lager transpiratieniveau's dan in dit experiment bereikt moet dit nog nader worden onderzocht.

- 5) De smaak van de vruchten is beter bij een hoge minimum buistemperatuur. De uitwendige kwaliteit verschilt weinig, wel komen bij een hogere buis temperatuur minder zwelscheuren voor. De houdbaarheid werd niet beïnvloed.

1. Inleiding

In de glastuinbouw wordt relatief veel energie verbruikt, in totaal gemiddeld 40 m³ per m² per jaar. Bij tomaat ligt het gemiddelde energieverbruik op ongeveer 55 tot 60 m³ per m² (Vermeulen en van de Beek, 1992). Een groot deel (varierend tussen de 10 en 25%) van dit energieverbruik is het gevolg van de inzet van minimumbuis.

Eén van de belangrijkste redenen voor het gebruik van de minimumbuis is het verhogen van de verdamping onder andere op momenten met relatief lage instraling. De noodzaak van deze maatregel is tot nu toe nog onvoldoende onderbouwd. Doel van dit onderzoek is het bepalen van de minimale transpiratie behoefte bij tomaat. Meer kennis over de exacte transpiratiebehoefte over een bepaalde tijd kan bijdragen aan meer doelgericht gebruik van de minimumbuis. Dit kan een wezenlijke bijdrage leveren aan de verdere verbetering van de energie-efficiëntie in de glastuinbouw.

De doelstelling van dit eerste experiment is tweeledig:

- 1 - Het vastleggen van een mogelijk verband tussen waterverbruik en produktie.
- 2 - Eerste screening met betrekking tot de tijdsgrenzen waarbinnen een gewas een lage verdamping kan compenseren door een hoge verdamping.

2. Materiaal en methoden

2.1 Kasoutillage en behandelingen

Het experiment is uitgevoerd in kas 210 op het PTG. Deze kas heeft 24 afdelingen en is opgesplitst in drie blokken van acht afdelingen. Deze blokken zijn 210A (afd. 1-8), 210B (afd. 9-16) en 210C (afd. 17-24). De kas is voorafgaand aan dit project gerenoveerd waarbij aanpassingen zijn aangebracht voor het bepalen van het waterverbruik per individuele afdeling. Bovendien is het verwarmingssysteem aangepast en zijn alle overbodige (schaduwgevende) constructiedelen verwijderd om de lichttransmissie te verhogen.

De afdelingen hebben een afmeting van 9.60 x 6.00 m, een poothoogte van 2.8 m en zijn uitgerust met een buisrail verwarmingssysteem bestaande uit vier verwarmingsbuizen van 51 mm per kap. Een groeibuis ontbreekt.

In de kas zijn de volgende zes behandelingen in vier herhalingen aangelegd van van 8/2 t/m 27/4 (= dag 40 t/m 117 van 1993):

1. Continu minimum buis 30°C
2. Continu minimum buis 50°C
3. Continu minimum buis 70°C
4. Minimum buis 30/70°C wisselend per dag; op oneven dagnummers: 30°C, op even dagnummers: 70°C.
5. Minimum buis 30/70°C wisselend per 5 dagen; op dagnummer: 40 t/m 44: 30°C, op dagnummer 45 t/m 49: 70°C, etc.
6. Minimum buis 70/30°C wisselend per 5 dagen; op dagnummer: 40 t/m 44: 70°C, op dagnummer 45 t/m 49: 30°C, etc.

In bijlage 1 is het verloop van de instellingen bij de verschillende behandelingen schematisch weergegeven. De ingestelde minimum buistemperatuur werd overdag boven een straling van 150 Wm⁻² lichtafhankelijk verlaagd met 0.2 °C/Wm⁻² tot een minimum niveau van 20 °C. Bij behandeling 1, 2 en 3 werd dit niveau dus breikt bij een straling (buiten de kas) van respectievelijk 200, 300 en 400 Wm⁻². Na 29 maart werd de lichtafhankelijke verlaging pas gestart boven een buitenstraling van 250 Wm⁻².

Schema behandelingen (proefschema is weergegeven in bijlage 1)

KAS 210 A		KAS 210 B		KAS 210 C	
Afdnr.:	Behand.:	Afdnr.:	Behand.:	Afdnr.:	Behand.:
1	3	9	1	17	5
2	2	10	6	18	3
3	3	11	4	19	5
4	4	12	5	20	2
5	4	13	6	21	2
6	5	14	1	22	4
7	6	15	2	23	1
8	1	16	3	24	6

2.2 Teeltmaatregelen en wortelmilieu

Het gebruikte ras was Astrid (ronde tomaat) en de plantdatum 25 januari 1993. De planten zijn direct op de mat gezet en konden eerst een aantal dagen doorwortelen voordat de behandelingen gestart werden. Per afdeling zijn 96 planten gepoot (8 per goot) waarmee de plantdichtheid op 2.3 per m² komt. In totaal wordt van de totale afdelingsoppervlakte slechts 42.2 m² beteeld.

De matten (steenwol ingeluierd 7.5 x 15 cm) liggen in Bato goten en hebben op regelmatige afstand draingaten in het midden onder de mat. De gebruikte voedingsoplossing voor indruppelen en bij de start van de teelt hebben een standaard samenstelling (Sonneveld en de Kreij, 1986). Elke twee weken is het (gerecirculeerde) drainwater geanalyseerd en de voedingsoplossing hierop aangepast.

Er is normaal getrild omdat de afdelingen te klein zijn om door hommels te laten bestuiven.

Er zijn tijdens de proefperiode geen chemische bestrijdingen uitgevoerd. Er zijn vijf keer sluipwespen (*Encarsia formosa*) uitgezet tegen de kaswittevlug (*Trialeurodes vaporariorum*).

Een keer in de twee weken zijn watergehalte, de EC en de mattemperatuur gemeten met een Rockwool (TFDL) watergehaltemeter. De metingen zijn uitgevoerd aan drie verschillende matten (van oost naar west) en per mat op drie verschillende plaatsen (van voor naar achter).

De planten zijn geteeld volgens het hoge draadteeltprincipe waarbij men de kop regelmatig laat zakken. De beperkte kas (en draad) hoogte maakt het echter onmogelijk deze teeltwijze na april voor te zetten. Door de snellere groei als gevolg van hogere temperaturen tegen het einde van de proefperiode moest men de plant soms een behoorlijk eind laten zakken waardoor in een enkel geval de oogstbare trossen op de grond kwamen te liggen.

2.3 Klimaatmetingen en -regeling

De klimaatregeling vindt plaats via het centrale computersysteem van het PTG (Bakker et al., 1988). Alle meetpunten worden elke minuut gemeten en vervolgens als 10 minuut gemiddelden opgeslagen voor latere verwerking. Tijdens de proef zijn de volgende klimaatmetingen uitgevoerd en volgende klimaatinstellingen gehanteerd.

2.3.1 Temperatuur en luchtvochtigheid

De temperatuur en luchtvochtigheid worden gemeten met een droge en natte bolthermometer (fabrikaat TFDL) op een hoogte van 1.25 meter in het midden van elke afdeling.

De ingestelde stooktemperatuur dag/nacht is: 19.5/18.5°C. Bij een lichtoverschrijding van 150 Wm⁻² wordt de temperatuur 0.2°C/Wm⁻² verhoogd tot 22.5°C. De ingestelde ventilatietemperatuur dag/nacht is: 19.7/18.7°C met dezelfde temperatuurverhoging tot 22.7°C.

Om te voorkomen dat onder invloed van de minimumbuis behandelingen verschillen in kasttemperatuur ontstaan is de ventilatieregeling aangepast. Door een PI regelaar wordt de kasttemperatuur precies op het ventilatiesetpoint gehouden.

2.3.2 CO₂

De CO₂ concentratie wordt gemeten met een CO₂ analysator per vier afdelingen. Deze metingen zijn daardoor een keer per vier minuten beschikbaar. De CO₂ dosering vindt plaats met zuivere CO₂ met als streefwaarde 500 ppm.

2.3.3 Berekende warmteafgifte door buizen

Om het energieverbruik te bepalen is gebruik gemaakt van twee verschillende berekeningen uitgaande van het verschil tussen kas- en buistemperatuur.

Als eerste eenvoudige schatting is gebruik gemaakt van de volgende berekening:

$$\text{energieafgifte (Wm}^{-2}\text{)} = (T_{\text{buis}} - T_{\text{kas}}) \times 3.2$$

Deze schatting is gebaseerd op de gemiddelde warmteafgifte van 4 verwarmingsbuizen (51mm) per kap van 3.20 m.

Voor de uiteindelijke verwerking en de data-analyse is gebruik gemaakt van de door Stoffers (1976 en 1989) berekende warmte overdrachtscoëfficiënten voor een buisrail van 1 meter lengte:

$$K_{\text{convectie}} = 6.52 \times ((T_{\text{buis}} - T_{\text{kas}}) / (0.051 \times T_{\text{kas}}))^{0.25}$$

$$K_{\text{straling}} = 2.077 \times 10^{-7} \times ((T_{\text{buis}} + T_{\text{kas}}) / 2)^3$$

met T_{buis} en T_{kas} in Kelvin.

De totale warmteafgifte van 1 meter buisrail wordt dan (in W m⁻²):

$$Q = (K_{\text{convectie}} + K_{\text{straling}}) \times 3.14 \times 0.051 \times (T_{\text{buis}} - T_{\text{kas}})$$

2.3.4 Waterverbruik

Het waterverbruik per afdeling is bepaald door de hoeveelheid gift en de hoeveelheid drain te meten en te cumuleren.

