

Tomatenteelt met een beperkte gasaansluitwaarde

Auteur M.H.Esmeijer

© 2004 Wageningen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vervoelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Praktijkonderzoek Plant & Omgeving.

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V. is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

PPO Publicatienr. 41600011; €

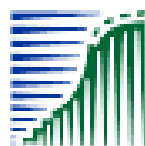
Dit project is gefinancierd door:

Productschap Tuinbouw
Louis Pasteurlaan 6
Postbus 280
2700 AG Zoetermeer



en

Ministerie van Landbouw Natuurbeheer en Visserij
Postbus 20401
2500 EK Den Haag



Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Business Unit Glastuinbouw

Adres : Kruisbroekweg 5, 2671 KT Naaldwijk

: Postbus 8, 2670 AA Naaldwijk

Tel. : 0174 – 63 67 00

Fax : 0174 - 63 68 35

E-mail : infoglastuinbouw.ppo@wur.nl

Internet : www.ppo.wur.nl

Voorwoord

Ik wil dit verslag opdragen aan Frans van den Ende die met al zijn inzet enthousiast voor de proef gezorgd heeft, maar helaas geen nieuwe proeven meer tot een goed einde kan brengen.
Frans, bedankt.

Marleen 06-01-2003

Inhoudsopgave

pagina

1	INLEIDING	7
2	MATERIAAL EN METHODE	9
2.1	Teelt.....	9
2.2	Behandelingen.....	9
2.2.1	Proefverloop	9
2.2.2	Schermproof	9
2.2.3	Kousimulatie.....	9
2.2.4	Zomerproef.....	10
2.2.5	Proefschema.....	10
2.3	Simulatie van de kasttemperatuur.	11
2.3.1	Van gas naar gemiddelde buistemperatuur.	11
2.3.2	Warmte uit de buffer	12
2.3.3	Berekenen van de aanvoertemperatuur.....	12
2.4	Waarnemingen.....	13
2.5	Verwerking.....	13
3	RESULTATEN	14
3.1	Schermproof.....	14
3.1.1	Realisatie van het kasklimaat	14
3.1.2	Klimaatverloop rond het openen van het scherm.	15
3.1.3	Kou simuleren.	15
3.1.4	Berekend gasverbruik	15
3.2	Zomerproef.....	17
3.2.1	Kasklimaat in de zomer	17
3.2.2	Gasverbruik in de zomerproef.....	19
3.3	Gewaswaarnemingen	20
3.3.1	Teeltverloop	20
3.3.2	Bloeiwaarnemingen.....	20
3.3.3	Gewasontwikkeling.....	20
3.3.4	Oogstresultaten.....	21
4	DISCUSSIE.....	23
4.1	Eerste proefperiode.....	23
4.2	Integratie bespaart energie maar vraagt dure CO ₂	23
5	CONCLUSIES	25
5.1	Eindconclusie	25
6	LITERATUUR.....	27
	BIJLAGE 1 REKENREGELS VAN NAWROCKI.....	29
	BIJLAGE 2 GRAFIEKEN VAN RV EN CO ₂ –CONCENTRATIE IN HET 'WINTER' DEEL VAN DE PROEF.	31
	BIJLAGE 3 GRAFIEKEN ROND SCHERM OPENEN.	33
	BIJLAGE 4 GRAFIEKEN VAN RV EN CO ₂ –CONCENTRATIE IN DE ZOMERPROEF	35
	BIJLAGE 5 BLOEIWAARNEMINGEN	37

1 Inleiding

De liberalisering van de gasmarkt leidde tot een nieuwe methode van tariefberekening voor het gasverbruik, waarbij de gasafname per uur bepalend werd. Overschrijden van de afgesproken afname per uur zou tot hoge boetes leiden. In theorie is het mogelijk om tomaten met een aansluitwaarde van 100 à 120 m³ gas per hectare per uur te telen (Rijsdijk, 2000). Deze getallen zijn gebaseerd op een gesimuleerde oneindige grote kas. In de praktijk zijn kassen eindig en zorgen de gevels voor extra warmte verlies, zodat dit voor praktijkkassen een aansluitwaarde van 110 à 130 m³ betekent. Onbekend was echter wat dit betekende voor de kwaliteit en productie van tomaten. Een lage aansluitwaarde was volgens Rijsdijk (2000) alleen te realiseren met behulp van een scherm. Tomatentuinders staan huiverig tegenover een scherm. Om aan te tonen dat het daadwerkelijk mogelijk is om met een lage aansluitwaarde en gebruik van een scherm een goede tomatenteelt neer te zetten werd in seizoen 2001-2002 een experiment uitgevoerd op het proefstation. Omdat de Westlandse winters over het algemeen milder zijn dan in de rest van Nederland werd gekozen voor de aansluitwaarde van 100 m³ gas/ha/uur.

Op verzoek van de landelijke commissie tomaat werd het experiment uitgebreid met een teelt met een aansluitwaarde van 120 m³/ha/uur zonder scherm. De achtergrond hierbij was dat in 2001 nog veel tomatentuinders sterke twijfels hadden over de mogelijkheden van een energiescherm in de tomatenteelt. Hiertoe zouden diverse besparingsmogelijkheden gecombineerd moeten worden. Uit onderzoek van Kaarsemaker (persoonlijke mededeling) in 2001 was gebleken dat tomaten een korte periode met een lagere kastemperatuur kunnen doorstaan zonder veel kwalijke gevolgen. De ervaringen met temperatuur-integratie en de resultaten van het bovengenoemde onderzoek zouden aangewend worden om de teelt ook zonder scherm tot een acceptabel einde te brengen.

Eind 2001 werd de tomatenproef gestart met de volgende behandelingen:

1. een aansluitwaarde van 100 m³/ha per uur en een scherm gebruiken
2. een aansluitwaarde van 120 m³/ha per uur zonder scherm
3. 1 en 2 gecombineerd met het al dan niet gebruiken van een groeibuis.

Deze behandelingen waren op basis van vragen uit de tomatenpraktijk ingesteld. De (on)mogelijkheid van een teelt met een lage aansluitwaarde, het nut van een scherm en het nut van de groeibuis konden zo onderzocht worden. De aansluitwaarden zijn gesimuleerd door via een berekeningsmethode voor warmteafgifte de maximum buis te begrenzen.

Het gebruik van een groeibuis om de kastemperatuur te behalen heeft weliswaar weinig invloed op het energieverbruik maar omdat het gebruik ervan in de praktijk ter discussie stond werd het op verzoek van de landelijke commissie tomaat in het onderzoek meegenomen. Door te kiezen voor een aangepaste sturing van de verwarming kon dit zonder de oorspronkelijke doelstelling aan te tasten. De beide aansluitwaarden werden zowel met als zonder gebruik van de groeibuis toegepast. Een groeibuis heeft uiteraard wel effect op het energieverbruik als er een vaste buistemperatuur op ingesteld wordt, die los van de gewenste kastemperatuur wordt aangehouden.

Voor het slagen van de proef waren lage buitentemperaturen noodzakelijk. Bij aanvang van de proef werd besloten om bij het ontbreken van voldoende kou deze in de tweede helft van januari te simuleren. Als gevolg van de extreem hoge buitentemperaturen in deze periode werd dit verschoven naar half februari. De kou werd gesimuleerd door te ventileren. Ventilatie in een periode dat de buitentemperatuur onder de kastemperatuur ligt, leidt tot een toenemende warmtebehoefte van de kas, net zoals lage buitentemperaturen dit doen. De bedoeling was om de warmtebehoefte van de kas te vergroten tot boven de maximaal mogelijke warmtevoorziening op basis van de beschikbare hoeveelheid gas. Dit zou tot gevolg hebben dat de temperatuur onder de gewenste temperatuur weg zakt in de afdelingen met 120 m³ gas/ha/uur, en dat in de afdelingen met 100 m³ het scherm op de dag gesloten moest worden om de gewenste temperatuur te halen. Hiermee konden twee besparingsopties vergeleken worden; namelijk te lage temperatuur versus gesloten scherm op de dag.

Het was niet mogelijk om 'koude' dagen volgens het SELjaar te realiseren. Dit jaar was gebruikt voor de simulaties zoals uitgevoerd door Rijdsijk. (2000) De dagen in het SELjaar zijn echter een natuurlijk samenspel tussen instraling, temperatuur en wind, het is onmogelijk om deze combinaties te imiteren. Het buitenklimaat zoals dat in de tweede helft van januari en in februari voorkwam was buitengewoon. Ze vormden een nieuw record in de klimaatregistratie van 'de Bilt' en beperkten daarmee de uitkomsten van deze proef.

In de zomer werd het accent van de proef verschoven naar het uittesten van een extreme vorm van temperatuurintegratie omdat het gasverbruik vrijwel altijd ver onder de laagste aansluitwaarde lag.

2 Materiaal en methode

2.1 Teelt

In alle afdelingen werden twee rassen geteeld, een trostype cv. "Durinta" en een losse tomaat cv. "Clotilde". De tomaten werden op 15 november gezaaid en op 13 december 2001 in de kas gezet. De plantdichtheid was 2,5 stengel/m². Op 21 januari 2002 werden de planten op het gat gezet. De planten waren 30 januari in de mat geworteld. De eerste trossen werden gebeugeld. Bij één op de drie planten werd een extra stengel aangehouden. De proef werd op 1 november 2002 afgesloten. Een week later werden de planten uit de kas verwijderd.

De teelt werd begeleid door dhr J. Mulder namens de tomatencommissie.

2.2 Behandelingen

2.2.1 Proefverloop

Op 14 december werd gestart met het instellen van de behandelingen zoals deze voor de schermproef bepaald waren. In 2.2.2 worden ze toegelicht. De in februari gebruikte kousimulatie staat beschreven in 2.2.3. In de zomer was geen effect van een lage aansluitwaarde meer te verwachten. In overleg met de begeleidingscommissie werd het accent van de proef verschoven naar de manier waarop de gewenste etmaaltemperatuur gerealiseerd wordt. Dit wordt in 2.2.4 beschreven. Deze behandelingen werden tot het einde van de teelt toegepast.

2.2.2 Schermproef

De eerste proefactor was de gasaansluitwaarde van 100 respectievelijk 120 m³ per ha per uur. Deze factor was gekoppeld aan het al dan niet gebruiken van een scherm. Als scherm werd gekozen voor een nieuw, helder, vochtdoorlatend scherm PH SUPER van Bonar Phormium Fabrics.

Dit scherm heeft een lichtdoorlaat van 85 % en een theoretische energiebesparing van 45 %. Het doek is geweven van polyethyleenbandjes en vochttransporterende draden.

Daarnaast werd in twee afdelingen de groeibuis gebruikt om het gewenste kasklimaat te realiseren en in de andere twee afdelingen niet. De gasaansluitwaarde was bepalend voor de maximumbuis temperatuur. De berekening hiervan staat in 2.3.1. De groeibuis werd op een vaste gasafname gemaximaliseerd, pas als dit ontoereikend was om de kastemperatuur te halen werd de buisrail ingeschakeld.

Dit resulteerde in vier verschillende behandelingen.

		In code:
Behandeling 1	Scherms en aansluitwaarde 100 m ³ , geen groeibuis	100-
Behandeling 2	Scherms en aansluitwaarde 100 m ³ , groeibuis	100+
Behandeling 3	Geen scherm, aansluitwaarde 120 m ³ , groeibuis	120+
Behandeling 4	Geen scherm, aansluitwaarde 120 m ³ , geen groeibuis.	120-

In alle vier de behandelingen werd een buffer van 100 m³/ha gesimuleerd, zoals beschreven in 2.3.2.

2.2.3 Kousimulatie

Kou werd gesimuleerd door ongeacht de kastemperatuur in alle afdelingen op dezelfde manier te luchten. Dit werd ingezet op 12 februari. Vanaf 11.20 uur stond in eerste instantie een minimum raam van 5 % in alle vier de afdelingen zolang de buitentemperatuur boven -5 °C lag. Op 15 februari werd de raamstand aangepast naar 10 % tussen 08.00 uur en 11.00 uur en 15 % op de dag met een extra opening bij een instraling boven de 300 W tot 20 %. Naast de raamstand werd ook het scherm aangepast. Eerder werd elke nacht geschermd als de buitentemperatuur onder de 10 °C lag, nu ging het scherm overdag dicht als

buitentemperatuur beneden 4 °C lag, en pas open bij 5,2 °C. In de nacht lag het scherm dicht als buitentemperatuur beneden de 7 °C was. Op 25 februari werd het kousimuleren beëindigd.

