



# Tomaten telen in een geconditioneerde kas: groei, productie en onderliggende processen

Anja Dieleman, Arie de Gelder, Barbara Eveleens, Anne Elings, Jan Janse,  
Peter Lagas, Tian Qian, Johan Steenhuizen & Esther Meinen







# Tomaten telen in een geconditioneerde kas: groei, productie en onderliggende processen

Anja Dieleman, Arie de Gelder, Barbara Eveleens, Anne Elings, Jan Janse,  
Peter Lagas, Tian Qian, Johan Steenhuizen & Esther Meinen

© 2009 Wageningen, Wageningen UR Glastuinbouw

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, 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 Wageningen UR Glastuinbouw



Ministerie van Landbouw, Natuur en  
Voedselkwaliteit



## Wageningen UR Glastuinbouw

Adres : Droevendaalsesteeg 1, 6708 PB Wageningen  
: Postbus 644, 6700 AP Wageningen  
Tel. : 0317 - 48 60 01  
Fax : 0317 - 41 80 94  
E-mail : [glastuinbouw@wur.nl](mailto:glastuinbouw@wur.nl)  
Internet : [www.glastuinbouw.wur.nl](http://www.glastuinbouw.wur.nl)

# Inhoudsopgave

	pagina
1 Inleiding	5
2 Kasinrichting, teeltverloop, klimaatregeling en metingen	7
2.1 Kasinrichting	7
2.2 Teeltverloop	8
2.3 Klimaatregeling	9
2.3.1 Koeling	9
2.3.2 Ontvochtiging	10
2.3.3 Verwarming	10
2.4 Metingen	10
2.4.1 Groei en ontwikkeling	10
2.4.2 Fotosynthese	11
3 Resultaten - Kasklimaat	13
3.1 Gerealiseerde temperatuur	13
3.2 CO <sub>2</sub> concentratie en dosering	15
3.3 Luchtvochtigheid	16
3.4 Vergelijking temperatuur verloop 350 W/m <sup>2</sup> en 350 W/m <sup>2</sup> met ventilatie	19
3.5 Verschil plant - mat - kasttemperatuur	20
3.6 Energie voor verwarmen en koelen	24
3.7 Conclusies klimaat	26
4 Resultaten - gewas	27
4.1 Vegetatieve groei	27
4.1.1 Botrytis	29
4.2 Generatieve groei	30
4.3 Destructieve metingen	35
4.4 Fotosynthesemetingen	38
5 Simulatie van groei en productie	45
5.1 Narekenen van behandelingen	45
5.2 Analyse van milieu-effecten	47
5.3 Samenvatting en conclusies t.a.v. simulaties	48
6 Leerpunten en discussie	49
6.1 Leerpunten	49
6.2 Discussie	50
7 Geraadpleegde literatuur	53
Bijlage I Relatie stralingssom per uur en planttemperatuur	1 p.
Bijlage II Relatie tussen plant- en kasttemperatuur in open kas en bij 700 W/m <sup>2</sup> koeling afhankelijk van instraling en vochtdeficit	2 pp.
Bijlage III Bladoppervlak en SLA	1 p.



# Samenvatting

In de afgelopen jaren is het aantal bedrijven waarop (semi)gesloten geteeld wordt geleidelijk toegenomen. Echter, op alle bedrijven blijken nog vragen te bestaan over de reacties van het gewas op het nieuwe klimaat. Daarom wordt nu door WUR Glastuinbouw een onderzoek uitgevoerd naar de groei van tomaat in geconditioneerde kassen, waarin veel aandacht besteed wordt aan de fysiologische processen in de plant. Het onderzoek wordt gefinancierd vanuit het programma Kas als Energiebron van PT en LNV en wordt begeleid door enkele tomatentelers en een adviseur.