Er wordt gewerkt met een vaste gift per beurt (ingesteld op ongeveer 10 liter per keer) voor een oppervlak van $42.2 \text{ m}^2 =$ ongeveer 237 ml per m^2). Deze gift is vooraf per afdeling exact geijkt en tijdens het verloop van de proef gecontroleerd. De aansturing van de klep voor de watergift vindt plaats via een computerprogramma met daarin een verdampingsmodel (de Graaf et al, 1989). De drainmeting vindt plaats met behulp van een cylinder met bekende inhoud (ongeveer 150 ml per keer). Deze cylinder wordt via een regelsysteem met pneumatische kleppen automatisch gevuld en geleegd. Het aantal keer vullen/leeggen wordt door een pulsteller bijgehouden. Deze pulsen worden aan het computersysteem doorgegeven. Het waterverbruik wordt vervolgens berekend als:

Waterverbruik = aantal beurten x gift - aantal drainpulsen x 150 ml

Het watergeefprogramma is ingesteld op een vast doorspoelpercentage (1/3 van de verdamping). Hierdoor wordt voorkomen dat er tussen de behandelingen verschillen in vochtigheid en EC in de matten ontstaan.

In bijlage 2 zijn de exact gemeten gift en drain per afdeling weergegeven. Deze waardes kunnen in het gebruikte regel/rekenprogramma als parameters worden gewijzigd.

2.4 Gewaswaarnemingen

2.4.1 Bloei

De bloei is twee keer per week waargenomen aan 16 planten per afdeling vanaf 8 februari (in elke afdeling in het linkse pad van de middelste kap). De hoogst bloeiende tros werd genoteerd.

2.4.2 Bladoppervlakte

Tijdens de proef is de bladoppervlakte bepaald zonder volledige planten weg te halen (waardoor gaten in de afdeling zouden ontstaan). Van verschillende planten in de afdeling is per plant één laag tussen twee trossen weggehaald. Zo worden bij de eerste plant de bladeren tot de eerste tros weggehaald, bij de tweede plant van de eerste tot de tweede tros etc. Hierdoor ontstaat een goed beeld wat betreft de plantopbouw en het totale bladoppervlak. De waarnemingen aan de bladlagen zijn twee keer uitgevoerd (week 8 en week 12). Behalve het bladoppervlak is het aantal bladeren genoteerd en het versgewicht gemeten.

De (per afdeling berekende) verhouding oppervlak/versgewicht is later gebruikt om de bladoppervlakte te schatten van de bladeren die bij normale teelthandeling verwijderd werden. Van deze bladeren is bij elke keer bladplukken het versgewicht bepaald.

Van de geplukte bladlagen en de normale bladpluk zijn monsters genomen om het droogstof % te bepalen (droogomstandigheden: 2-3 dagen bij 80 °C).

2.4.3 Plantslacting bij einde proef

Na het beëindigen van de behandelingen zijn per afdeling twee planten (uit de middelste kap) verwijderd. Per plant werden de volgende grootheden bepaald: versgewicht blad, stengel en vruchten, bladoppervlak, aantal vruchten, drooggewicht blad, stengel en vruchten. Naast deze twee planten is van 10 andere planten uit de middelste kap het versgewicht bepaald van blad, stengel en vruchten. Deze gegevens zijn, samen met de gegevens over afgeplukte bladeren en geogste vruchten, gebruikt om het totaal geproduceerde bladoppervlak en de totaal vers- en drooggewicht producties en verdeling tussen blad, stengel en vruchten te berekenen.

2.4.4 Vruchtzetting

De zetting is bepaald als het aantal gezette vruchten per tros aan dezelfde 16 planten waarvan de bloei werd waargenomen.

2.4.5 Oogstbare tros

De oogstbare tros is op dezelfde wijze als de bloei waargenomen, de hoogst oogstbare tros aan een plant wordt genoteerd. Ook hier zijn dezelfde 16 planten voor gebruikt als voor de bloei en de zetting.

2.4.6 Productie en kwaliteit

Er is drie keer in de week geoogst. Alle vruchten uit de middelste kap zijn geteld en gewogen. Bovendien is genoteerd hoeveel vruchten aangetast zijn door neusrot.

Er zijn twee keer tijdens de proefperiode vruchten onderzocht op houdbaarheid, goudspikkels en zwelscheuren. De smaakcomponenten (aangenaamheid, stevigheid, taatheid, meligheid, sappigheid, aroma, zuur/zoet) zijn met behulp van het smaakpaneel van het PTG onderzocht. Daarnaast zijn de vruchten geanalyseerd op refractie en suiker en zuurgehaltes.

2.4.7 Bladanalyses en magnesiumgebrek

Op 3 mei zijn uit alle afdelingen bladmonsters genomen van jonge bladeren. Deze monsters worden geanalyseerd op de aanwezigheid van kalium, calcium en magnesium. Op het moment van verschijnen van dit rapport waren de analysecijfers echter nog niet beschikbaar. Deze cijfers zullen in de eindrapportage worden opgenomen.

Begin april is door een aantal mensen het magnesiumgebrek visueel beoordeeld in een schaal van 0 tot 4.

2.4.8 Data-opslag

De klimaat- en waterverbruikdata zijn gecomprimeerd tot urengegevens en overzichten per dag. In bijlage 6 is een overzicht gegeven van alle aangemaakte datafiles van klimaat, waterverbruik, oogst en plantwaarnemingen. Ook zijn de gebruikte Genstat programmapfiles genoteerd. Alle data- en programmapfiles zijn na verwerking op tape opgeslagen.

3. Resultaten

3.1 Klimaat

De gerealiseerde klimaatomstandigheden over de periode 8 februari tot en met 27 april zijn weergegeven in tabel 3.1

De kasttemperatuur en het CO₂-gehalte verschillen niet significant tussen de behandelingen. De verschillen in vochtgehalte en vochtdeficit tussen de extreme behandelingen zijn wel significant. De verschillen ontstaan doordat bij een gelijke kasttemperatuur, de luchtramen bij behandeling 3 vaker en langer openstaan.

De gemiddelde buistemperatuur en de berekende warmte-afgifte zijn zoals te verwachten bij 70°C continu het hoogst.

Tabel 3.1 De kasttemperatuur (°C), het vochtgehalte (gm⁻³), CO₂ concentratie tijdens de periode 8 tot 16 uur (ppm), de buistemperatuur (°C) en het vochtdeficit (kPa) (gemiddeldes over de totale behandelingsperiode van 8/2 t/m 27/4/93).

beh.	Tkas	vochtg	CO ₂	Tbuis	VPD
1	19.3	12.9	502	45.2	0.51
2	19.4	12.2	501	50.2	0.63
3	19.7	10.2	496	64.0	0.93
4	19.5	11.6	473	53.8	0.71
5	19.5	11.5	488	53.8	0.72
6	19.5	11.7	496	54.8	0.70
gem.	19.5	11.7	493	53.6	0.71

3.2 Waterverbruik

In tabel 3.2 is het gemeten waterverbruik tot en met 6 april voor de verschillende behandeling en herhalingen weergegeven. Van afdeling 20 (behandeling 2 herhaling 4) zijn de metingen verstoord door technische storingen, deze afdeling is dan ook buiten beschouwing gelaten. Het gemiddelde waterverbruik vertoont een stijging bij de hogere buistemperaturen. Opvallend is overigens wel dat ook tussen de herhalingen van één behandeling grote verschillen gemeten zijn. Dit kan onder andere te maken hebben met verschillen in het bladoppervlak.

De gegevens tot en met 27 april zijn achterwege gelaten doordat voor de betrouwbaarheid niet kon worden ingestaan. In de periode van 6 t/m 28 april is

het regelmatig voorgekomen dat er onvoldoende watervoorraad aanwezig was als gevolg van storingen bij het vullen van de voorraadtank. De door het regelprogramma berekende waterbalans werd daardoor zodanig verstoord dat er voor de laatste drie weken geen betrouwbaar totaal waterverbruik kon worden berekend. Overigens is het nooit voorgekomen dat de in de matten beschikbare watervoorraad voor het gewas ontoereikend was. Bij de verwerking van de gegevens is gepoogd om op basis van het gerealiseerde klimaat tijdens de laatste drie weken een inschatting te maken van het waterverbruik.

Bovengenoemde problemen zijn na het beeindigen van de proef opgelost door een controlemeting (drukmeting) gecombineerd met een (alarm)melding achter de hoofdpomp en gewijzigde aansturing van de watergeefkleppen per afdeling.

Tabel 3.2 Totaal gemeten waterverbruik ($l m^{-2}$) van de behandelingen in de periode van 9 februari 1993 tot en met 6 april 1993.

blok	1	2	3	4	gemid.
beh.					
1	114.5	103.8	111.6	109.6	109.9
2	108.1	109.8	113.0	*	110.3
3	123.1	118.9	130.9	133.9	126.7
4	106.6	118.5	119.5	117.9	115.6
5	116.4	110.8	120.5	119.9	116.9
6	119.9	121.2	104.3	127.7	118.3
gemid.	114.8	113.8	115.9	121.8	116.3
LSD 5%					11.2

3.3 Berekend energieverbruik

Het energieverbruik van de verschillende behandelingen is voor de periode 8/2 t/m 6/4 en 8/2 t/m 27/4 berekend volgens de in 2.3.3 genoemde methodes. In tabel 3.3 zijn de resultaten weergegeven. Voor het omrekenen naar gasverbruik is gebruik gemaakt van een 90% rendement van de ketelinstallatie en een energieinhoud van $1 m^3$ gas van 35.17 MJ.