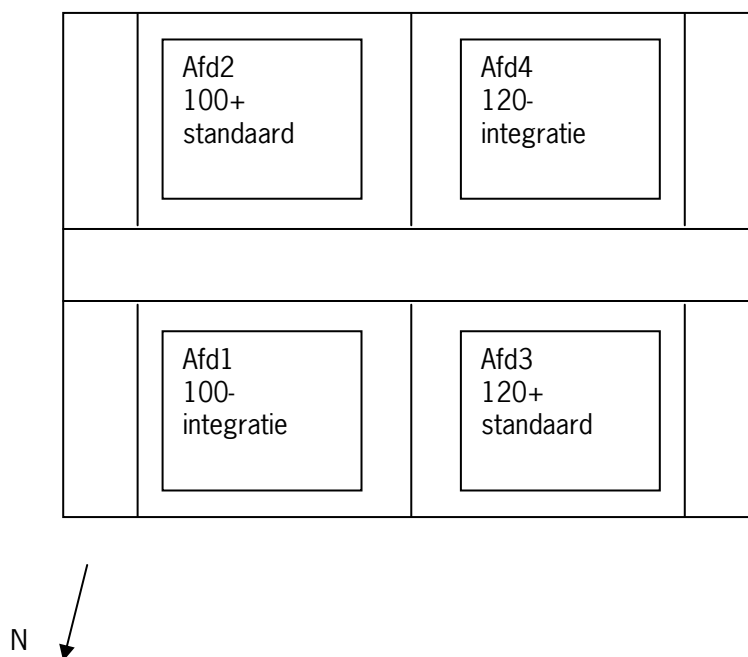
2.2.4 Zomerproef

Nadat de kans op kou voorbij was, werd de proefopzet aangepast. De gasaansluitwaarde was niet langer bepalend voor de etmaaltemperatuur. Twee verschillende strategieën om de kas op de gewenste etmaaltemperatuur te krijgen werden nu toegepast.

De afdelingen 2(**100+**) en 3 (**120+**) werden als standaard teelt geregeld met een nachttemperatuur van om en nabij de 16 °C en een hogere dagtemperatuur. In deze afdelingen werd vanaf middernacht een minimumbuis van 40 °C gestookt tot een half uur voor zonsopgang. Vanaf een half uur voor zonsopgang tot twee uur na zonop werd deze buis verhoogd tot 45 °C. Op de dag stond er geen minimumbuis in. Overdag werd al vroeg gelucht om de dagtemperatuur niet te hoog op te laten lopen. In de behandelingen **100-** en **120-** werd gekozen voor een zo energiezuinig mogelijke opzet. Dit hield in dat op de dag de zonnestraling zoveel mogelijk werd benut om een hoge kastemperatuur te verkrijgen. Hiertoe werd bij hogere temperaturen gelucht. Om nadelig hoge temperaturen op de dag te voorkomen werd de P-band met een graad verkleind.

In de nacht werd vervolgens berekend hoe laag de kastemperatuur moest zijn om een gelijk etmaalgemiddelde als in de vergelijkingsafdelingen te krijgen. De nachttemperatuur mocht tot 13 °C zakken.

2.2.5 Proefschema



2.3 Simulatie van de kasttemperatuur.

2.3.1 Van gas naar gemiddelde buistemperatuur.

Direct regelen op gasverbruik is alleen mogelijk als elke afdeling een eigen ketel met een eigen gasmeter heeft. Dit is, net als op de meeste praktijkbedrijven, niet het geval. Om dit probleem te ondervangen is gebruik gemaakt van omrekenregels. Nawrocki (1985) heeft formules opgesteld hoe op basis van de kasttemperatuur en de gemiddelde buistemperatuur de warmteafgifte van de buizen in de kas geschat kan worden. Deze warmteafgifte kan weer worden omgerekend naar m³ gas. Deze formules zijn beschreven in bijlage 1. De berekening werd nu omgekeerd gebruikt.

Het gasverbruik van 100 respectievelijk 120 m³ gas/ha/uur werd omgezet in geleverde warmte. Invullen van de geleverde warmte en de gemeten kasttemperatuur in de formules van bijlage 1 resulteerde in de bijbehorende gemiddelde buisrailtemperatuur.

In twee afdelingen werd een groeibuis gebruikt. Deze nam ook een deel van de warmteafgifte voor zijn rekening. De groeibuis werd standaard op een gemiddelde temperatuur van 50 °C gehouden, tenzij minder warmte nodig was om de gewenste kasttemperatuur te realiseren. In deze afdelingen werd eerst berekend hoeveel warmte door de groeibuis geleverd werd en met het overschot werd vervolgens de gemiddelde temperatuur voor de buisrail berekend.

In bijlage 1 is een tabel opgenomen waarin per behandeling de berekende verschillen tussen de temperatuur van de kaslucht en de gemiddelde buistemperatuur staan. Het verschil tussen kas- en de gemiddelde buisrailtemperatuur was niet constant. Bij de behandelingen zonder groeibuis nam het verschil af naarmate de kasttemperatuur steeg omdat de stralingsoverdracht effectiever werd. Het gebruik van een vaste groeibuis had tot gevolg dat het verschil tussen kas- en gemiddelde buisrailtemperatuur toenam met stijgende kasttemperatuur, zoals in bijlage 1 tabel b1 te zien is. Dit kwam omdat de warmteafdracht van de vaste groeibuis lager werd met stijgende kasttemperatuur, waardoor meer warmte door de buisrail geleverd werd. De gemiddelde buisrailtemperatuur bleef echter uiteraard lager dan zonder gebruik van groeibuis.

Voor de simulatie betekende dit dat de temperatuur van de verwarming afhankelijk werd van de gemeten kasttemperatuur. Teneinde het rekenwerk te beperken werden via regressie de gevonden waarden omgezet in onderstaande eenvoudigere formule.

$$MB_{\text{gas}} = \alpha \cdot \text{gemeten kasttemperatuur} + \beta \quad (1)$$

Waarin MB_{gas} = de gemiddelde buisrailtemperatuur op basis van de gasaansluitwaarde en het al dan niet gebruiken van de groeibuis; α en β zijn constanten.

MB_{gas} staat voor maximum gemiddelde buis op basis van de gasaansluitwaarde.

Formule 1 werd voor de vier behandelingen als volgt:

$$100 \text{ m}^3 \text{ zonder groeibuis:} \quad MB_{\text{gas}} = 0,881 \cdot \text{kasttemperatuur} + 35,86 \quad (1a)$$

$$100 \text{ m}^3 \text{ met groeibuis:} \quad MB_{\text{gas}} = 1,180 \cdot \text{kasttemperatuur} + 22,74 \quad (1b)$$

$$120 \text{ m}^3 \text{ met groeibuis:} \quad MB_{\text{gas}} = 1,150 \cdot \text{kasttemperatuur} + 29,12 \quad (1c)$$

$$120 \text{ m}^3 \text{ zonder groeibuis:} \quad MB_{\text{gas}} = 0,866 \cdot \text{kasttemperatuur} + 41,59 \quad (1d)$$

In tabel 1 staan voorbeelden van wat dit betekende voor de gemiddelde buistemperatuur bij twee verschillende kasttemperaturen:

Tabel 1: De maximum gemiddelde buistemperatuur (MBgas) op basis van de gasaansluitwaarde in de diverse behandelingen bij een kasttemperatuur van 10 resp. 20 °C, een lege buffer en de bijbehorende groeibuistemperatuur.

Behandeling	Kastemp 10 °C	Kastemp 20 °C	Groeibuis (°C)
100 m ³ met scherm zonder groeibuis	45	53	0
100 m ³ met scherm en met groeibuis	35	46	50
120 m ³ zonder scherm met groeibuis	41	52	50
120 m ³ zonder scherm zonder groeibuis	50	59	0

2.3.2 Warmte uit de buffer

De buffer werd eveneens gesimuleerd. Verondersteld werd een buffer met een capaciteit van 100 m³ /ha. Uitgaande van een watertemperatuur verschil tussen vulwater en buisrail van 45 °C en een warmtecapaciteit van het water van 4,2 MJ/m³ per °C betekende dit voor de buffer een opslagcapaciteit van 18900 MJ/ha, overeenkomend met 630 m³ gas/ha. Globaal betekent elke graad verhoging van de buistemperatuur een meerverbruik van 3,65 m³ gas/ha.uur.

Voor de berekeningen werd de buffer uitgedrukt in buisgraadminuten en begrensd op maximaal 10.000 buisgraadminuten per ha. Eén buisgraadminuut is de levering van 1 °C warmte gedurende één minuut.

Op het moment dat de benodigde buistemperatuur boven de maximum gemiddelde buistemperatuur (MBgas) lag, werd warmte uit de buffer gebruikt. Dit gebeurde door een maximum gemiddelde buistemperatuur te berekenen op basis van MBgas en extra warmte vanuit de buffer

$$MXB = MBgas + \text{maxbufferlegen} \quad (2)$$

Waarin MXB = maximum gemiddelde buistemperatuur; MBgas zoals berekend via formules 1a t/m 1d en maxbufferlegen de in graadminuten geleverde warmte van de buffer.

MXB staat voor maximum gemiddelde buistemperatuur

De maxbufferlegen was variabel, maar voor de duur van de proef is gekozen voor 7 °C zodat de buffer na één dag leeg was. De in tabel 1 genoemde buistemperaturen stijgen hierdoor met 7 °C. Als de buffer leeg was werd MXB gelijk aan MBgas.

Elke behandeling had zijn eigen buffer. De bufferinhoud kon dus tussen de behandelingen verschillen op basis van een verschil in benodigde warmte. De computer hield met formule 3 bij hoe vol de buffer was. Als de gemeten gemiddelde buistemperatuur (GBT) hoger dan de MBgas was, werden de gebruikte graadminuten van de bufferinhoud afgetrokken. Dit ging door tot de buffer leeg was. De buffer werd gevuld als de GBT onder de MB-gas lag.

$$\text{buffer} = \text{buffer} + MBgas - GBT \quad (3)$$

De gemeten gemiddelde buistemperatuur werd bepaald door het gemiddelde te nemen van de gemeten aanvoertemperatuur van de buisrail (GBA) en de gemeten retour temperatuur van de buisrail (GBR).

$$GBT = (GBA + GBR)/2 \quad (4)$$

2.3.3 Berekenen van de aanvoertemperatuur

De computer verwarmt de kas door te berekenen welke aanvoertemperatuur nodig is op basis van verwarmingsspecificaties en de gemeten kasttemperatuur. Deze benodigde buistemperatuur (BB) wordt naar de kas gestuurd.

De via formule 2 berekende MXB werd omgerekend naar de maximum mogelijke aanvoertemperatuur van de buisrail (MBA). Gemakshalve werd verondersteld dat het verhogen van de aanvoer met 1 °C ook tot een 1 °C hogere gemiddelde buistemperatuur zou leiden. Door bij de maximum gemiddelde buistemperatuur de

helft van het verschil tussen gemeten aanvoer en retourtemperatuur op te tellen kon zo de aanvoertemperatuur berekend worden, zoals in formule 5 staat uitgeschreven.

$$MBA = MXB + (GBA-GBR)/2 \quad (5)$$

Waarin MBA = de maximaal mogelijke aanvoer; MXB = als berekend in formule 2; GBA = de gemeten buistemperatuur van de aanvoer; GBR de gemeten buistemperatuur van de retour.

De aldus berekende aanvoertemperatuur (MBA) werd vergeleken met de benodigde buis (BB). Was de benodigde buis (BB) lager dan de maximaal mogelijke aanvoer (MBA), dan werd de benodigde buis naar de kas gestuurd als aanvoertemperatuur. Als de benodigde buis (BB) hoger was dan de maximaal mogelijke aanvoer (MBA), dan was de MBA bepalend voor de aanvoertemperatuur in de kas. Dit betekende dat op deze momenten de kas minder warmte ontving dan noodzakelijk was, waardoor het kouder werd dan gewenst.

2.4 Waarnemingen

Gedurende de teelt werden diverse registraties verricht. Op 22 januari en 18 februari werden in alle afdelingen van elk ras twee planten volledig gesloopt en werd vers en drooggewicht bepaald van stengels, balderen en trossen als mede het bladoppervlak gemeten. Vanaf begin van de bloei werd wekelijks waargenomen welk tros bloeide. Vanaf start van de oogst werd elke keer van elk proefveldje de vruchten geëvalueerd, geteld en gewogen.