## Reeks koelvermogens

Op 12 december 2007 zijn bij Wageningen UR Glastuinbouw in Bleiswijk tomaten geplant (Capricia op Emperador) in 5 afdelingen. In de eerste maanden werd in alle afdelingen op dezelfde manier geteeld om een goed gewas neer te zetten. Vanaf half maart 2008 (week 12) is de koeling ingezet volgens de volgende behandelingen: gesloten kas (koelcapaciteit ca. 700 W/m<sup>2</sup>); semi-gesloten kassen met koelcapaciteiten van 350 W/m<sup>2</sup> en 150 W/m<sup>2</sup>, semi-gesloten kas met koelcapaciteit van 350 W/m<sup>2</sup> waarin aan het einde van de dag via ventilatie naar de nachttemperatuur gegaan werd in plaats van via mechanische koeling; en standaard teelt in een 'open kas'. Voor de koeling werd lucht boven uit de kas aangezogen. Via luchtbehandelingskasten werd vervolgens de gekoelde lucht door slurven onder de teeltgoten in de kas geblazen.

## Klimaat

In de afdelingen werd CO<sub>2</sub> gedoseerd met een capaciteit van maximaal 230 kg/ha/uur. Naarmate de afdelingen meer gesloten waren, was de CO<sub>2</sub> concentratie hoger. In de maanden juli en augustus leidde dit tot gemiddelde CO<sub>2</sub> concentraties overdag van 1100 ppm in de gesloten kas, 950 ppm in de kassen met 350 W/m<sup>2</sup> koeling, 730 in de kas met 150 W/m<sup>2</sup> koeling en 600 ppm in de open kas. Vanwege een betere groei door de hogere CO<sub>2</sub> concentraties waren de ingestelde temperaturen in de meer gesloten afdelingen hoger. Op zonnige dagen met hoge buitentemperaturen liep de temperatuur in de open kas hoger op. In de gesloten kas liepen de verschillen in verticale temperaturen op tot ca. 5 °C, terwijl in de open kas dit slechts 0.5-1 °C was. In de gesloten kas was daarnaast de planttemperatuur tot 2 °C hoger dan de kasluchttemperatuur, terwijl in de open kas planttemperatuur en kasluchttemperatuur nauwelijks verschilden. Het vochtdeficit was in de open kas het hoogst en in de gesloten kas het laagst. Op zonnige dagen liep het vochtdeficit in de open kas sterk op, terwijl het in de geconditioneerde kassen constanter en lager was gedurende de dag.

## CO<sub>2</sub> en energie

De hogere CO<sub>2</sub> concentraties in de gesloten kas werden gerealiseerd met 14.4 kg CO<sub>2</sub> per m<sup>2</sup> voor de hele teelt, terwijl in de open kas 54.7 kg CO<sub>2</sub> per m<sup>2</sup> gedoseerd werd. In de kassen met 150 en 350 W/m<sup>2</sup> koeling was dit respectievelijk 46.1 en 29.6 kg CO<sub>2</sub> per m<sup>2</sup>. In de open kas werd netto 31 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> aardgas equivalenten gebruikt. De kas met 150 W/m<sup>2</sup> leverde 3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> op. In de kassen met 350 W/m<sup>2</sup> en 700 W/m<sup>2</sup> koelcapaciteit werd 26 respectievelijk 45 m<sup>3</sup> a.e./m<sup>2</sup> overgehouden. Als het koude water dat nodig is voor koeling afkomstig is van een warmtepomp zijn de energieoverschotten groter.

## Versnelling gewasontwikkeling

Door de hogere temperaturen in de meer gesloten afdelingen, was de gewasontwikkeling daar het snelst. Aan het einde van de proef hadden planten in de open kas 32 trossen aangelegd tegen 35 trossen in de gesloten kas. In de loop van de zomer, vanaf week 25, was er een effect van de behandelingen op de bladlengte. De bladeren in de gesloten kas en kas met een koelcapaciteit van 350 W/m<sup>2</sup> waren ongeveer 4 cm korter dan in de open kas en kas met 150 W/m<sup>2</sup> koelcapaciteit.