De berekening volgens methode 1 (energieafgifte = $(T_{buis} - T_{kas}) \times 3.2$) levert iets hogere waardes ten aanzien van kWh en m^3 gas op dan de meer betrouwbare

methode 2. De resultaten met methode 1 zijn hier toch opgenomen omdat die vrij simpel toegepast kan worden als betrouwbare vuistregel voor het berekenen van warmte-afgifte.

In beide gevallen zijn de verschillen echter zeer duidelijk significant. Bij de continu 70 °C minimum buis (behandeling 3) neemt het energieverbruik zeer sterk toe. In alle gevallen liggen de wisselende behandelingen precies tussen de twee extreme behandelingen in wat betreft energieverbruik. Het hier berekende energieverbruik zal hoger liggen dan in de praktijk bij het handhaven van deze buistemperaturen omdat hier systematisch is afgelucht.

Tabel 3.3 Berekend energieverbruik in kWh en m³ gas per m² voor twee periodes op basis van de twee in 2.3.3 genoemde berekeningsmethodes.

	periode 8/2 t/m 8/4						periode 8/2 t/m 27/4					
	Methode 1			Methode 2			Methode 1			Methode 2		
	kWh	m ³ gas	%	kWh	m ³ gas	%	kWh	m ³ gas	%	kWh	m ³ gas	%
1	129.9	14.8	100	114.8	13.0	100	157.0	17.9	100	136.7	15.6	100
2	144.5	16.4	111	129.0	14.7	112	186.1	21.2	119	164.6	18.7	120
3	201.5	22.9	154	192.8	21.9	168	268.3	30.5	171	256.3	29.2	187
4	163.3	18.6	126	151.7	17.3	132	208.8	23.7	133	192.6	21.9	141
5	161.8	18.4	125	149.6	17.0	130	207.7	23.6	132	191.3	21.8	140
6	167.1	19.0	128	155.3	17.7	135	213.7	24.3	136	197.5	22.5	144
gem	161.4	18.4	124	148.9	16.9	130	206.9	23.5	132	189.8	21.6	139
isd5%	6.9	0.8		7.4	0.8		8.9	1.0		9.5	1.1	

Naast deze berekeningen is met het ECP model het energieverbruik over dezelfde periode nagesimuleerd voor de continu minimum-buis instellingen 30, 50 en 70 °C (met lichtafhankelijke afbouw). Voor de periode 8 februari t/m 27 april was het gesimuleerde gasverbruik respectievelijk 17.2, 18.7 en 28.2 m³ gas per m². Deze waarden komen redelijk goed overeen met de berekende hoeveelheden met methode 2.

Bij de bovengenoemde schattingen van het energieverbruik is geen rekening gehouden met het aanhouden van een relatief hoge CO₂ concentratie (ook bij ver geopende ramen). Om deze CO₂ concentraties te handhaven is in deze proef zuivere CO₂ gebruikt. Om een indruk te krijgen van de extra hoeveelheid gas die verstoekt had moeten worden om de CO₂ te handhaven met rookgas CO₂ zijn een aantal extra berekeningen uitgevoerd.

In de eerste plaats is met methode 2 de warmte-afgifte over de periode 8/2 t/m 27/4 berekend voor de uren tussen 8 en 16 uur en omgerekend naar m³ gas.

Voor dezelfde uren is het CO₂ verlies geschat uit het verschil in concentratie

binnen en buiten en (een indicatie voor) het ventilatievoud. Omdat voor grote raamopeningen het ventilatievoud onbekend is, is gebruik gemaakt van een in het verleden bepaalde lineaire functie voor kleine raamstanden:

$$\text{ventilatiesnelheid} = 0.3 \times \text{raamstand} \times \text{windsnelheid}$$

de hierin gebruikte eenheden zijn:

ventilatiesnelheid: $\text{m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ uur}^{-1}$, totale raamstand: %, windsnelheid: m s^{-1} .

Het op deze wijze berekende CO_2 verlies is omgerekend naar m^3 gas uitgaande van een CO_2 produktie van 1.97 kg uit 1.07 m^3 gas (CO_2 brochure PTG, 1988). Het verschil tussen deze laatste hoeveelheid gas (nodig voor CO_2 dosering op het bereikte niveau) en de hoeveelheid gas voor verwarming is een maat voor de (bij gebruik van rookgas CO_2) hoeveelheid extra gas. Voor de behandelingen 1 t/m 6 zijn de op deze wijze berekende waarden: 1.8, 3.0, 4.1, 1.1, 2.3 en 2.5 m^3 gas. Gezien de onnauwkeurigheid van de schatting van de ventilatie zijn de waarden niet meer dan een indicatie. Meer nauwkeurigere schattingen kunnen worden uitgevoerd als de ventilatiekarakteristiek ook bij grote raamstanden voldoende bekend is.

Als de gasverbruikcijfers uit tabel 3.3 (methode 2) worden gecorrigeerd met bovengenoemde waarden, zijn de relatieve gasverbruiken voor behandeling 1 t/m 6 respectievelijk 100, 125, 191, 132, 138 en 144%. Hierdoor ontstaat er geen wezenlijke verschuiving van het beeld.

3.4 Watergehalte, EC en mattemperatuur

Het watergehalte en de EC in de matten verschilde niet bij de verschillende behandelingen (Bijlage 3). De mattemperatuur is bij behandelingen met 70°C minimum buis temperatuur gemiddeld genomen iets hoger maar het verschil neemt in de tijd af tot minder dan 1°C . De verschillen in wortelklimaat kunnen daarom als marginaal worden beschouwd.

3.5 Bloei

Omdat de gerealiseerde temperatuur in alle afdelingen vrijwel gelijk is, mag er geen verschil in bloeisnelheid worden verwacht, omdat de bloeisnelheid sterk beïnvloed wordt door de temperatuur. Bij de laatste bloeiwaarnemingen bloeide gemiddeld ruim de 12° tros (tabel 3.4). Statistische analyse (ANOVA) toonde aan dat er geen significante verschillen bestaan tussen de behandelingen.

3.6 Bladoppervlakte

Bij de eerste waarneming op 26 februari 1993 (oppervlaktemeting aan de verschillende lagen) werden geen betrouwbare verschillen in bladoppervlakte

gevonden. Op de tweede datum (23 maart 1993) was het oppervlak van behandeling 1, 2, 3 en 4 betrouwbaar kleiner ten opzichte van de behandelingen 5 en 6 (Tabel 3.5). Uit de analyse van de aantallen kon worden afgeleid dat bij behandelingen 5 en 6 de bladeren gemiddeld iets groter zijn dan bij de overige.

Bij de plantslacting aan het einde van de proefperiode zijn twee waarden berekend. In de eerste plaats het werkelijk aan de planten aanwezige bladoppervlak. Daarnaast is het totaal tijdens de proef gevormde bladoppervlak berekend, dus inclusief het bladoppervlak van de reeds verwijderde bladeren. Voor deze berekeningen is gebruik gemaakt van de verhouding oppervlak/versgewicht per afdeling (bepaald aan twee planten bij de eindslacting) en het versgewicht blad van de in totaal 12 gemeten planten. De oppervlakte van geplukte bladeren aan het einde van de proef was gemiddeld 1.1 m² per plant (verschil tussen totaal gevormd en nog aanwezig) (Tabel 3.5). Zowel het oppervlak van de nog aanwezige bladeren als het totaal gevormde bladoppervlak verschilde niet tussen de behandelingen (Tabel 3.5).

Tabel 3.4 Bloeiende tros bij de verschillende behandelingen op dagnummer 117 (27/4/93)

blok	1	2	3	4	gemid.
beh.					
1	12.1	11.9	11.9	11.7	11.9
2	12.1	12.3	12.1	12.2	12.3
3	12.5	12.3	11.8	11.6	12.0
4	11.7	12.2	12.1	12.1	12.0
5	12.1	12.0	11.7	12.3	12.0
6	11.9	12.4	12.3	11.9	12.1
gemid.	12.1	12.2	12.0	12.0	12.0

Tabel 3.5 Totaal bladoppervlak (m² per plant), op drie data

beh.	26/2	23/3	27/4	totaal gevormd
1	0.88	1.63	1.40	2.48
2	0.90	1.67	1.37	2.69
3	0.87	1.59	1.49	2.55
4	0.90	1.68	1.46	2.65
5	0.85	1.80	1.32	2.45
6	0.90	1.79	1.48	2.43
gem.	0.88	1.69	1.42	2.54
LSD 5%	n.s.	0.11	n.s.	n.s.

3.7 Vruchtzetting

Tussen de behandelingen bestaat geen betrouwbaar verschil in zetting (Tabel 3.6). Het aantal gezette vruchten per tros verschilt wel significant tussen de verschillende trossen.