2.5 Verwerking

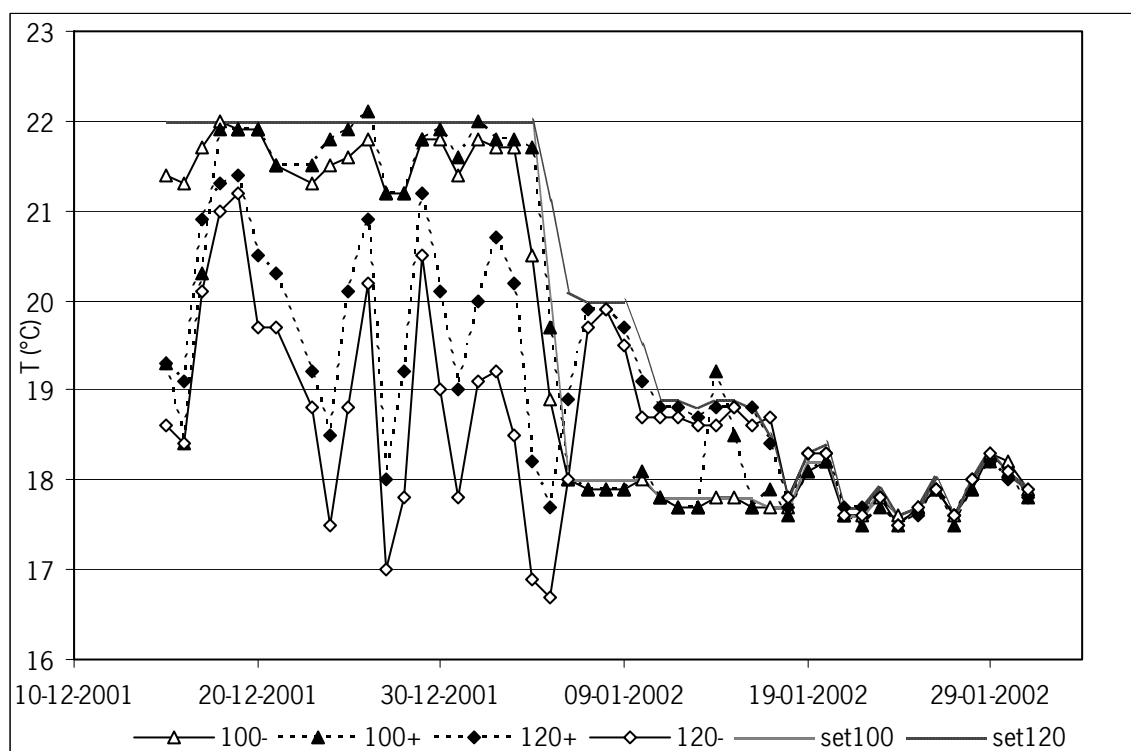
Van het kasklimaat werden de droge en natte bol, de relatieve luchtvochtigheid, de raamstanden, het CO₂ – gehalte, het vochtdeficit, en de schermstand geregistreerd. Daarnaast werden de benodigde buis, de aanvoer en de retourtemperatuur van buisrail en groeibuis, de diverse berekende buistemperaturen zoals geformuleerd in 2.3 als mede de buffervulling opgeslagen. De kasluchttemperatuur en de buistemperaturen werden vervolgens gebruikt om hieruit de verbruikte m³ gas te berekenen zoals beschreven in Esmeijer (1998) en in bijlage 1.

3 Resultaten

3.1 Schermproof.

3.1.1 Realisatie van het kasklimaat

De gerealiseerde kasttemperatuur en het bijbehorende setpoint voor de eerste anderhalve maand staat in grafiek 1.



Grafiek 1 Verloop etmaaltemperatuur en setpoint in december en januari in de vier proefafdelingen

In de eerste weken van de proef was het vooral in de ongeschermden behandelingen **120+** en **120-** moeilijk om de gewenste temperatuur te realiseren. In de periode van 13/12 tot en met 5/1 was het aantal dagen dat de gerealiseerde temperatuur gemiddeld over het etmaal tenminste één graad onder de setpoint lag voor behandelingen **100-** en **100+** 3 dagen, terwijl de behandelingen **120+** **120-** 21 respectievelijk 23 dagen kouder waren dan gewenst. In deze periode was er weinig verschil in etmaaltemperatuur tussen behandeling **100-** en **100+**. Het verschil tussen de ongeschermden behandelingen was groter en bedroeg regelmatig meer dan een graad. Behandeling **120-** was steeds de koudste van de twee.

Na 5/1/2002 werd op één dag na altijd de gewenste temperatuur gerealiseerd, zoals deels ook in grafiek 1 te zien is. Dit had twee oorzaken. Ten eerste daalde de gewenste temperatuur waardoor het makkelijker werd deze met een laag gasverbruik te realiseren en daarnaast steeg de buitentemperatuur zodanig dat er slechts hoogst zelden nog een beroep op aanvullende warmte uit de buffer nodig was. Tussen half januari en half februari was het 's nachts regelmatig zo warm dat het scherm niet sloot, of slechts gedurende een deel van de nacht.

In de maanden februari en maart verschilde de kasttemperatuur niet tussen de behandelingen. De overige kasklimaatfactoren, te weten de relatieve luchtvochtigheid en de CO_2 concentratie waren gedurende dit deel van de proef vergelijkbaar in alle behandelingen, zie de grafieken in bijlage 2.

3.1.2 Klimaatverloop rond het openen van het scherm.

Het scherm werd op astronomische tijd geregeld. Een half uur na zonop werd het geopend en een uur voor zononder weer gesloten. Het scherm was altijd geopend bij buitentemperaturen hoger dan 8 °C. De eerste week ging het scherm abrupt open. De hierdoor veroorzaakte kouval leek geen problemen te veroorzaken. Toch is in overleg met de begeleidingscommissie het openen vertraagd. Van 20 december tot begin januari opende het scherm in 10 minuten. Na 3 januari liep het scherm in 20 minuten open en dat tempo is nog verder verlaagd tot ruim een half uur. In bijlage 3 zijn een aantal grafieken opgenomen waarin het verloop van kas- en buistemperatuur en de RV rond het openen van het scherm zijn weergegeven.

Het openen van het scherm veroorzaakte altijd een daling van de kastemperatuur. Tussen in één keer opentrekken en stapsgewijs in 20 minuten openen was geen verschil in reactie van het kasklimaat. De daling varieerde van 1,5 tot 3,5 °C. De daling bij nog langzamer openen bedroeg enkele tienden tot maximaal 1 °C op de enige koudere dag in deze periode.

Meestal steeg de buistemperatuur na het openen van het scherm. De kasluchttemperatuur was dan na een half uur tot een uur weer op hetzelfde niveau als voor het openen, zoals op 18 december. In de eerste maanden was na het openen van het scherm vrijwel altijd warmte uit de buffer nodig om de kas bij te stoken tot de gewenste temperatuur. De tweede helft van januari en de eerste helft van februari was dit soms maar een half uurtje tot drie kwartier nodig en werd de buffer de rest van de dag niet gebruikt.

Op dagen waarop de buis onder het scherm al maximaal lag bleef de buistemperatuur gelijk of nam zelfs iets af, zie 23 december. Op deze dagen had de kastemperatuur na anderhalf tot twee uur weer het niveau van voor het openen bereikt.

Op alle dagen steeg de RV na het openen van het scherm. Meestal daalde het absolute vochtgehalte van de kaslucht na het openen van het scherm, de stijging van de RV met 3 à 5 % werd veroorzaakt door de daling van de kastemperatuur. De eerste week werd de RV tot 7 tot 10 % hoger, zoals op 18 december, maar in deze periode steeg het vochtgehalte ook direct na het openen van het scherm. De vochtgehalten en RV werden pas in maart zodanig hoog dat er risico voor condensatie ontstond.

3.1.3 Kou simuleren.

Echt koud werd het niet in de proefwinter. In totaal werden maar zes dagen geregistreerd met een gemiddelde temperatuur onder de nul graden, en daarvan slechts twee dagen met een temperatuur lager dan -1,0 °C. De tweede helft van januari werd zelfs uitzonderlijk warm, sinds de start van de temperatuurmetingen was het niet eerder zo warm geweest. Recorddagen waren 28 januari met een etmaaltemperatuur van 10,5 °C en 2 februari met 11,8 °C. Pas na 13 februari werd het even wat kouder en bleef de etmaaltemperatuur gedurende vier opeenvolgende dagen beneden of op 4 °C. Daarna steeg de temperatuur weer. Deze paar koude dagen werden benut om kou te simuleren, eerder had dat totaal geen zin.

Op 14 februari ging het scherm op de dag maar even open, op 15 februari alleen de middag en op 16 en 17 februari lag het alweer tussen 11.00 en 17.00 uur open. De resterende dagen van de kousimulatie was het gewoon weer te warm voor de tijd van het jaar. Ondanks de raamstand werd de gewenste kastemperatuur in deze periode gewoon gerealiseerd. Het gasverbruik nam wel toe in vergelijking met de niet geluchte dagen. Alleen op 22, 23 en 24 februari was in de ongeschermdede afdelingen met **120 m³** de buffer nog nodig om 's nachts de gewenste temperatuur te halen. In de geschermdede afdelingen, **100+** en **100-**, was de buffer net na het openen van het scherm meestal even nodig.

Als gevolg van het kousimuleren werd het alleen op 23/2 nog gedurende een etmaal minimaal een halve tot anderhalve graad te koud in de behandelingen. Op de overige dagen was de gasaansluiting niet beperkend noch een scherm noodzakelijk om de gewenste temperaturen te realiseren.

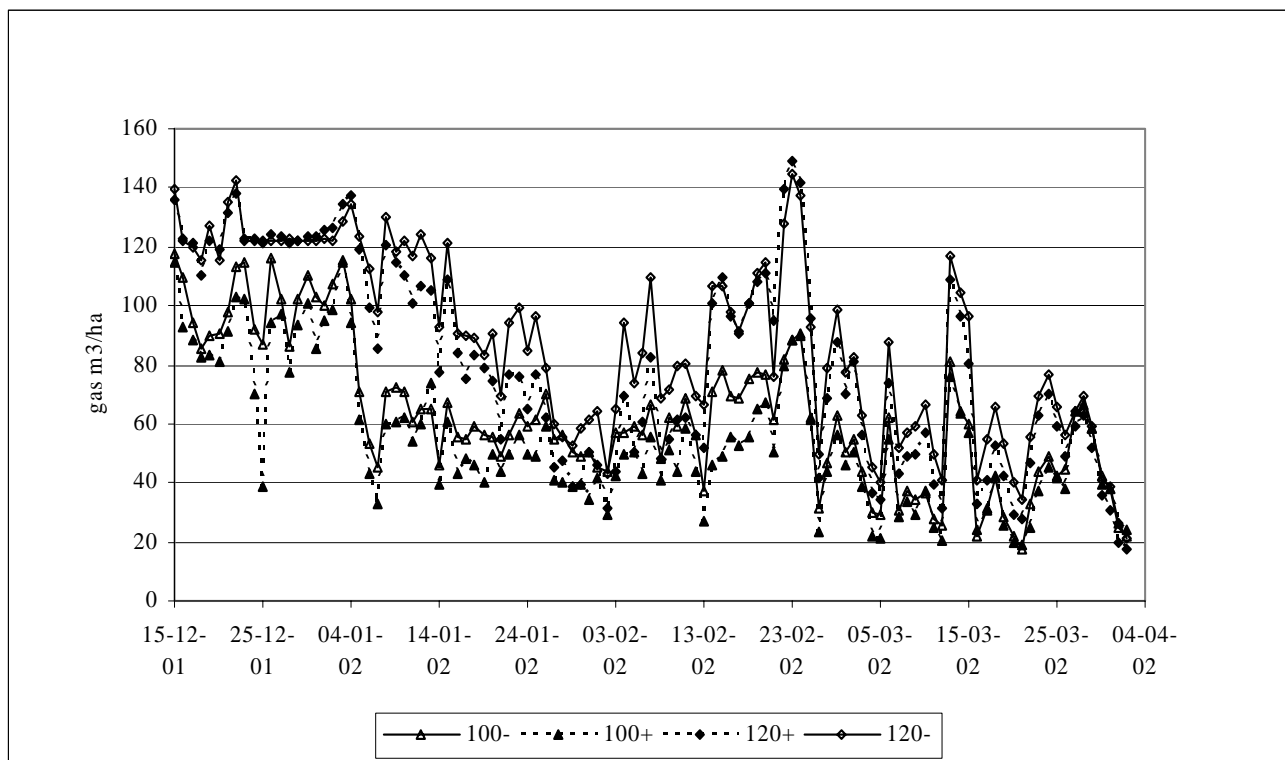
3.1.4 Berekend gasverbruik

Tussen 13 december en 2 april werd in de afdelingen met 100 m³ in totaal 153721 m³ gas per hectare verstoekt en in de afdelingen met 120 m³ aansluitwaarde 220687 m³ gas per hectare. Het scherm heeft in deze periode 30 % gasverbruik bespaard.