## Productie

Vanaf week 20 traden er productieverschillen op tussen de verschillende behandelingen. Naarmate de kas meer gesloten was, was de wekelijkse productie vanaf dat moment hoger. De eindproducties van alle behandelingen staan in de tabel. Vanaf week 30 bleef de productie in de gesloten kas achter. Dit had voor een groot deel te maken met een aantasting van Botrytis in deze afdeling, waardoor een deel van de stengels verwijderd moest worden. De productieverschillen werden verklaard door zowel een verschil in aantal aangelegde trossen, als door het gemiddeld vruchtgewicht, dat in de afdelingen met 350 W/m<sup>2</sup> koelvermogen het hoogst was (98 gram per vrucht) en in de open kas met 91 gram per vrucht het laagst. De stengeldichtheid in de proef (3.8 stengels/m<sup>2</sup>) was achteraf gezien te hoog, waardoor het vruchtgewicht onder de 100 gram bleef.

Behandeling	Productie (kg/m <sup>2</sup> )	Productiestijging t.o.v. open kas (%)
Open kas	55.2	-
150 W/m <sup>2</sup> koelvermogen	58.6	6
350 W/m <sup>2</sup> koelvermogen	60.8	10
350 W/m <sup>2</sup> koelvermogen met ventilatie aan het einde van de dag	61.0	11
700 W/m <sup>2</sup> koelvermogen	57.3	4

## Assimilaten naar de vruchten

Elke 2 maanden werden planten uit de proef gehaald om de gewichten van alle onderdelen te bepalen. De gewichten van de stengels, bladeren en vruchten werden gewogen. Om de verdeling van de assimilaten te bepalen, werden daarbij ook de gewichten geteld van de reeds geoogste vruchten en geplukte bladeren. Uit de resultaten blijkt dat het percentage van de geproduceerde droge stof dat in de vruchten terug te vinden is voor alle behandelingen gelijk was. Het klimaat dat in de verschillende behandelingen is gerealiseerd heeft geen effect op de drogestofverdeling tussen de vegetatieve delen (bladeren en stengels) en generatieve delen (vruchten). Ook de bladoppervlakte per gram blad, een maat voor de bladdikte, verschilde niet tussen de behandelingen.

## Fotosynthesemetingen

Met behulp van draagbare fotosyntheseapparatuur is in de proef de fotosynthese gemeten. De fotosynthese in de gesloten kas bij een reeks lichtintensiteiten in de meetcuveet bleek niet te verschillen van de fotosynthese in de open kas. Naarmate er meer licht is, is het positieve effect van hogere CO<sub>2</sub> concentraties op de fotosynthese groter. Dit effect is nog sterker bij hogere temperaturen (tot 34 °C). Dat houdt in dat als er veel licht is en de CO<sub>2</sub> concentratie hoog is, een omstandigheid die typisch is voor geconditioneerde kassen, een hogere temperatuur positief is voor de aanmaak van assimilaten. Dit geldt met name voor de bovenste bladeren die het meeste licht onderscheppen. In lager gelegen bladlagen geldt dit temperatuureffect niet. Een tijdelijk hoge temperatuur is dus te accepteren, zonder dat dit leidt tot schade voor de fotosynthese.

## Effect klimaat factoren: CO<sub>2</sub> belangrijkste verklaring

Met behulp van een gewasgroeimodel zijn de verschillende behandelingen nagerekend. De berekende producties bleken goed overeen te stemmen met de gerealiseerde producties. Hieruit blijkt dat de effecten van de klimaatverschillen in de behandelingen goed door het model ingeschat werden. Het effect van de Botrytisaantasting in de gesloten kas op de productie werd door het model geschat op ca. 6%. Zonder Botrytis zou de productie in de gesloten kas op ca. 64 kg/m<sup>2</sup> uitgekomen zijn. Het effect van de afzonderlijke klimaatfactoren (CO<sub>2</sub>, temperatuur en luchtvochtigheid) op de groei en productie zijn met het model geanalyseerd. Hieruit bleek dat het effect van de meerproductie bijna volledig te danken is aan de hogere CO<sub>2</sub> concentraties in de (semi)gesloten kassen.