Tabel 3.6 Vruchtzetting bij de verschillende behandelingen per tros (Behandelingseffect: LSD5% = 0.42, tros-effect: LSD 5% = 0.33, door afrondingen lijkt het verschil tussen beh. 1 en 3 dat is echter niet het geval).

tros	1	2	3	4	5	6	7	8	9	g
beh.										
1	8.4	9.4	9.9	9.9	10.2	9.8	9.7	10.4	10.1	9.7
2	8.6	9.2	10.1	9.7	10.2	10.3	9.9	9.4	8.9	9.5
3	8.5	8.9	9.3	9.4	9.9	9.3	8.8	9.0	9.3	9.2
4	8.4	8.7	9.6	9.8	10.1	9.5	9.0	10.1	9.4	9.4
5	8.7	9.0	9.5	9.9	10.1	9.6	8.4	9.9	10.5	9.5
6	8.3	9.1	9.7	9.6	10.1	9.7	9.5	10.3	9.0	9.5
gemid.	8.5	9.1	9.7	9.7	10.1	9.7	9.0	9.8	9.5	9.5

3.8 Oogstbare tros

Op 13 april werd bij 70°C continu al ruim van de tweede tros geoogst terwijl behandeling 1 (30°C continu) significant achterbleef. Zie tabel 3.7

Dit betekent een versnelling (of vervroeging) van de oogst bij de hoogste minimum buistemperatuur als gevolg van een snellere afrijping. Opvallend is echter dat bij behandeling 6 (waarbij slechts de helft van de tijd een minimum buis van 70°C is aangehouden) van dezelfde tros geoogst wordt.

Deze trend op 13 april komt overeen met de (zeer kleine) verschillen in kastemperatuur. Op 6 mei wordt geoogst van de vierde en vijfde tros. Tussen de behandelingen bestaan geen duidelijke verschillen, alleen behandeling 1 wijkt af van 2 en 5. De trend zoals op 13 april zichtbaar is echter niet meer aanwezig.

3.9 Productie

De produktie is gemeten tot 12 mei (twee weken na het beëindigen van de behandelingen). In tabel 3.7 is de produktie op twee peildata weergegeven.

Op 13 april springen met name de extreme behandelingen 1 en 3 er uit.

Bij de 70 °C continu zijn de meeste vruchten geoogst en ook het hoogste gewicht. Bij 30 °C continu blijft de produktie in aantal en kilo nog achter maar is het vruchtgewicht significant hoger dan bij 70 °C continu.

Evenals bij de oogstbare tros moet dit worden toegeschreven aan een vroegheidseffect door de hogere temperatuur van de afrijpende vruchten als gevolg van de (warme) buis in de direkte omgeving van de trossen. Het hogere vruchtgewicht bij behandeling 1 blijkt op 13 april echter niet voldoende om het lagere aantal vruchten te compenseren. Op de genoemde datum verschillen overigens alleen behandeling 3 en 6 met behandeling 1 wat betreft het gewicht.

De totaal produktie op 12 mei blijkt echter niet significant te verschillen tussen de 6 behandelingen. Zowel het aantal, gewicht en gemiddeld vruchtgewicht wijken niet significant van elkaar af.

3.10 Kwaliteit

Bij de externe kwaliteitskenmerken is alleen bij zwelscheuren een duidelijke lijn zichtbaar. Bij een hogere buistemperatuur komen minder scheurtjes voor. Bij de overige kenmerken is geen duidelijke lijn zichtbaar. Er lijkt op de eerste datum een lagere houdbaarheid op te treden bij de laagste buistemperatuur. Statistische analyse heeft op dit moment echter nog niet plaats gevonden (dit zal op korte termijn gebeuren).

Tabel 3.7 Totaal aantal geoogste vruchten, totaal geoogst gewicht (kg/m²) en het gemiddeld vruchtgewicht (g).

behandeling	oogstbare tros		produktie 13/4			produktie 12/5		
	13/4	6/5	aantal	kg	GMV	aantal	kg	GMV
1	1.7	4.4	19.5	1.41	72	108.6	7.91	73
2	1.8	4.7	23.7	1.66	70	113.6	8.32	73
3	2.1	4.6	29.0	1.94	67	109.6	7.92	72
4	1.8	4.5	23.7	1.64	69	108.2	8.06	74
5	1.8	4.8	24.5	1.69	69	113.0	8.32	74
6	2.0	4.5	24.8	1.77	71	112.9	8.19	73
gem.	1.9	4.6	24.2	1.69	70	111.0	8.12	73
LSD 5%	0.3	0.3	4.0	0.30	4.3	n.s.	n.s.	n.s.

Tabel 3.8 Externe kwaliteitsbeoordeling en houdbaarheid op twee tijdstippen (hbh = houdbaarheid in dagen, gsp = score goudspikkels van 1 tot 3, %gsp = % vruchten met goudspikkels, zwel = score zwelscheuren van 1 tot 3, %zwel = % vruchten met zwelscheuren).

beh.	oogstdatum 13/4					oogstdatum 28/4				
	hbh	gsp	%gsp	zwel	%zwel	hbh	gsp	%gsp	zwele	%zwel
1	19.9	1.41	46	1.83	60	26.0	1.92	67	1.72	54
2	21.1	1.47	44	1.34	46	26.3	1.54	48	1.33	40
3	21.7	1.58	53	0.97	30	25.4	1.40	41	1.22	34
4	20.9	1.51	45	1.22	38	26.8	1.64	54	1.48	44
5	20.6	1.87	65	1.01	32	26.8	1.44	44	1.39	38
6	19.9	1.57	53	1.14	32	27.5	1.79	61	1.29	36
lsd 5%	gemiddeld over beide data					n.s.	0.2	9	0.3	11

Tabel 3.9 Smaakbeoordeling, gemiddeld over twee data (13 en 28 april).

beh.	aangenaam	stevig	taai	melig	sappig	aroma	zuur	zoet
1	42	46	33	53	53	33	35	30
2	48	45	32	40	40	37	34	36
3	55	49	40	37	37	41	41	37
4	47	44	37	38	38	36	36	35
5	48	45	32	43	43	39	42	34
6	48	45	33	44	44	41	41	33
LSD 5%	5	n.s.	6	8	6	6	7	n.s.

Ten aanzien van de smaakcomponenten is er wel een zeer duidelijke invloed van de behandelingen. Bij een hogere buistemperatuur wordt de totale aangenaamheid duidelijk hoger gewaardeerd (tabel 3.9). De vruchten zijn duidelijk minder melig en meer sappig bij de hoogste minimum buis temperatuur. Deze resultaten komen min of meer overeen met de gemeten refractie (respectievelijk 4.2, 4.3, 4.5, 4.3, 4.4 °Brix voor behandeling 1 t/m 6, LSD5% = 0.2)

3.11 Totaal vers- en drooggewicht produktie en verdeling

De totaal gemeten vers- en drooggewicht produktie verschilden niet significant tussen de behandelingen (Tabel 3.10). Ook de verdeling over de verschillende organen werd niet significant beïnvloed door de aangelegde behandelingen. De totale plantopbouw en de balans vegetatief/generatief is dus bij alle behandelingen niet ondeling verschillend.

3.12 Bladanalyses en Magnesiumgebrek.

De analysecijfers waren bij het verschijnen van dit rapport nog niet beschikbaar. De waardering voor Magnesiumgebrek was gemiddeld voor behandeling 1 t/m 6: 2.0, 1.7, 1.1, 1.2, 1.6, 1.7.

Tabel 3.10 Totaal vers- en drooggewicht produktie over de periode 8/2/93 t/m 28/4/93 en de procentuele verdeling over blad, stengel en vruchten. Versgewicht totaal in kg per plant, drooggewicht totaal in gram per plant.

beh.	versgewicht				drooggewicht			
	tot	%bl	%st	%vr	tot	%bl	%st	%vr
1	8.19	16.0	7.7	76.3	474.4	24.6	12.7	62.7
2	8.21	16.1	7.9	75.9	474.1	24.7	12.5	62.8
3	7.78	16.9	7.9	75.2	457.3	25.1	12.6	62.2
4	8.18	16.5	7.5	75.9	483.9	25.6	12.2	62.2
5	8.19	15.3	7.5	77.1	476.1	23.9	12.2	64.0
6	8.03	16.3	7.8	75.8	471.0	24.2	12.6	63.2
lsd 5%	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

4. Discussie

In tabel 4.1 zijn de belangrijkste resultaten m.b.t. energieverbruik, waterverbruik en groei samengevat.

Tabel 4.1 Relatief energieverbruik (Tabel 3.3, methode 2 t/m 6/4) en -waterverbruik (Tabel 3.2) en totaal drooggewicht productie (Tabel 3.9) en vruchtproductie (Tabel 3.7).

behandeling	energieverbruik	waterverbruik	% stijging energieverbruik per % extra waterverbruik	drooggewicht	vruchtproductie
30 °C	100 %	100 %	0	474	7.91
50 °C	112 %	101 %	12	474	8.32
70 °C	168 %	115 %	4.5	457	7.92
30/70 °C 5d	132 %	105 %	6.4	484	8.06
30/70 °C 5d	130 %	106 %	5.0	476	8.32
70/30 °C 5d	135 %	107 %	5.0	471	8.19

- Energieverbruik

Een 70°C buis gebruikt veel extra (bijna 70%) energie. De wisselende behandelingen gebruiken circa 50% van de behandeling met een continue buis van 70°C. Dit komt volledig overeen met de verwachting, omdat slechts de helft van de tijd een hoge minimum buis ingesteld was. Hieruit kan bovendien worden afgeleid dat het buitenklimaat niet op de een of andere wijze "in fase" wisselde met de behandelingen. Het verschil in energieverbruik tussen 70 - 50°C is aanzienlijk groter dan 50 - 30°C (tabel 4.1). Dit komt omdat het verschil T_{buis}-T_{kas} bij 70°C minimumbuis gemiddeld ruim 18°C hoger ligt dan bij 30°C minimumbuis en bij 50°C minimumbuis slechts ongeveer 5°C (Tabel 3.1).