In grafiek 2 is het berekende uurgasverbruik per etmaal weergegeven voor de periode van de schermproef.

De pieken boven de grenslijnen zijn veroorzaakt door het legen van de buffer. Op deze momenten was de aansluitwaarde dus onvoldoende en was aanvullend extra warmte uit de buffer nodig. De maximale toename per uur op basis van de buffer bedroeg 25,6 m³ gas/ha. De pieken zijn in het begin frequenter dan in werkelijkheid mogelijk was. Dit kwam omdat in het begin het simulatieprogramma bij elke herstart uitging van een gevulde buffer.

In februari hebben de afdelingen zonder scherm (**120+** en **120-**) opnieuw drie dagen achtereen gas uit de buffer gebruikt. De buffer werd overdag gevuld en 's nachts weer leeg getrokken.

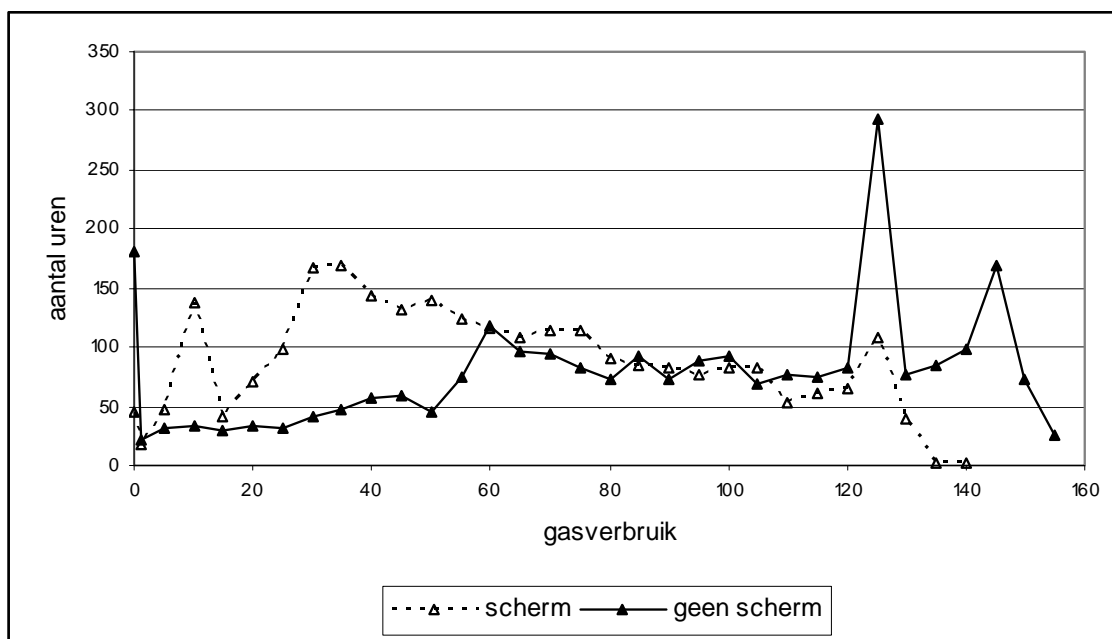


Grafiek 2 Gemiddeld uurverbruik per etmaal tussen 15/12/2001 en 2/04/2002.

De behandelingen met scherm en **100** m³ hebben gemiddeld 437 uur de buffer nodig gehad, de behandelingen zonder scherm en met **120** m³ gemiddeld 840 uur. Deze extra bufferuren vielen vooral in de nacht.

De duurbelasting staat in grafiek 3. De hoge uurwaarden bij 0 m³ gas zijn steeds op de dag gerealiseerd op zonnige dagen in februari, maart en april.

Hieruit blijkt dat de ongeschermdes afdelingen (**120-** en **120+**) veel draaiuren op de aansluitwaarde hebben gemaakt en daarnaast regelmatig de buffer nodig hadden. Het grote aantal uren onder de 70 m³ voor de geschermdes afdelingen is voor tweederde in de nacht gerealiseerd.



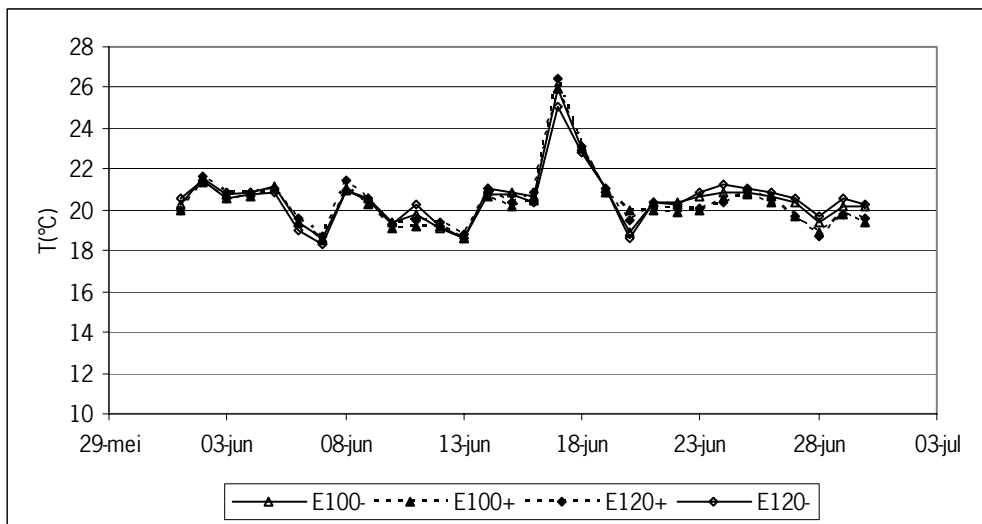
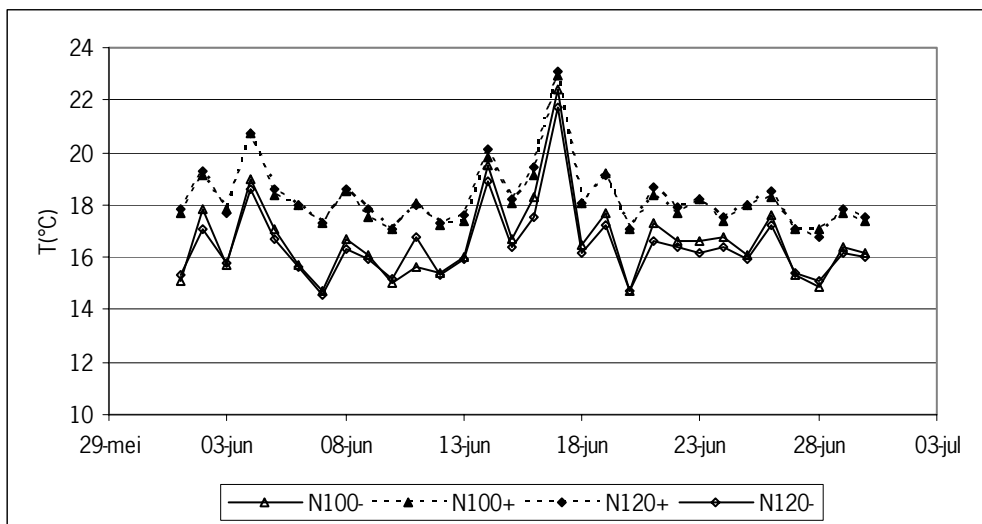
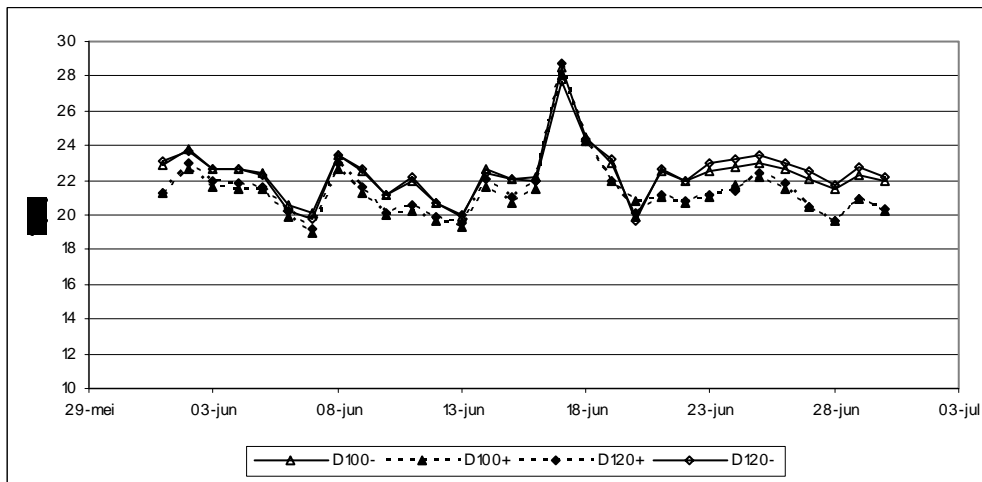
Grafiek 3 Het aantal uren met een bepaald gasverbruik in de periode 15/12/2001 en 2/04/2002. Voor de leesbaarheid van de grafiek is het gasverbruik steeds per 5 m³ weergegeven. Waarbij 0=0m³, 5=1-5m³, 10=6-10m³ enz.

3.2 Zomerproef

3.2.1 Kasklimaat in de zomer

De gemiddelde etmaaltemperatuur van de afdelingen bleef over langere tijd gelijk. Op 31 oktober waren de temperatuursommen voor de afdelingen respectievelijk 3691, 3723, 3718 en 3682. Dit betekent dat op een totaal van 192 dagen slechts 41 graaddagen verschil tussen de 'koudste' en de 'warmste' afdeling was ontstaan. Dit is een verschil van 0,2 °C per dag en daarmee verwaarloosbaar. De integratieregeling heeft prima gewerkt. Na 8 april ontstonden er wel duidelijk verschillen in gemiddelde dag en gemiddelde nachttemperaturen zoals in figuur 4 a en b te zien is. In figuur 4 c staat de bijbehorende etmaallijn. Het verschil op de dag was in juli en augustus klein op basis van het zonnige buitenklimaat, dientengevolge verschilde de nachttemperaturen in deze maanden ook minder. (gegevens niet weergegeven)

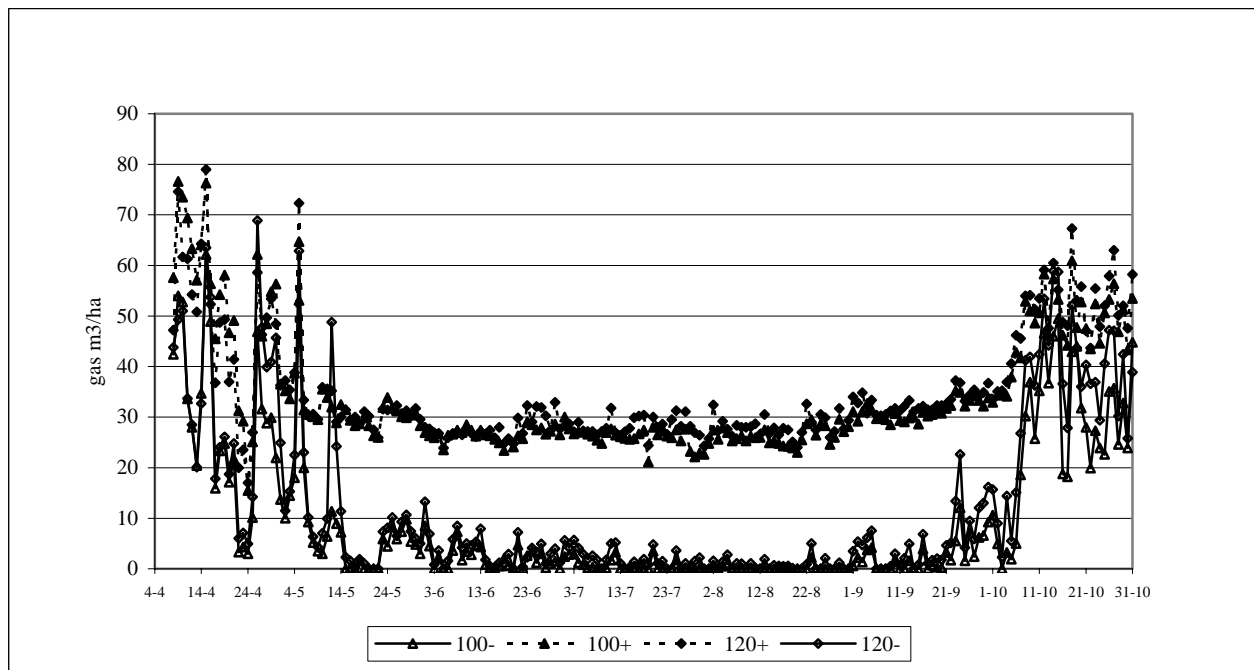
Op de dag waren de ramen in de standaardafdeling vrijwel altijd verder open dan in de integratieafdelingen. Als gevolg van de verschillen in raamstand ontstonden verschillen in CO₂-concentratie op de dag. De verschillen ontstonden vooral aan het begin en in mindere mate aan het einde van de dagperiode. Tussen juni en september was de CO₂-concentratie in de integratieafdelingen tussen zonop en zononder significant 100 ppm hoger. De relatieve luchtvochtigheid verschilde over een etmaal niet veel tussen de behandelingen. Alleen in behandeling **120-**, met integratieregeling, lag de RV meestal iets hoger. In bijlage 4 zijn grafieken opgenomen van de CO₂ concentratie en de RV in deze periode.



Grafiek 4 a, b en c Voorbeelden van het verloop van de gemiddelde dag(a) – nacht (b) en etmaal(c) temperatuur in de verschillende behandelingen; – is integratie; + is standaard teelt, 100 en 120 staan voor de gasaansluitwaarde. D=daggemiddeld, N= nachtgemiddeld, E=etmaalgemiddelde

3.2.2 Gasverbruik in de zomerproef

De verschillen in gasverbruik in de zomerproef waren groot. In de integratie afdeling werd tussen 8 april en 31 oktober in totaal 53335 m³ gas per hectare verstoekt en in de standaardafdeling met minimumbuis 171388 m³ gas per hectare. De gerealiseerde besparing door de integratie bedroeg 69 %. In grafiek 5 staan de etmaal gemiddelden per uur voor deze periode.

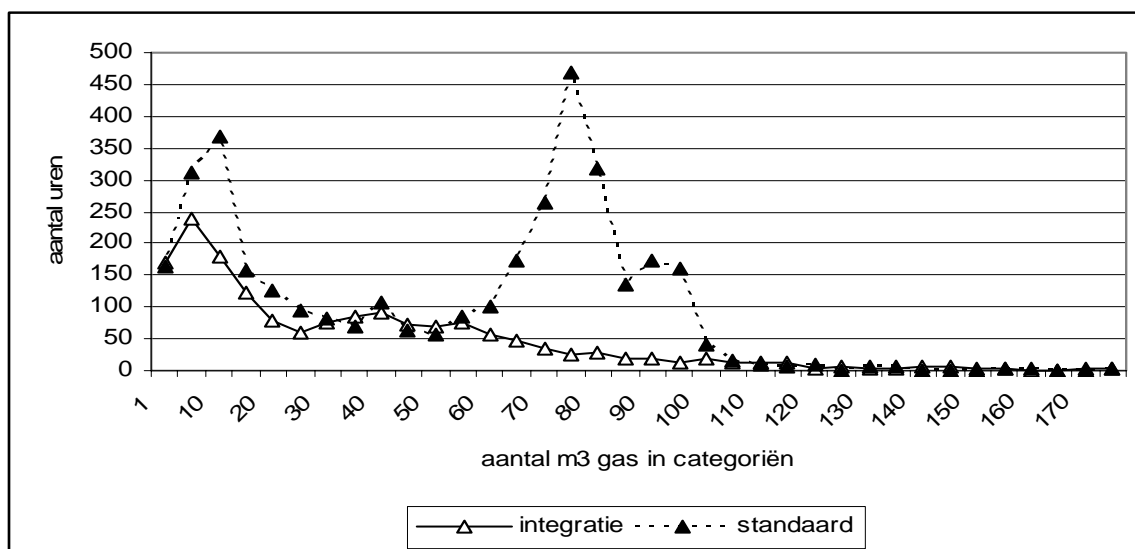


Grafiek 5 Etmaal gemiddelden van het gasverbruik per uur voor de zomerproef van 8/4/02 tot 31/10/02 100 en 120 gasaansluitwaarden, + is standaardregeling, - integratieregeling.

In de zomermaanden heeft de integratieregeling weinig gas verbruikt. In de maanden juli/augustus werd vrijwel alleen tussen 05.00 en 07.00 uur gestookt om de kas op dagwaarde te krijgen en natslaan van de vruchten te voorkomen.

In grafiek 6 is het gemiddeld aantal uren met een bepaald gasverbruik opgenomen. De uren met waarde 'nul' = absoluut zijn niet in de grafiek weergegeven omdat anders de verschillen bij de overige waarden onleesbaar werd. De integratie regeling heeft 3311 uur niet gestookt; de standaard regeling 1390 uur.

De hoge piek voor de standaard regeling rond de 75 m³ wordt veroorzaakt door het gebruik van de minimumbuis in de nacht.



Grafiek 6 Het aantal uren met een bepaald gasverbruik in de periode 8/04/2002 tot 31/10/2002. Voor de leesbaarheid van de grafiek is het gasverbruik steeds per 5 m³ weergegeven. Waarbij 1=1m³, 5=2-5m³, 10=6-10m³, 15 = 11-15 m³ enz. Het uurverbruik bij 0 m³ is niet weergegeven; Dit was voor de integratieregeling 3311 uur en standaard regeling 1390 uur.

3.3 Gewaswaarnemingen

3.3.1 Teeltverloop

De teelt ging goed van start. In de laatste week van 2001 bleek echter een te hoge etmaaltemperatuur, van 22 °C, gerealiseerd te zijn. Op 3 januari werd de temperatuur verlaagd, waarbij in de geschermdede afdelingen (**100-** en **100+**) voor een lager etmaalsetpoint werd gekozen dan in de ongeschermdede afdelingen (**120+** en **120-**). De etmaaltemperatuur werd nu respectievelijk 18 en 20 °C. Na enkele weken werd de etmaaltemperatuur weer gelijk getrokken. Op 8 jan werd een verschil van 1 °C tussen dag en nacht temperatuur ingesteld, alsmede een lichtverhoging op de dag.

Begin april werd Botrytis waargenomen. De aantasting kwam vooral in de behandeling **100+** en **120-** voor. Deze afdelingen lagen naast elkaar. In de tegenoverliggende afdelingen was de aantasting lager. De totale uitval aan het einde van de teelt bedroeg 10, 17, 8 en 8 planten voor respectievelijk de behandelingen **100-**, **100+**, **120+** en **120-**. Dit is 3,5; 5,9; 2,8 en 2,8 % van het totaal van 288 planten per afdeling.

In de behandeling **120-** trad een hardnekkige witte vlieg aantasting op die noch biologisch noch chemisch echt onder controle kwam.

3.3.2 Bloeiwaarnemingen

Op 4 januari was de tweede tros zichtbaar. De afstand tussen eerste en tweede tros was bij 'Durinta' toen groter. 'Clotilde' was meer gedrongen. De tomaten in de ongeschermdede afdelingen (**120+** en **120-**) stonden op 14 januari volop in bloei. In de geschermdede afdelingen (**100+** en **100-**) was een enkel bloemetje zichtbaar. Op 18 januari bloeiden alle afdelingen. Behandeling **120-**, lag in januari voor in ontwikkeling. 'Clotilde' bleef in behandeling **120-** gedurende tot half juli voorlopen terwijl 'Durinta' al in februari gelijk liep met de overige afdelingen. In de bijlage 5 staan de bloeiwaarnemingen voor beide rassen.

3.3.3 Gewasontwikkeling

Tussen de rassen bestonden uiterlijke verschillen. 'Durinta' was blauwer van kleur en had een grotere afstand tussen eerste en tweede tros. 'Clotilde' was meer gedrongen. 'Clotilde' was beide waarneemdagen

significant korter en had minder bladoppervlak dan 'Durinta'.

Begin januari leken de planten in de ongeschermd afdelingen (**120-** en **120+**) iets langer en een groter totaal bladoppervlak te hebben. Omdat binnen behandelingen en rassen de verschillen groot waren, was dit verschil bij slopen op 22 januari niet significant. 'Durinta' was in behandeling **120-**, wel duidelijker groter en zwaarder en had een groter bladoppervlak dan in de overige drie behandelingen. 'Clotilde' was langer in behandeling **120+**.

Een maand later, op 18 februari waren beide rassen in behandeling **120-** duidelijk groter en zwaarder dan in de overige drie. De overige drie behandelingen (**100-**, **100+**, **120+**) verschilden onderling niet in plantengroei. De ongeschermd afdelingen (**120+**, **120-**) lagen één tros voor op de geschermd afdelingen.

Het gemiddelde droge stof percentage bedroeg op 22/1 voor de stengel 6,5 % en voor het blad 8,3 %. Op 18/2 was dit 8,0 % respectievelijk 8,8 %. Op 22 januari was het droge stof percentage van de stengels van de planten uit de ongeschermd afdelingen (**120+**, **120-**) hoger, de overige drogestof waarnemingen verschilden niet van elkaar.

3.3.4 Oogstresultaten

De oogst begon in behandeling **120-** op 21 maart. Op 25 maart werd in alle afdeling losse tomaten zowel als trossen geoogst. De oogst ging door tot het einde van de teelt. Er werd niet ge-ethreld. In tabel 2 staan de resultaten tot eind april.

Tabel 2: Oogstresultaten van de schermproef.

Oogst tot 29/4	Totaal kg/m ²	Klasse 1 kg/m ²	% klasse 2
'Clotilde' 100-	6,6	6,5	1,5
'Clotilde' 100+	7,4	7,3	1,4
'Clotilde' 120+	8,1	7,9	2,5
'Clotilde' 120-	8,2	8,1	1,2
	Totaal kg/m ²	Tros kg/m ²	Losse vruchten kg/m ²
'Durinta' 100-	3,8	3,4	11
'Durinta' 100+	4,9	4,5	8
'Durinta' 120+	4,9	4,4	10
'Durinta' 120-	6,1	5,5	10

Vooraf bij het trosoogsten lag de behandeling **120-** voor op de andere drie. Behandeling **100-** bleef bij beide rassen duidelijk achter. Bij 'Clotilde' produceerden de behandelingen **100+** en **100-** de eerste periode minder vruchten, voor 'Durinta' was geen duidelijke lijn tussen de behandelingen te ontdekken. Op grond van slechte vorm of neusrot werden bij 'Clotilde' enkele vruchten afgekeurd. De losse vruchten van 'Durinta' waren van prima kwaliteit, alleen los van de tros geraakt.

In tabel 3 staan de resultaten van de totaal geoogste productie van 25 maart, start oogst, tot en met 31 oktober, de laatste oogstdag.

De belangrijkste reden voor het afkeuren van tomaten van 'Clotilde' was neusrot. De hoge neusrot aantasting werd ondermeer veroorzaakt door het regelmatig hoog oplopen van de EC.

Bij de trostomaat 'Durinta' werden alleen de goede trossen meegenomen als klasse 1. Alle losse tomaten werden hier als klasse 2 beoordeeld en er werd verder geen onderscheid gemaakt naar reden van afwijking.

De hogere productie in de integratie behandelingen **100-** en **120-** is mede veroorzaakt door een hogere CO₂ concentratie in de zomerperiode.

Tabel 4 Eind oogst van de tomaten over de totale teeltperiode

Eind oogst	Totaal kg/m ²	Klasse 1 kg/m ²	% klasse 2	Gemiddeld vrucht / tros gewicht klasse1 gram
'Clotilde' 100-	54.1	49.0	9	109
'Clotilde' 100+	50.7	45.6	10	98
'Clotilde' 120+	52.5	45.9	13	98
'Clotilde' 120-	52.7	43.7	17	106
'Durinta' 100-	45.2	36.6	19	471
'Durinta' 100+	43.1	33.8	22	434
'Durinta' 120+	41.9	32.5	22	419
'Durinta' 120-	47.1	38.9	17	465

Ter vergelijking de KWIN berekent een gemiddelde opbrengst voor ronde tomaat van 55,4 kg/m² en voor tros van 54,2 kg/m² waarbij de oogst drie tot vijf weken langer doorgaat, en de zaaidatum twee week eerder lag.