De hier gerealiseerde verschillen in energieverbruik hangen sterk samen met de heersende buitenomstandigheden in het voorjaar van 1993. In februari was door de lage buitentemperatuur en geringe straling voor het realiseren van een gewenste stooktemperatuur vaak een hogere buistemperatuur nodig dan de ingestelde minimum buis. In maart is de minimum buis regelmatig sterk afgebouwd door de hoge straling overdag, waardoor alleen 's nachts verschil in minimum buis aanwezig was. De gevonden verschillen geven dus alleen een indicatie van de effecten op het energieverbruik en kunnen niet als algemeen geldend worden aangenomen.

- Relatie energieverbruik-waterverbruik

Uit tabel 4.1 blijkt dat de behandeling met een minimum buis van 50°C 12% extra energie verbruikt. Toch heeft dit nauwelijks invloed op de transpiratie, het totale waterverbruik stijgt met slechts 1%. De stijging van het waterverbruik per eenheid extra energie is voor deze behandeling het ongunstigst van allemaal (12% extra energie voor 1% extra waterverbruik). Hierbij moet wel worden opgemerkt dat de deze verhoudingsgetallen een relatief grote onnauwkeurigheid hebben gezien de LSD waarde voor het waterverbruik (Tabel 3.2).

Een minimum buis van 70°C continu verbruikt 68% extra energie met een stijging van het waterverbruik van 15%. Per % extra waterverbruik is slechts 4.5% extra energie nodig. De andere wisselende behandelingen (met name 5 en 6) liggen iets hoger. Voor het verhogen van de transpiratiesom is een hogere buistemperatuur dus efficiënter dan een matige buistemperatuur.

Als het gewas dus om welke reden dan ook een bepaalde transpiratiesom nodig heeft is het uit het oogpunt van energie-efficiency (op basis van de resultaten in dit onderzoek) beter kort hevig (hoge buis) te stoken dan lang laag (matige buis). De hier gevonden trend ten aanzien van efficiënte inzet van buistemperaturen voor het verhogen van de transpiratie is in overeenstemming met eerder uitgevoerde theoretische berekeningen op basis van een aantal vuistregels voor warmte-afgifte en verdamping (Bakker, 1992).

- Groei en produktie relatie tot waterverbruik

De wisselende behandelingen wijken in geen enkel opzicht af van de continue behandelingen. Op zich is dit niet verwonderlijk omdat er tussen de 30°C en 70°C continu ook geen verschillen zijn. Vanuit gewasontwikkelings oogpunt lijkt er dus geen reden voor het continu aanhouden van een hoge minimum buistemperatuur. Daarbij moet echter wel worden opgemerkt dat er geen eventuele na-effecten konden worden waargenomen. Vanuit diverse kanten wordt gesteld dat voor de conditionering van het gewas (bv. als voorbereiding op klimaatovergangen en weerstand tegen schimmelinfecties) continue stimulering van de verdamping nodig is. In het vervolg van dit project kan hieraan mogelijk aandacht worden gegeven indien een oplossing gevonden wordt voor het feit dat door de lage kashoogte lange doorteelten praktisch niet uitvoerbaar zijn.

Tijdens de proefperiode is in geen van de behandelingen en aantasting door Botrytis waargenomen. Dit is mogelijk mede het gevolg van de vroege periode in het jaar waarin het experiment is uitgevoerd. Met name stengel botrytis treedt meestal in het najaar op, op de horizontaal liggende stengeldelen. Dit stadium is in deze proef niet bereikt.

Met behulp van regressie analyse is getracht het verband te vinden tussen het gemeten waterverbruik en de vers- en drooggewichtgroei. In een aantal gevallen lijkt er sprake te zijn van een trend (Bijlage 4a) maar in geen van de gevallen was de correlatiecoëfficiënt significant bij 95% betrouwbaarheid ($p < 0.05$ bij 21 vrijheidsgraden = 0.41), zie Bijlage 4b.

In engels onderzoek (Joliet et al., 1993) wordt uitgegaan van een relatie tussen

de extra produktie tov. een referentie en de extra verdamping tov. dezelfde referentiebehandeling. Ook deze relatie kon op basis van de hier gevonden data niet worden gevonden. Dit houdt mogelijk verband met het traject waarin gewerkt is. De transpiratie-niveaus lagen zo hoog dat er geen visuele symptomen van calcium gebrek optraden met een daaraan gekoppeld verlies van bladoppervlak. Uit eerder onderzoek naar de invloed van luchtvochtigheid (Bakker, 1991) kan worden afgeleid dat alleen in gevallen waar een invloed op het bladoppervlak aanwezig is, werkelijke significante effecten op de produktie optreden.

- Kwaliteit

De kwaliteit neemt over het algemeen toe bij een hogere buistemperatuur, zowel wat betreft smaak als uitwendig (zwelscheuren). De in de praktijk aangehouden minimumbuis temperaturen zijn zeker niet hoger dan de in deze proef aangehouden niveau's. Op basis hiervan zou de voorzichtige conclusie getrokken kunnen worden dat een verlaging van de thans in de praktijk aangehouden minimum buistemperaturen mogelijk tot negatieve effecten op de smaak, en daarmee op het imago van de tomaat zouden kunnen leiden. De resultaten van één experiment zijn echter onvoldoende om deze conclusie nu al definitief te kunnen trekken.

- Opzet vervollexperiment

Er is geen verband gevonden tussen het waterverbruik en de produktie. Dit houdt mogelijk verband met de heersende buitenomstandigheden waardoor ook de laagste transpiratieniveau's voldoende hoog waren. Het is echter voorbarig om op basis van dit eerste experiment harde conclusies te trekken. Zo kan nog geen uitspraak gedaan worden over de mogelijke integratiecapaciteit van het gewas bij lagere transpiratieniveaus.

Om eerst na te gaan in hoeverre er een relatie bestaat tussen het transpiratieniveau en de produktie zal in het volgende experiment gestreefd worden naar het verder uit elkaar trekken van de gerealiseerde transpiratie-niveau's.

Om de transpiratie zo laag mogelijk te krijgen zal er een (controle) behandeling gebruikt worden zonder enige vorm van minimum buis.

In overleg met de stuurgroepleden is op 26 november 1993 besloten om in principe de volgende klimaatbehandelingen aan te leggen (zoz):

1. geen minimum buis met dagelijks nat spuiten van de vloer en 's nachts schermen
- 2: geen minimum buis met dagelijks nat spuiten van de vloer
- 3: geen minimum buis
- 4: 40 °C continue
- 5: 70 °C continue
- 6: 40 °C continue met een 2 °C hogere ventilatietemperatuur

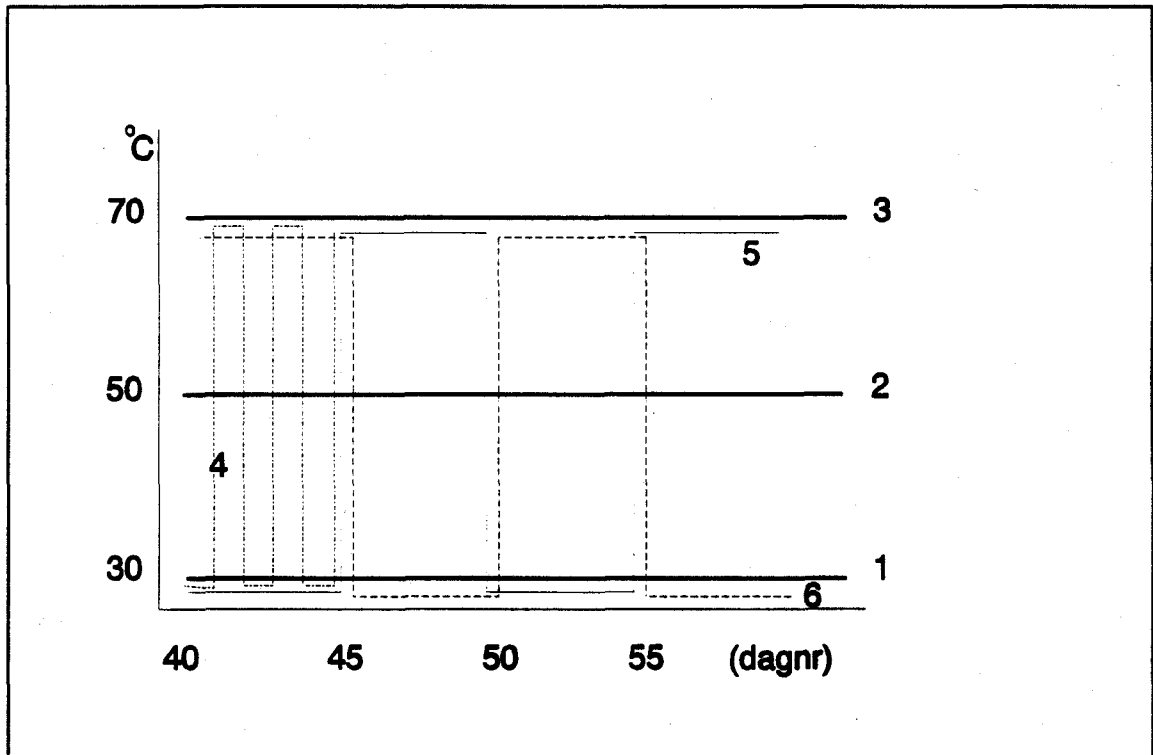
Overige aspecten:

- plantdatum: rond 18 januari
- gewas/ras: Ronde tomaat, ras Astrid (idem 1993)
- start behandelingen: week 4 of 5
- einde behandelingsperiode: week 18 of 19 (indien gewas dit toelaat)
- na beëindigen behandelingen worden gedurende enkele weken mogelijke na-effecten gevolgd.
- standaard voeding

Literatuur

- CO₂ in de kas, 1988. Brochure Proefstation voor Tuinbouw onder Glas/Consulentschappen voor de Tuinbouw, Naaldwijk. nr. 85, 56 blz.
- Bakker, J.C., 1991. Analysis of humidity effects on growth and production of glasshouse fruit vegetables. Diss. LUW, 155 blz.
- Bakker, 1992. Lezingen voor tomatentuinders (Studieclub Zuid Nederland, Diverse NTS commissies: Meer produktie, minder gas).
- Bakker, J.C., Bos, L. van de, Arendzen, A.J. en Spaans, L., 1988. A distributed System for Glasshouse Climate control, Data Acquisition an Analysis. Comput. Electron. Agric., 3:1-9.
- Graaf, R. de en Spaans, L., 1989. Automatisering watergeven bij teelten op substraat met behulp van een watergeefrekenmodel, Intern verslag nr. 33: 15 blz.
- Joliet, O., Bailey, B.J., Hand, D.J., Cockshull, K., 1993. Tomato yield in greenhouses related to humidity and transpiration. Acta Hort., 328: 115-124.
- Sonneveld, C. en de Kreij, C., 1986. Voedingsoplossingen voor groenten en bloemen geteeld in water of substraten. Serie Voedingsoplossingen glastuinbouw, no 8., 30pp.
- Vermeulen, P. en van de Beek, H., 1992. Bedrijfseconomische gevolgen van de milieudoelstellingen met betrekking tot het direkte energieverbruik en CO₂ uitstoot. Fase 1. Ontwikkelingen energieverbruik, Produktie en energie-efficiëntie. PTG verslag nr 17, 29 blz.

Bijlage 1a. Schematisch overzicht verloop minimum buis setpoints voor de verschillende behandelingen voor de eerste 20 dagen na de start behandelingen (dag 40 t/m 60).



Bijlage 1b. Proefschema.

24/6	20/2	16/3	12/5	8/1	4/4	blok 4
23/1	19/5	15/2	11/4	7/6	3/3	blok 3
22/4	18/3	14/1	10/6	6/5	2/2	blok 2
21/2	17/5	13/6	9/1	5/4	1/3	blok 1

Bijlage 2 IJkwaardes gift en drain in kas 210

afdelingsnummer	gift per beurt (instelling 10 l)	drain per puls (ml)
1	10.5	147.8
2	10.5	150.6
3	10.5	143.3
4	10.5	145.8
5	11.5	147.8
6	10.5	149.6
7	11.0	141.3
8	10.5	143.0
9	9.5	155.9
10	10.5	144.0
11	10.0	144.3
12	10.5	142.3
13	11.0	146.3
14	10.3	144.2
15	10.5	145.0
16	10.0	141.5
17	10.0	146.3
18	11.0	143.0
19	10.0	144.1
20	12.3	145.3
21	10.7	145.2
22	10.3	158.1
23	11.0	145.3
24	10.5	146.3

Bijlage 3a Watergehalte

Tabel 1. Watergehalte (%V/V) bij verschillende behandelingen op dagnummer 40

blok	1	2	3	4	gemid.
beh.					
1	73.3	62.1	67.4	69.7	68.1
2	69.3	66.2	62.0	71.8	67.3
3	67.7	70.8	69.6	73.6	70.4
4	72.2	71.1	74.8	71.6	72.4
5	69.0	70.2	73.2	68.8	70.3
6	70.4	67.2	66.9	73.1	69.4
gemid.	70.3	67.9	69.0	71.4	69.7

Tabel 2. Watergehalte (%V/V) bij verschillende behandelingen op dagnummer 54

blok	1	2	3	4	gemid.
beh.					
1	72.3	61.4	69.0	65.4	67.1
2	71.0	64.4	66.4	69.7	67.9
3	59.1	66.4	61.9	71.3	64.7
4	71.1	67.7	71.9	66.7	69.3
5	64.6	67.7	71.6	69.8	68.4
6	69.7	65.0	64.7	63.4	65.7
gemid.	68.0	65.4	67.6	67.7	67.2

Tabel 3. Watergehalte (%V/V) bij verschillende behandelingen op dagnummer 68

blok	1	2	3	4	gemid.
beh.					
1	73.6	63.3	73.0	73.8	70.9
2	74.6	72.6	65.3	74.0	71.4
3	70.3	72.6	64.9	75.2	70.8
4	70.6	73.2	73.1	67.2	71.0
5	68.8	71.2	73.2	69.0	70.1
6	72.4	67.9	70.4	69.7	70.1
gemid.	71.7	70.1	70.0	71.5	70.8

Tabel 3a. Watergehalte (%V/V) bij verschillende behandelingen op dagnummer 82

blok	1	2	3	4	gemid.
beh.					
1	72.6	61.4	74.0	67.3	68.8
2	72.3	62.9	65.2	70.9	67.8
3	62.6	69.4	66.6	71.2	67.4
4	68.3	72.2	72.1	65.6	69.6
5	67.4	65.1	71.3	67.2	67.8
6	72.6	64.2	70.1	65.2	68.0
gemid.	69.3	65.9	69.9	67.9	68.2

Tabel 5. Watergehalte (%V/V) bij verschillende behandelingen op dagnummer 96

blok	1	2	3	4	gemid.
beh.					
1	72.8	59.0	70.6	63.3	66.4
2	69.4	60.4	68.2	65.9	66.0
3	61.0	67.3	62.3	70.9	65.4
4	66.8	64.8	71.3	64.2	66.8
5	63.1	65.0	69.0	66.2	65.8
6	66.8	63.8	66.1	63.9	65.1
gemid.	66.6	63.4	67.9	65.7	65.9

Bijlage 3b EC-waarden

Tabel 1. EC-waarden (Ms/cm) bij verschillende behandelingen op dagnummer 40

blok	1	2	3	4	gemid.
beh.					
1	2.8	2.9	2.6	2.9	2.8
2	2.9	2.9	2.9	2.5	2.8
3	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
4	2.8	2.8	2.7	2.8	2.8
5	2.7	2.9	2.7	2.8	2.8
6	2.9	2.9	2.8	2.9	2.9
gemid.	2.8	2.9	2.8	2.8	2.8

Tabel 2. EC-waarden (Ms/cm) bij verschillende behandelingen op dagnummer 54

blok	1	2	3	4	gemid.
beh.					
1	2.9	3.2	2.8	3.1	3.0
2	2.9	2.9	3.0	2.8	2.9
3	3.0	3.2	3.0	3.0	3.0
4	2.9	3.0	2.8	2.9	2.9
5	3.0	2.9	2.9	2.9	2.9
6	3.1	3.1	3.0	3.2	3.1
gemid.	3.0	3.0	2.9	3.0	3.0

Tabel 3. EC-waarden (mS/cm) bij verschillende behandelingen op dagnummer 68

blok	1	2	3	4	gemid.
beh.					
1	4.6	3.9	3.7	3.9	4.0
2	4.5	3.9	4.3	4.0	4.2
3	3.9	4.4	4.0	4.1	4.1
4	4.3	3.7	4.2	3.7	4.0
5	4.1	4.0	4.2	4.4	4.2
6	4.3	4.2	3.8	3.7	4.0
gemid.	4.3	4.0	4.0	4.0	4.1

Tabel 3b. EC-waarden (mS/cm) bij verschillende behandelingen op dagnummer 82

blok	1	2	3	4	gemid.
beh.					
1	3.9	3.7	3.9	3.7	3.8
2	4.6	4.1	3.7	4.0	4.1
3	4.1	4.1	3.7	4.2	4.0
4	3.8	4.2	3.4	4.3	3.9
5	3.9	4.1	3.7	3.9	3.9
6	4.0	3.7	3.6	3.5	3.7
gemid.	4.1	4.0	3.7	3.9	3.9

Tabel 5. EC-waarden (mS/cm) bij verschillende behandelingen op dagnummer 96

blok	1	2	3	4	gemid.
beh.					
1	3.2	3.6	2.9	2.9	3.2
2	3.2	3.4	3.1	3.1	3.2
3	3.3	3.9	3.0	3.0	3.3
4	3.4	3.3	3.0	3.7	3.3
5	3.1	3.1	2.9	3.6	3.2
6	3.5	3.5	3.3	3.2	3.4
gemid.	3.3	3.5	3.0	3.3	3.3

Bijlage 3c Mattemperatuur

Tabel 1. Mattemperatuur (°C) bij verschillende behandelingen op dagnummer 40

blok	1	2	3	4	gemid.
beh.					
1	18.2	18.8	18.9	18.4	18.6
2	18.9	19.0	19.1	18.7	18.9
3	20.3	20.5	20.1	20.4	20.3
4	19.0	19.4	18.8	18.4	18.9
5	19.2	19.4	19.3	19.4	19.3
6	19.2	18.8	18.5	19.0	18.9
gemid.	19.1	19.3	19.1	19.0	19.2