4 Discussie

4.1 Eerste proefperiode

Combinatie van de resultaten van de gerealiseerde etmaaltemperatuur en het gasverbruik laat zien dat in de periode tot 5 januari regelmatig het setpoint niet gehaald werd omdat de gashoeveelheid ontoereikend was. De eerste dagen is de gasaansluitwaarde zelfs met gebruik van scherm en buffer onvoldoende om 22 °C te realiseren in de kas. De rest van de koudere periode bleek het gebruik van een scherm in de nacht voldoende om 22 °C te halen. De laatste week was dit voor tomaat weliswaar te warm, maar dit biedt wel perspectief voor andere, warmer geteelde gewassen. Zonder scherm is 120 m³ gas/ ha/uur onvoldoende om etmaaltemperaturen van circa 19°C te realiseren in een winter met temperaturen rond het nulpunt. Gegevens over mogelijke kastemperaturen bij langere of koudere perioden zijn te vinden in de voorstudie van dit project (Rijdsdijk, 2000). Vanwege het klimaatverschil tussen het westen en de rest van het land zullen de aansluitwaarden in de rest van het land circa 10 m³ hoger moeten liggen om vergelijkbare resultaten te halen.

Het verschil in energiegebruik tussen 100 en 120 m³ /ha/uur in de periode 13 dec – 2 april komt door het gebruik van een scherm tijdens de nacht. De bereikte energiebesparing bedroeg 30 %. Een aantal nachten was het warmer dan 10 °C waardoor het scherm niet gesloten werd. Een iets grotere besparing was wellicht verkregen door op de twee vorstdagen in december ook overdag te schermen.

Snel openen van het scherm in de beginperiode veroorzaakte weliswaar een tijdelijke daling van de kastemperatuur, maar veroorzaakte geen vochtproblemen. Later in de teelt zou dit wel tot vochtproblemen kunnen leiden omdat er dan meer vocht in de kaslucht aanwezig is.

Omdat in de ongeschermdede afdelingen de ingestelde temperatuur niet werd gehaald, zie grafiek 1, was het gewas in deze afdelingen in beter conditie dan in de geschermdede afdelingen. Op 8 jan werd geconstateerd dat de eerste tros in de geschermdede afdelingen zwak was als gevolg van de te hoge temperatuur. Dit vertaalde zich in de eerste productie cijfers waarbij 'Clotilde' in de geschermdede afdelingen duidelijk achterbleef. Deze achterstand werd echter later in het jaar ingehaald. Dit betekent dat het gebruik van een scherm in de winter op jaarbasis niet nadelig hoeft te zijn voor de totale productie. Zeker als de kastemperatuur direct op de gewasgroei aangepast wordt – wat bij een tuinder gemakkelijker gaat dan in een proef- dan zal ook de gewasschade en oogstderving in de geschermdede periode veel kleiner zijn dan nu het geval was.

4.2 Integratie bespaart energie maar vraagt dure CO₂.

De integratie regeling functioneerde goed en resulteerde in een gelijke etmaaltemperatuur bij een veel lager energieverbruik.

Hierbij is er één belangrijke kanttekening te plaatsen. Tussen 15 mei en 6 oktober gebruikte de integratieregeling zo weinig aardgas dat dit niet eens voldoende CO₂ opleverde om de gewasopname op de dag aan te vullen. De gewasopname is berekend door de gewasopname bij buitenwaarde te sommeren tussen 9.00 uur en 16.00 uur, de lichtste en effectiefste uren van de dag. Dit komt neer op 210 kg. Bij een hogere CO₂-concentratie en voldoende licht kan dit oplopen tot 385 kg CO₂.

Het hogere energieverbruik in de standaardafdeling kwam voor een deel voor rekening van de ingestelde minimumbuis. Deze buis simuleerde het leegtrekken van de buffer in de nacht, ten einde deze op de dag weer te kunnen vullen om CO₂ te kunnen doseren. De minimumbuis van 45 °C rond zonop had als gunstig neveneffect dat de vruchten bij oogst droog waren. Een nadeel van het telen zonder minimumbuis in de morgen was dat de vruchten bij de oogst regelmatig nat waren als gevolg van condensatie. Dit heeft niet geleid tot botrytisaantasting op de vruchten, maar het is denkbaar dat bij tijdelijke opslag van grotere aantallen vruchten dit wel tot problemen leidt. Het stoken in de ochtend uren in de integratieafdelingen was

onvoldoende om de vruchten droog te krijgen. De buistemperatuur lag dan ook zelden boven de 30 °C. De geconstateerde neusröt aantasting was geen gevolg van de toegepaste behandelingen.

Het toepassen van de integratie regeling is alleen mogelijk wanneer CO₂ uit een alternatieve bron wordt verkregen. Dit kan zuivere CO₂ zijn, zoals in dit onderzoek is gebeurd, maar ook is het denkbaar dat rookgas-CO₂ uit industriële bronnen of energiecentrales hiertoe wordt benut. Dit laatste is uiteraard alleen mogelijk wanneer er transport van rookgas mogelijk is via een leidingstelsel. Een andere mogelijke optie is het verdelen van de kassen in verschillende afdelingen. In sommige afdelingen wordt een minimumbuis gebruikt waarmee CO₂ geproduceerd wordt dat in andere afdelingen met integratieregeling kan worden toegepast. Maar ook dan zal de tuin als geheel CO₂ te kort komen. Het doseren van CO₂ in afdelingen met een lager ventilatievoud geeft echter een grotere efficiëntie van de CO₂ dosering.

Als standaard doseernorm voor de vruchtgroenten geldt in de zomer een gasverbruik van 25 m³ /ha/uur om de buitenwaarde in de kas te kunnen handhaven. Een hogere concentratie, waarbij de productie toeneemt, vraagt een branderstand van minimaal 125 m³ /ha/uur én het gebruik van een buffer om de warmte in op te slaan. Beperking van de gasaansluitwaarde op uurwaarden onder de 125 m³ betekenen tegelijkertijd het inleveren op CO₂ . De noodzaak van het doseren van CO₂ om een goede productie te halen staat energiebesparing in de weg.

5 Conclusies

- Onder koudere omstandigheden dan deze extreem warme winter is het niet mogelijk om tomaten met een aansluitwaarde van 120 m³ gas/ha/uur te telen zonder scherm.
- Met scherm is het ook in koudere winters mogelijk tomaten bij 100 m³/ha/uur te telen, mits op tijd gewasgerichte klimaatinstellingen worden toegepast. Naar de zomer toe is deze aansluitwaarde te laag om op de dag voldoende CO₂ te kunnen doseren. Energiebesparing leidt in dit geval tot opbrengstderving.
- Een tomatengewas kan zich na een eventuele weelderige ontwikkeling onder scherm goed herstellen.
- Het is mogelijk om gebruik makend van een integratieregeling in de zomer vrijwel zonder gas tomaten te telen. De bereikte energiebesparing levert twee grote nadelen op:
 - 1) Dit resulteert in natte vruchten bij de oogst.
 - 2) De CO₂ voorziening wordt zo beperkt dat de opbrengst afneemt.Deze teeltmethode is dus ongewenst tenzij een alternatieve CO₂ bron voorhanden is. In vergelijking met een gewone teelt wordt de CO₂ beter benut omdat er minder ventilatieverlies is.

5.1 Eindconclusie

Het is mogelijk om met een lage aansluitwaarde van rond de 100 m³ gas/ha/uur tomaten te telen mits er een beweegbaar scherm wordt gebruikt en aanvullend CO₂ uit een alternatieve bron wordt gedoseerd.

6 Literatuur

- Rijdsijk, A.A., 2000, Temperatuurgrenzen aan de teelt van tomaat bij minimaliseren van de gas-aansluitwaarde. *Fase 1. Voorstudie temperatuurval en technische oplossingen*. PBG rapport 285.
- Esmeijer, M.H., Minimale transpiratie in relatie tot energieverbruik, productie en kwaliteit van glastuinbouwgewassen. *Eindrapportage van het onderzoek over de jaren 1993-1997*. PBG rapport 154.
- KWIN 2000-2001, Kwantitatieve informatie voor de glastuinbouw, onder redactie van S.C. van Woerden PBG.
- KWIN 2003-2004, Kwantitatieve informatie voor de glastuinbouw, onder redactie van S.C. van Woerden PPO-glastuinbouw.

Bijlage 1 Rekenregels van Nawrocki.

De warmteafgifte van een buis wordt berekend via de warmteoverdrachtcoëfficiënten van een buisrail van 1 m lengte.

$$K_{\text{convectie}} \text{ (W/m}^2 \text{ K)} = c * \{ (T_{\text{buis}} - T_{\text{kas}}) / (d * T_{\text{kas}}) \}^{0,25} \quad (\text{b1})$$

$$K_{\text{straling}} \text{ (W/m}^2 \text{ K)} = 2,077 * 10^{-7} * \{ (T_{\text{buis}} + T_{\text{kas}}) / 2 \}^3 \quad (\text{b2})$$

Waarbij:

c = convectiecoëfficiënt hier gekozen van Nawrocki = 5,2
d = diameter van de buis buisrail = 0,051 m groeibuis = 0,028 m
T_{buis} = gemiddelde temperatuur van de aanvoer en de retour van de afdeling.
T_{kas} = kasluchttemperatuur in het midden van de afdeling.

De warmteafgifte per m² per uur wordt vervolgens berekend via

$$Q \text{ (W)} = \{ (K_{\text{convectie}} + K_{\text{straling}}) * A * (T_{\text{buis}} - T_{\text{kas}}) \} * (\text{aantal buizen per kap/kapbreedte}) * 3600 \quad (\text{b3})$$

Waarbij

K_{convectie} = volgens formule b1
K_{straling} = volgens formule b2
A = oppervlakte van de buis berekend via :
 $\pi * d * l = 3,14 * d$ als boven * 1 (de lengte was immers 1 meter)
aantal buizen = 4 voor buisrail, 2 voor groeibuis
kapbreedte = 3,2 m
W = Watt = J/s
Uur = 3600 seconden
Alle temperaturen zijn in absolute graden Kelvin.

Van warmte naar gas per hectare per uur

$$\text{Gasverbruik (m}^3 \text{/ha)} = (Q / 3517) / \text{kettelrendement}$$

waarbij

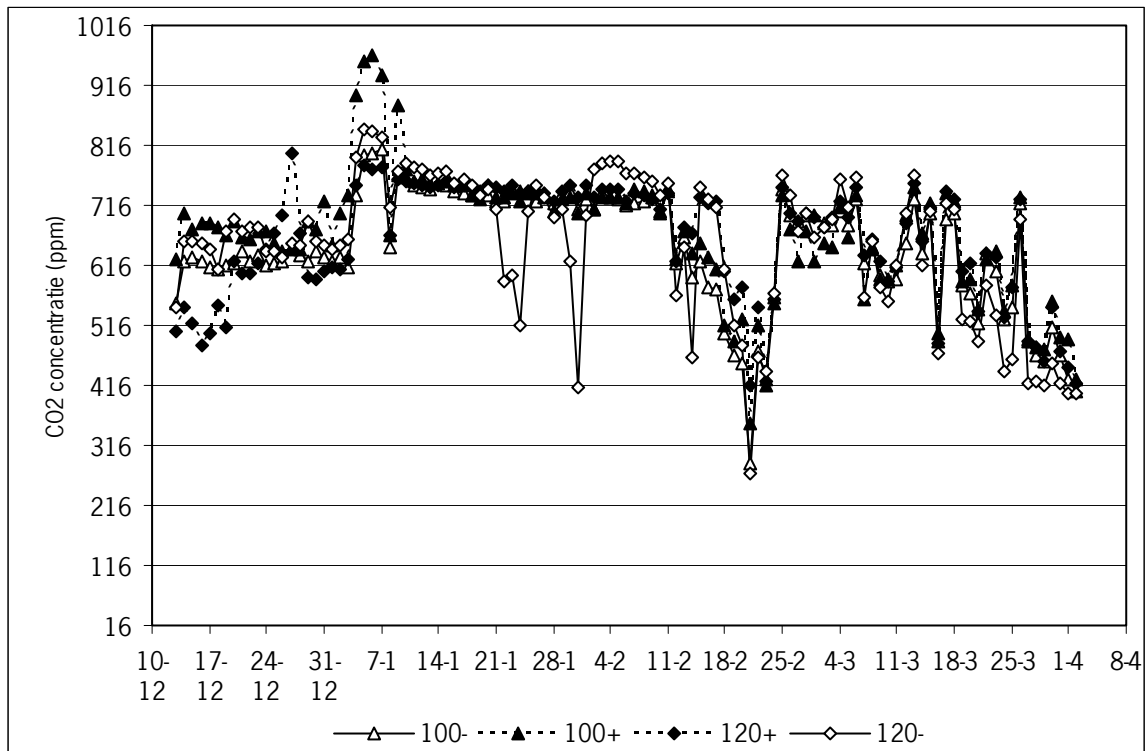
1 m³ aardgas = 35,17 MJ
1 hectare = 10.000 m²
kettelrendement = 0,85 (ketel zonder condensor. met condensor ongeveer 0.9)

Tabel b1 De berekende verschillen tussen de temperatuur van de kaslucht en de gemiddelde buistemperatuur bij een gegeven kastemperatuur, gasaansluitwaarde (100 resp. 120 m³/ha/uur) en het al dan niet inzetten van een groeibuis van 50 °C.

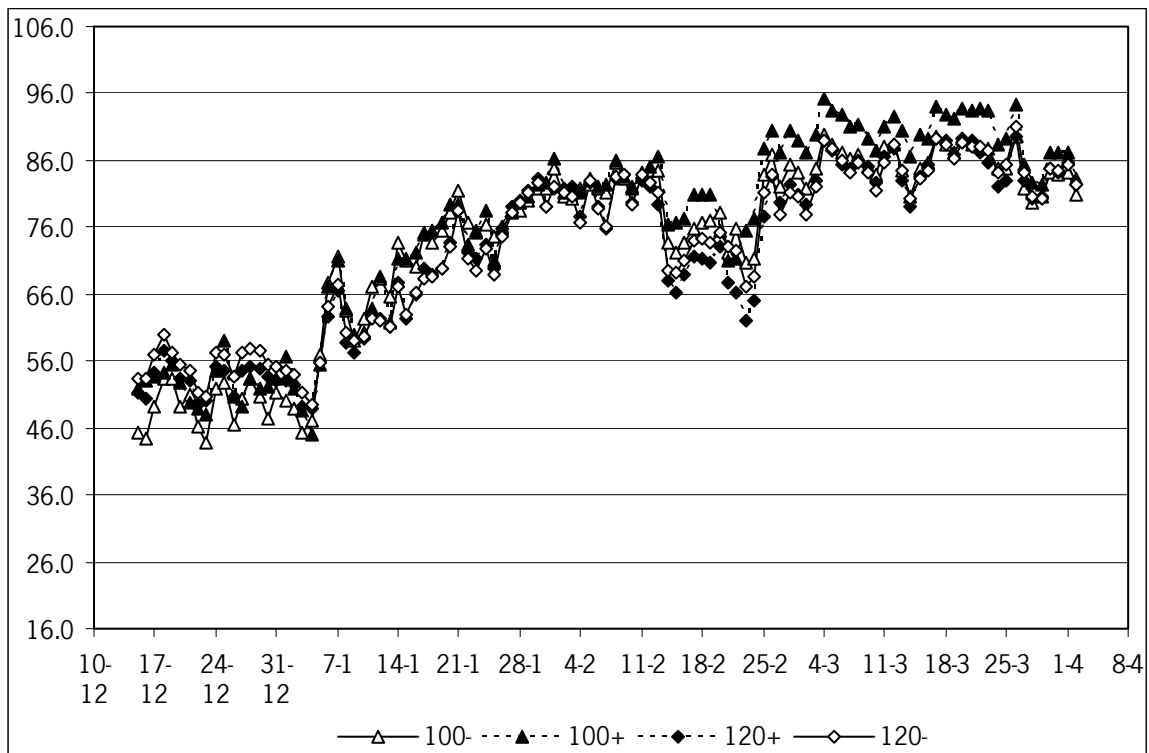
kastemp	100 m ³ – groeibuis	100m ³ + groeibuis	120 m ³ + groeibuis	120m ³ - groeibuis
9.0	34.8	24.4	30.5	40.4
9.5	34.7	24.5	30.5	40.3
10.0	34.7	24.5	30.6	40.3
10.5	34.6	24.6	30.7	40.2
11.0	34.6	24.7	30.8	40.1
11.5	34.5	24.8	30.8	40.0
12.0	34.4	24.9	30.9	40.0
12.5	34.4	25.0	31.0	39.9
13.0	34.3	25.1	31.1	39.8
13.5	34.3	25.2	31.1	39.8
14.0	34.2	25.3	31.2	39.7
14.5	34.1	25.4	31.3	39.6
15.0	34.1	25.4	31.4	39.6
15.5	34.0	25.5	31.4	39.5
16.0	34.0	25.6	31.5	39.4
16.5	33.9	25.7	31.6	39.4
17.0	33.8	25.8	31.7	39.3
17.5	33.8	25.9	31.7	39.2
18.0	33.7	26.0	31.8	39.2
18.5	33.7	26.1	31.9	39.1
19.0	33.6	26.2	32.0	39.0
19.5	33.5	26.3	32.0	39.0
20.0	33.5	26.3	32.1	38.9
20.5	33.4	26.4	32.2	38.8
21.0	33.4	26.5	32.3	38.8
21.5	33.3	26.6	32.3	38.7
22.0	33.2	26.7	32.4	38.6
22.5	33.2	26.8	32.5	38.6
23.0	33.1	26.9	32.6	38.5
23.5	33.1	27.0	32.6	38.4
24.0	33.0	27.1	32.7	38.4
24.5	32.9	27.2	32.8	38.3
25.0	32.9	27.2	32.9	38.2
25.5	32.8	27.3	32.9	38.2
26.0	32.8	27.4	33.0	38.1
26.5	32.7	27.5	33.1	38.0
27.0	32.6	27.6	33.2	38.0
27.5	32.6	27.7	33.2	37.9
28.5	32.5	27.8	33.3	37.8
29.5	32.5	27.9	33.4	37.8
30.5	32.4	28.0	33.5	37.7
31.5	32.3	28.1	33.5	37.6

De gemiddelde buistemperatuur (MGBgas) is hieruit eenvoudig te berekenen door het verschil bij de kastemperatuur op te tellen.

Bijlage 2 Grafieken van RV en CO₂ –concentratie in de eerste maanden, het ‘winter’ deel van de proef.

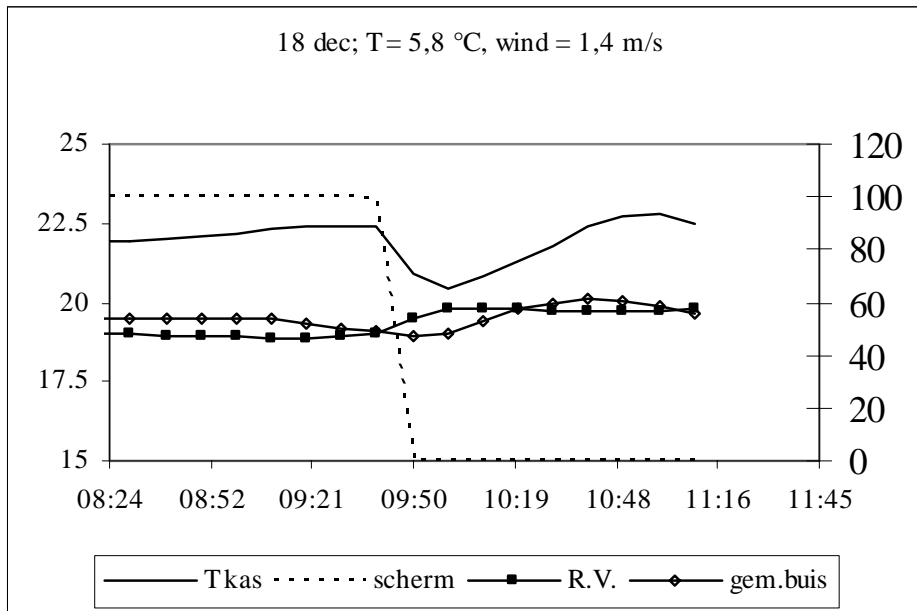


grafiek B2 - a Daggemiddelde van de CO₂ –concentratie in het eerste deel van de proef. Concentratie gemiddeld tussen zonop en zononder. Behandelingen zoals aangegeven. 100- = 100 m³/ha/uur met scherm zonder groeibuis. 100+ = 100 m³/ha/uur met scherm maar met groeibuis; 120+ = 120 m³/ha/uur zonder scherm met groeibuis en 120- = 120 m³/ha/uur zonder scherm, zonder groeibuis. Totaal gemiddelde concentratie 647, 670, 659 en 650 ppm voor respectievelijk **100-**, **100+**, **120+** en **120-**.

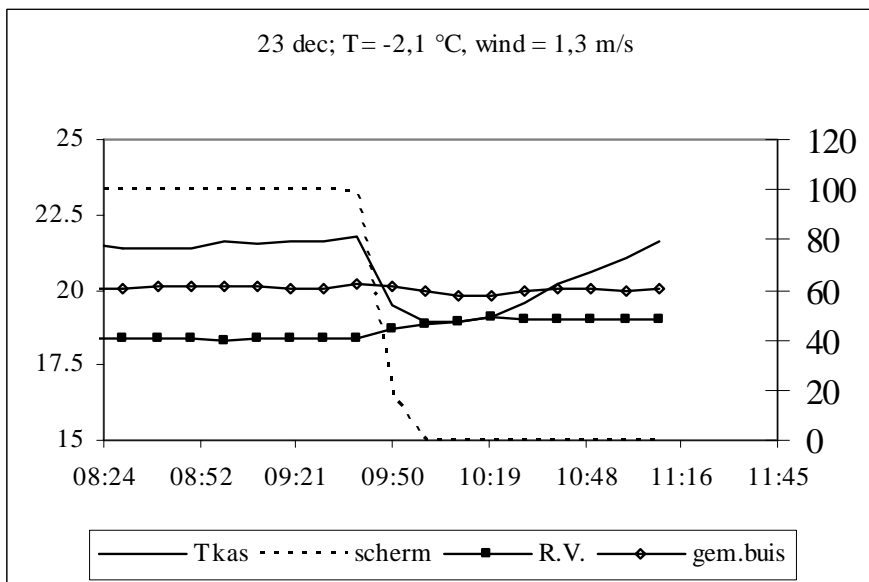


grafiek B2 –b Etmaalgemiddelden van de RV van de start van de teelt tot het einde van het winterdeel van de proef. Behandelingen zoals aangegeven. 100- = 100 m³/ha/uur met scherm zonder groeibuis. 100 + = 100 m³/ha/uur met scherm maar met groeibuis; 120+ = 120 m³/ha/uur zonder scherm met groeibuis en 120 - = 120 m³/ha/uur zonder scherm, zonder groeibuis.

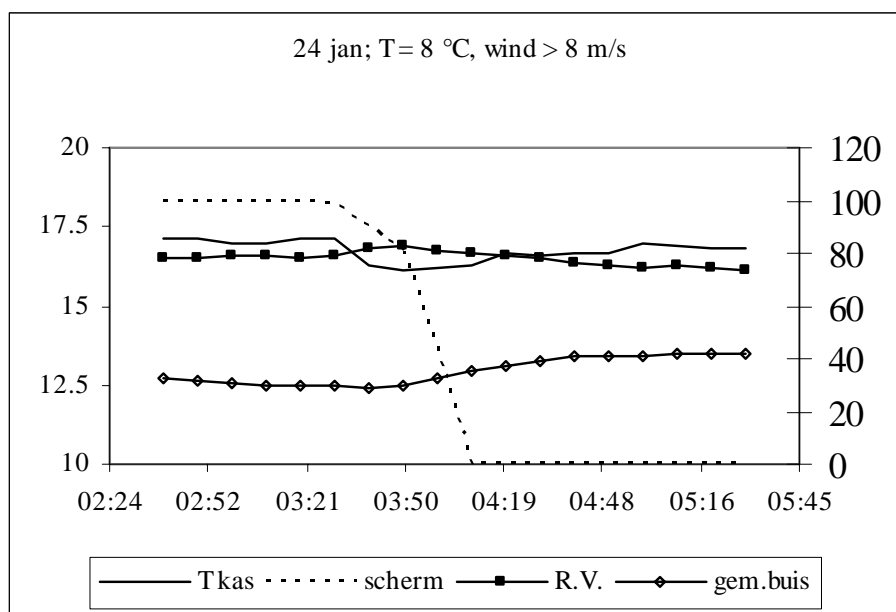
Bijlage 3 Grafieken rond scherm openen.



grafiek B3- a Snel openen op een sombere, relatief warme winterdag; 18 dec 2001; buitentemperatuur = 5,8 °C en windsnelheid 1,4 m/s. Instraling tussen 10.00 en 11.00 uur 25,3 W/m². Kasklimaatgegevens zijn gemiddeld per 10 minuten.