Tabel 2. Mattemperatuur (°C) bij verschillende behandelingen op dagnummer 54

blok	1	2	3	4	gemid.
beh.					
1	19.0	18.9	19.4	19.0	19.1
2	19.8	19.1	19.4	19.6	19.5
3	19.6	20.2	19.2	19.9	19.7
4	19.0	20.1	18.9	18.8	19.2
5	19.5	19.0	19.5	19.1	19.3
6	19.9	19.6	20.0	20.2	19.9
gemid.	19.5	19.5	19.4	19.4	19.5

Tabel 3. Mattemperatuur (°C) bij verschillende behandelingen op dagnummer 68

blok	1	2	3	4	gemid.
beh.					
1	22.2	21.9	22.2	21.3	21.9
2	22.6	21.7	22.3	22.2	22.2
3	21.8	22.6	22.1	22.0	22.1
4	21.6	22.4	22.1	22.2	22.1
5	22.9	22.1	22.6	22.6	22.6
6	22.3	21.9	21.5	22.4	22.0
gemid.	22.2	22.1	22.1	22.1	22.1

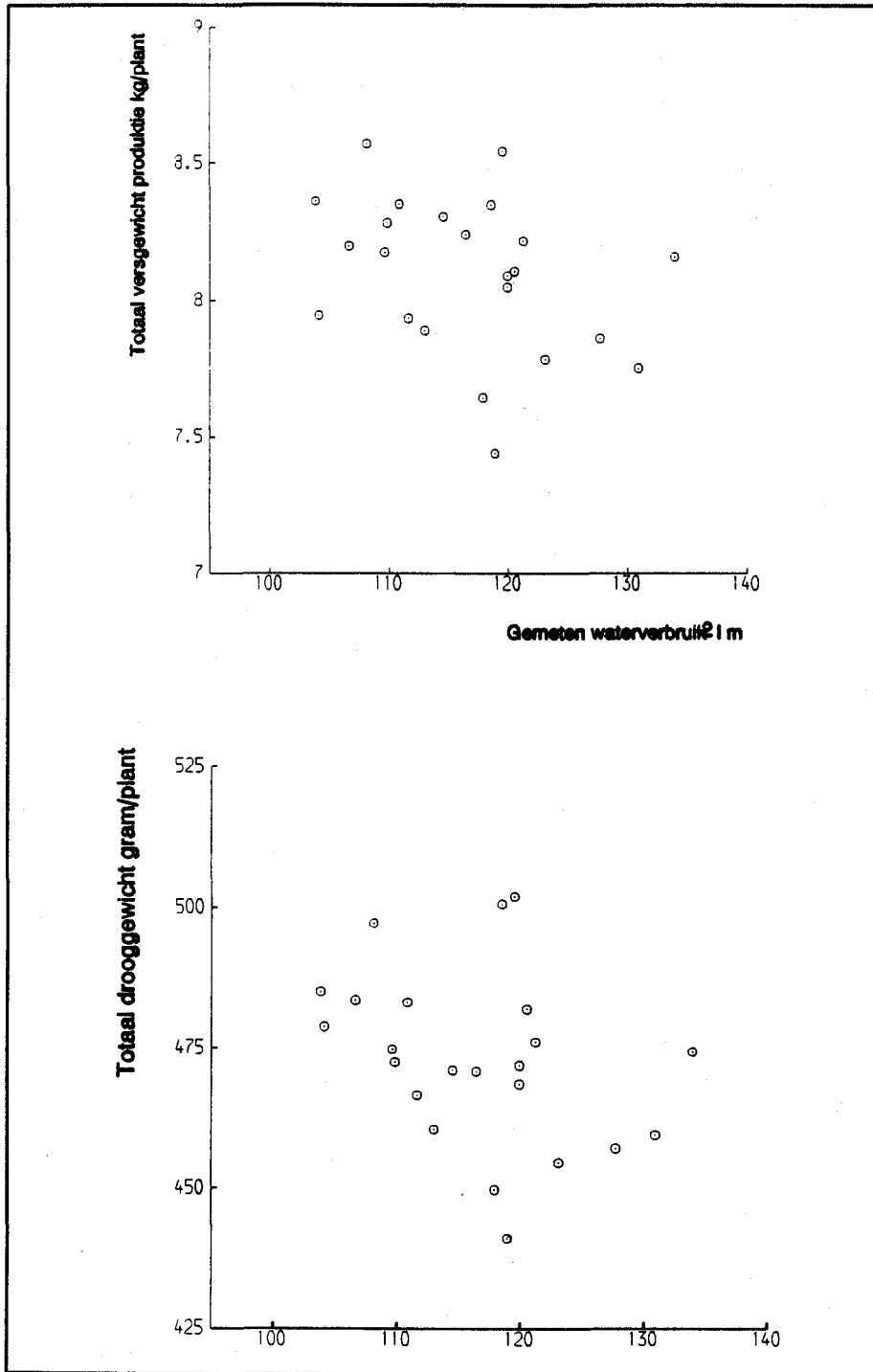
Tabel 4. Mattemperatuur (°C) bij verschillende behandelingen op dagnummer 82

blok	1	2	3	4	gemid.
beh.					
1	22.9	21.2	20.4	22.1	21.6
2	21.9	22.5	21.2	22.8	22.1
3	23.3	22.4	22.0	22.5	22.5
4	22.2	20.7	21.8	22.5	21.8
5	22.6	21.5	20.7	22.7	21.9
6	22.5	22.5	21.9	22.2	22.3
gemid.	22.6	21.8	21.3	22.4	22.0

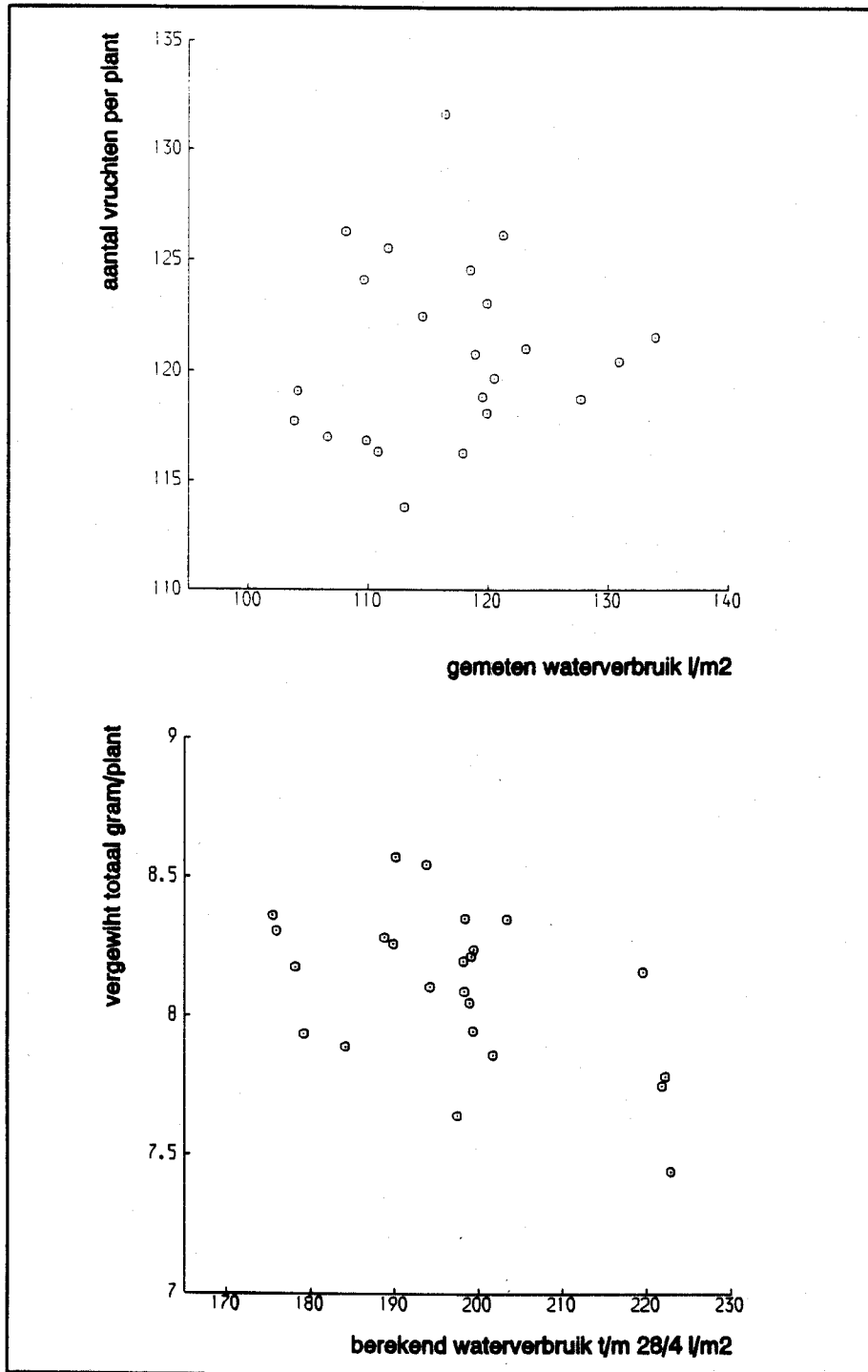
Tabel 5. Mattemperatuur (°C) bij verschillende behandelingen op dagnummer 96

blok	1	2	3	4	gemid.
beh.					
1	20.7	20.3	20.4	20.5	20.5
2	21.1	21.2	20.2	21.2	20.9
3	22.0	21.1	21.2	20.9	21.3
4	20.8	20.4	20.2	21.1	20.6
5	20.0	20.9	20.8	21.4	20.8
6	21.1	21.0	20.5	21.2	20.9
gemid.	20.9	20.8	20.6	21.0	20.8