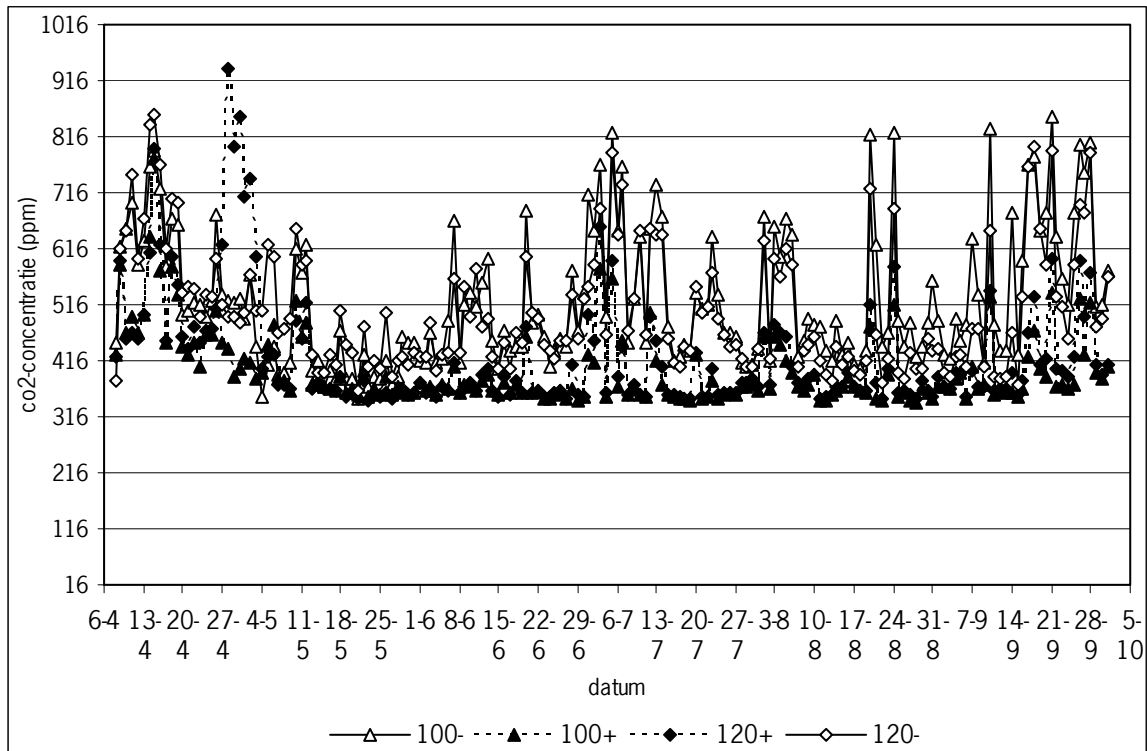


grafiek B3- b Geleidelijker openen op een zonnige koude dag; 23 dec 2001; buitentemperatuur = -2,1 °C en windsnelheid 1,3 m/s. Instraling tussen 10.00 en 11.00 uur 205 W/m². Kasklimaatgegevens zijn een gemiddelde per 10 minuten.

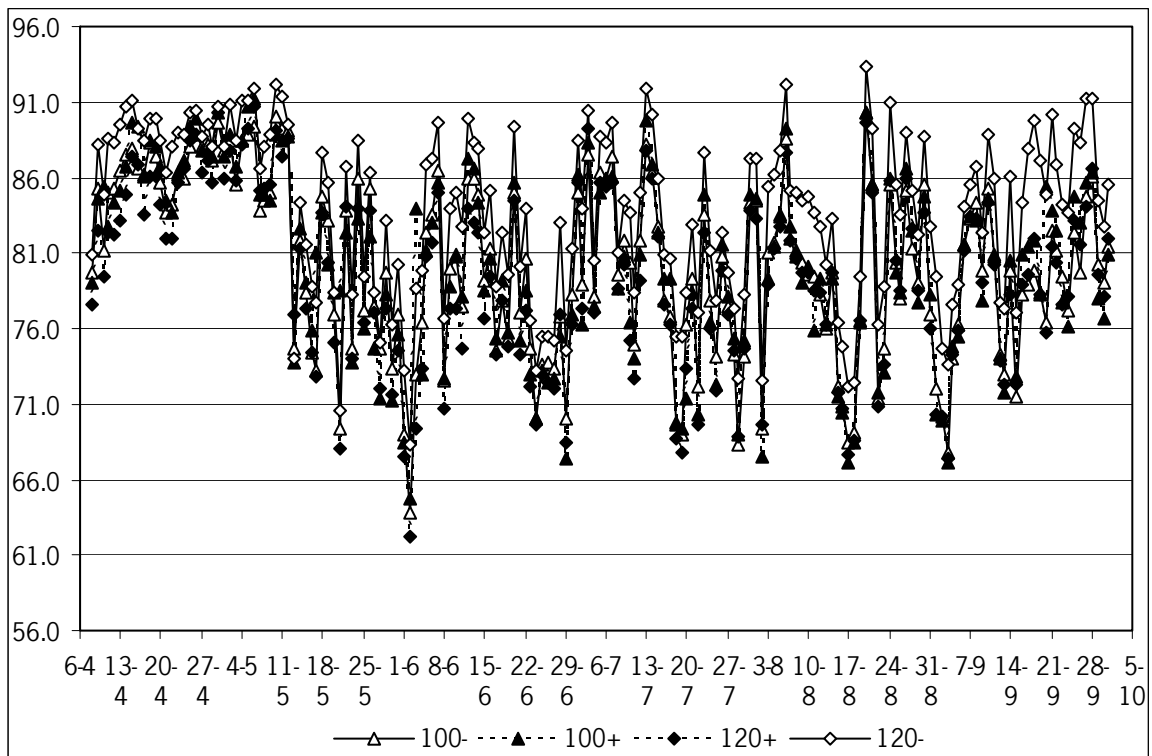


grafiek B3- c Langzaam openen op een warme, winderige dag; 24 jan 2002; buitentemperatuur = 8 °C en windsnelheid >8 m/s. Kasklimaatgegevens zijn een gemiddelde per 10 minuten.

Bijlage 4 Grafieken van RV en CO₂-concentratie in de zomerproef, cijfers van 8 april tot eind september.

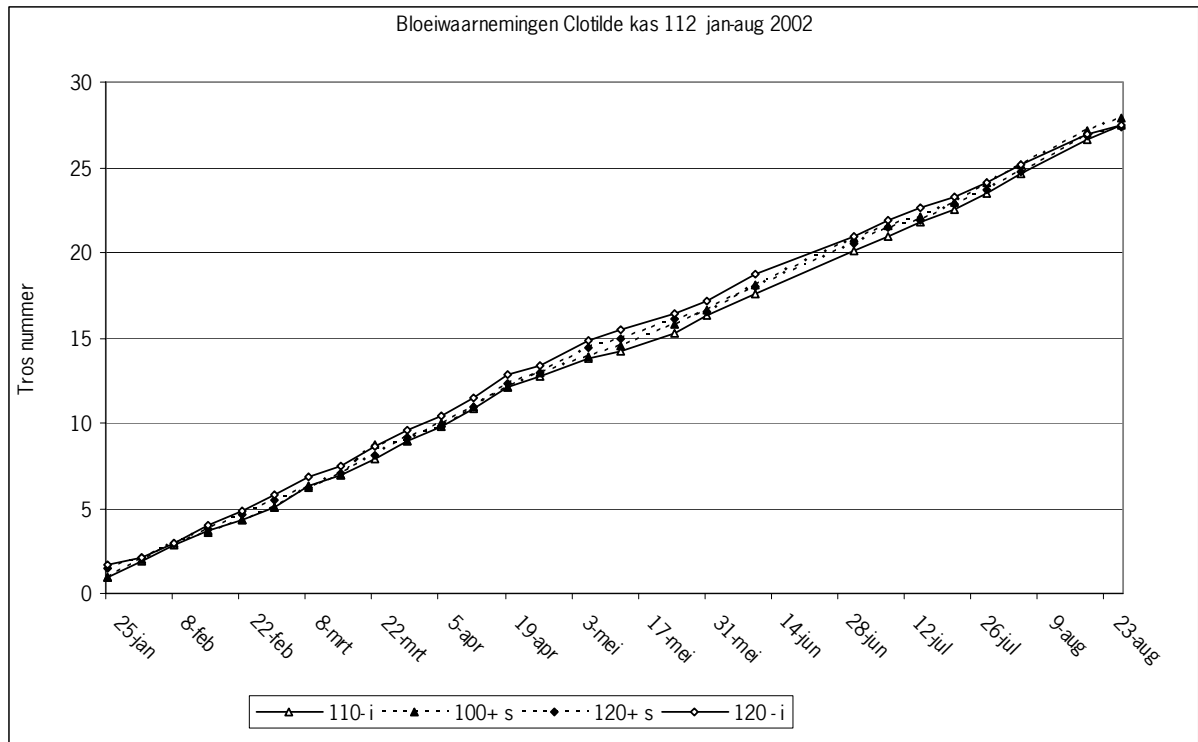


grafiek B4 - a Daggemiddelde van de CO₂ -concentratie in het eerste deel van de proef. Concentratie gemiddeld tussen zonop en zononder. Behandelingen zoals aangegeven. 100- =integratieregeling. 100+ = standaardteelt; 120+ = standaardteelt en 120- = integratieregeling. Totaal gemiddelde concentratie 524, 400, 421 en 506 ppm voor respectievelijk **100-**, **100+**, **120+** en **120-**.

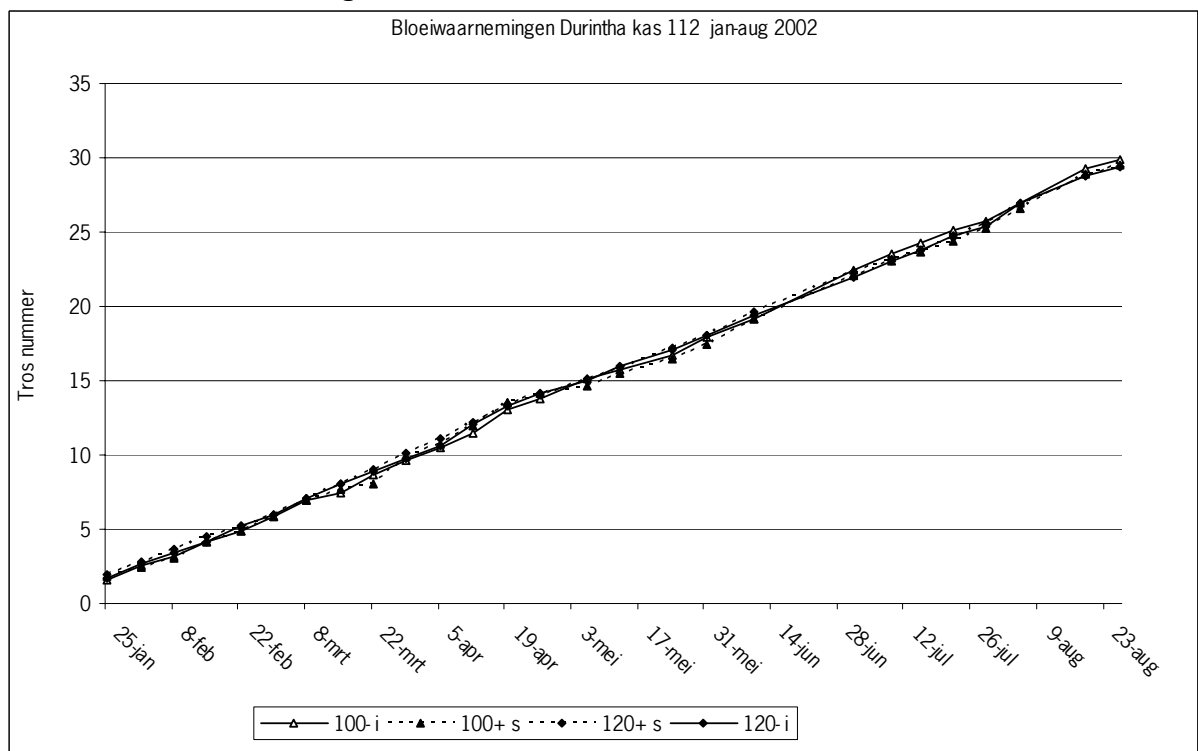


grafiek B4 –b Etmaalgemiddelden van de RV van de start van 8 april tot 1 oktober. Behandelingen zoals aangegeven. 100- =integratieregeling. 100 + = standaardteelt; 120+ = standaardteelt en 120 - = integratieregeling.

Bijlage 5 Bloeiwaarnemingen



Grafiek van de bloeiwaarnemingen van 'Clotilde'



Grafiek van de bloeiwaarnemingen van 'Durinta'