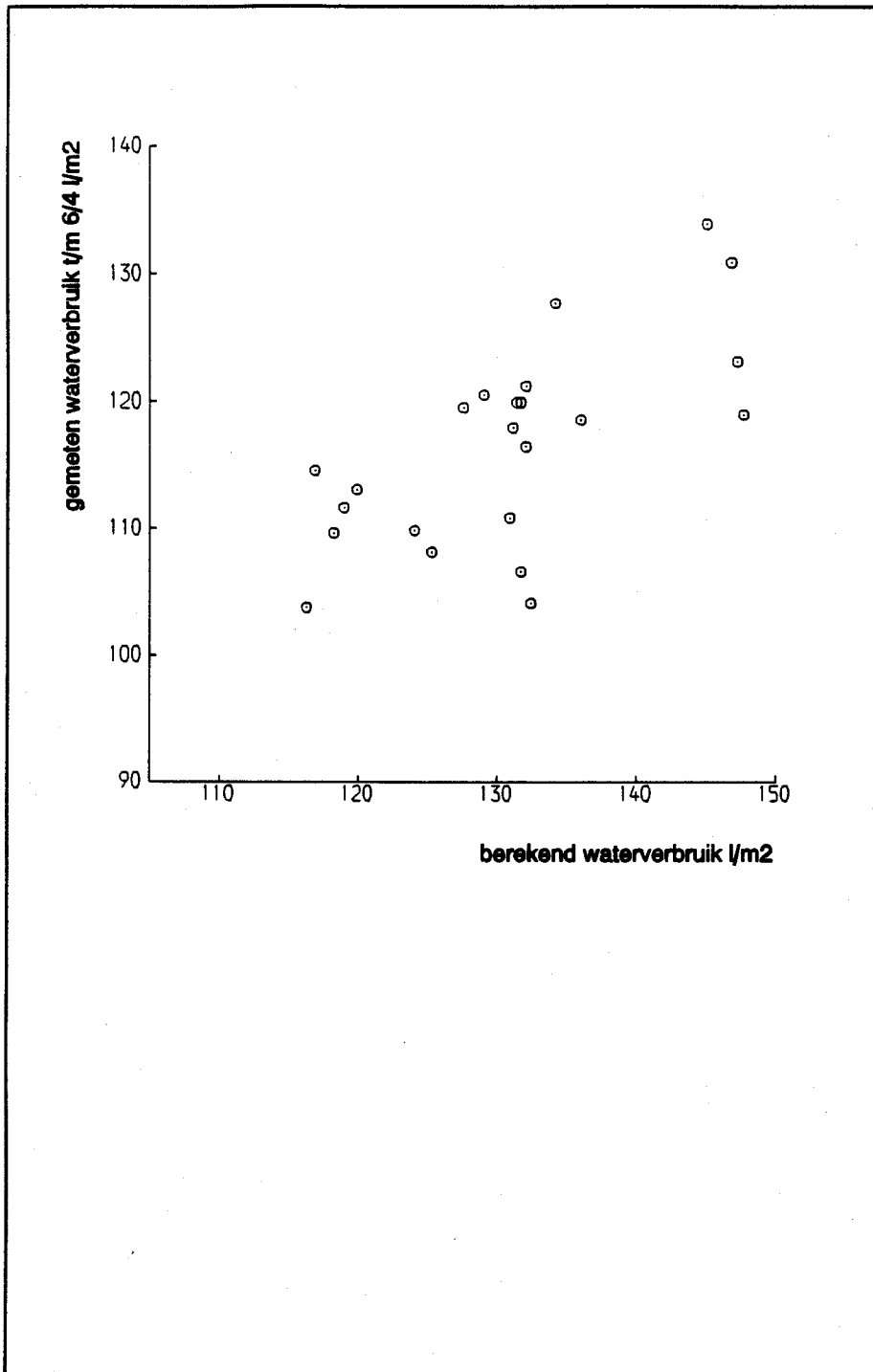
Bijlage 4a. Grafische weergave van de diverse plantparameters uitgezet tegen het gemeten waterverbruik.



Bijlage 4a



bijlage 4a



Bijlage 4b. Correlatiematrix

Toelichting: E2 = berekend energieverbruik t/m 6/4
 E2T = berekend energieverbruik t/m 28/4
 GEMWV1 = gemeten waterverbruik t/m 6/4
 T1 = berekend waterverbruik t/m 6/4
 TTT = berekend waterverbruik t/m 28/4
 bladopp = gemeten bladoppervlak bij einde proef (m²plant⁻¹)
 dsb, dss = droge stof % blad en stengel
 DROOGTOT = totaal gewicht droge stof (inclusief in geoogst blad en vruchten)
 VERSTOT = idem voor versgewicht
 BLOPPBER = totaal berekend bladoppervlak (inclusief geplukte bladeren)
 TOTAANT = totaal aantal vruchten (geoogst en aan de plant)
 totvrucht = totaal versgewicht vruchten (geoogst en aan de plant)
 OOGSTV = gewicht geoogste vruchten

*** Correlation matrix ***

E2	1.000																		
T1	0.997	1.000																	
E2T	0.998	0.995	1.000																
TTT	0.996	0.998	0.998	1.000															
GEMWV1	0.699	0.676	0.695	0.677	1.000														
TKAS	0.938	0.930	0.952	0.945	0.658	1.000													
VPD	0.932	0.931	0.946	0.945	0.643	0.942	1.000												
CO ₂	-0.154	-0.206	-0.136	-0.178	-0.014	-0.066	-0.109	1.000											
bladop	0.278	0.271	0.266	0.260	-0.040	0.190	0.244	0.207	1.000										
dsb	-0.039	-0.021	-0.070	-0.056	0.026	-0.237	-0.126	-0.160	-0.175	1.000									
dss	0.009	0.029	-0.022	-0.006	-0.003	-0.159	-0.047	-0.174	0.005	0.909	1.000								
DROOGTOT	-0.350	-0.354	-0.358	-0.362	-0.341	-0.371	-0.315	0.214	0.165	0.153	0.163	1.000							
VERSTOT	0.485	-0.497	-0.484	-0.494	-0.345	-0.451	-0.462	0.323	0.024	-0.005	-0.034	0.904	1.000						
BLOPPBER	-0.055	-0.061	-0.032	-0.038	-0.296	0.078	0.001	0.192	0.169	-0.290	-0.263	0.341	0.279	1.000					
TOTAANT	0.035	0.042	0.015	0.020	0.107	-0.146	-0.112	-0.062	0.128	0.455	0.414	0.160	0.227	-0.491	1.000				
totvrucht	-0.461	-0.472	-0.465	-0.474	-0.308	-0.462	-0.477	0.297	-0.032	0.158	0.107	0.824	0.952	0.124	0.408	1.000			
OOGSTV	-0.040	-0.059	-0.037	-0.052	0.126	-0.040	-0.136	0.216	-0.086	0.165	0.127	0.457	0.607	-0.057	0.522	0.752	1.000		

Bijlage 5. Gebruikte datasets en verwerkingsprogramma's (genstat)

Eindverwerking:

k210fits.gen aanmaken definitieve figuren, correlatiematrix en tabellen
gebruikte datasets:
k210vers1.dat
k210vers2.dat (oogstgegevens)
k210energie.dat
k210dspercafd.dat

Verwerking plant/gewasgegevens:

lengte210.gen anova lengtemetingen
datasets: lengte.dat
k210bladpluk.gen anova van tijdens de teelt geplukte bladeren
dataset: k210bladvers.dat
k210bladplds.gen berekening droge stof gehalte geplukte bladeren
dataset: k210bladplds.dat
k210slachting2904.gen anova op versgewichten van 10 planten per afdeling op 29 april
dataset: k210slachting2904.dat
k210slacht2904ds.gen anova drooggewichten en bladoppervlak 29 april (2
planten/afdeling)
dataset: k210slacht2904ds.dat
bloei210.gen verwerking bloeidata (anova)
dataset: bloei.dat
zetting.gen verwerking zettingsdata (anova)
dataset: zetting.dat
oogstbaar.gen verwerking oogstbare tros (anova)
dataset: oogstbtros.dat
k210oogst.gen anova productiegegevens
dataset: k210oogst.dat
vochttempec.gen verwerking substraatmetingen temperatuur, EC en
watergehalte
dataset: kas210wgect.dat

Verwerking klimaatgegevens:

k210gemklim.gen en k210gemvocht.gen
(verschillende versies aangepast voor temp/vocht/co2/energie en berekende transpiratie)
k210co2verlies.gen: schatting co2 verlies
datasets:
k210/a/b/c/ tkas.dat
co2p.dat
raam.dat
tbuisp.dat
rvp.dat
k210weerp.dat

Verwerking watergift/draincijfers:

k210waterv.gen
dataset: k201waterv.dat (aantal giftbeurten)