**Ventilatie aan het einde van de dag: energiezuiniger**

In de proef was een behandeling opgenomen, waarbij aan het einde van de dag via ventilatie naar de nachttemperatuur werd gegaan, in plaats van via mechanische koeling. Idee hierbij was dat hierdoor de temperatuur van de vruchten onder in het gewas hoger zou blijven, waardoor deze sterkere assimilatenvragers zouden zijn. Uit de resultaten bleek dat het verschil in vruchttemperatuur aan het einde van de dag niet zodanig groot was dat er effect was op gemiddeld vruchtgewicht en productie. Wel was het energiegebruik van de afdeling waarin aan het einde van de dag geventileerd werd lager dan van de afdeling met dezelfde koelcapaciteit waarin op die momenten gekoeld werd.

**Slotopmerkingen**

De belangrijkste klimaatfactor in de realisatie van de productiestijging in geconditioneerde kassen is CO<sub>2</sub>. Gewassen in open en gesloten kassen blijken niet meer of minder efficiënt om te gaan met CO<sub>2</sub>. De respons van de fotosynthese en de verdeling van de assimilaten over de vruchten en andere onderdelen van de plant verschilt niet tussen planten in de kassen met verschillende koelcapaciteiten. Verdere productiewinst is te halen uit een goede afstemming van temperatuur op licht en CO<sub>2</sub>, beheersing van de luchtvochtigheid en verticale temperatuurgradiënt en het voorkomen van ziektes.



# 1 Inleiding

In de jaren negentig is een teeltconcept ontwikkeld voor de glastuinbouw waarin de kas 'volledig' gesloten werd. Kenmerk van een gesloten kas is dat er een klimaat gerealiseerd kan worden dat onafhankelijk is van het buitenklimaat, met uitzondering van de factor licht. Met behulp van verwarming, koeling, ontvochtiging en CO<sub>2</sub> dosering kunnen temperatuur, luchtvochtigheid en CO<sub>2</sub> concentratie in de kas naar wens gerealiseerd worden. Door in de zomer een deel van de warmte van de zon te oogsten, dit op te slaan en in de winter te gebruiken biedt dit concept grote mogelijkheden tot reductie van het gebruik van fossiele energie (De Zwart, 2008). In 2002 is dit concept voor het eerst beproefd, in een kasafdeling van het toenmalige PPO in Naaldwijk. De resultaten toonden aan dat telen van een goed gewas met een hoge productie in de gesloten kas mogelijk was tegen een lager energiegebruik dan in een open kas (Schoonderbeek e.a., 2003; De Gelder e.a., 2005; Opdam e.a., 2005).

In de jaren die volgden is op een aantal praktijkbedrijven gestart met gesloten of semi-gesloten telen. Deze termen worden nu onder de verzamelnaam 'geconditioneerd telen' geschaard. De ervaringen op de praktijkbedrijven waren wisselend. Het werd duidelijk dat er op het gebied van geconditioneerd telen nog veel te leren viel. De nieuwe technische ontwikkelingen leidden vaak tot onverwachte zaken in het klimaat, zoals grote verticale temperatuurverschillen, lage luchtvochtigheid door het binnenhalen van droge buitenlucht en een andere relatie tussen plant- en luchttemperatuur (Raaphorst, 2005; Raaphorst e.a., 2006, 2007; Bakker e.a., 2006; De Gelder e.a., 2007; De Zwart e.a., 2008). Daardoor werd het beeld van het gewas in de kas anders dan in een open kas, waardoor telers opnieuw moesten zoeken naar de juiste manier van telen. In veel gevallen werd in de eerste jaren van geconditioneerd telen daarmee niet de productiestijging gerealiseerd waar op gerekend was.

Om de potentie van zowel meerproductie als reductie in energiegebruik en CO<sub>2</sub> emissie te realiseren is het van groot belang de vragen die er in de praktijk leven over de reacties van het gewas op het nieuwe klimaat in geconditioneerde kassen te beantwoorden. Met dit doel is het project 'Gewasmanagement bij geconditioneerd telen' opgezet. In het eerste jaar van het project, 2008, zijn twee experimenten uitgevoerd. Het eerste experiment, waarin de groei en ontwikkeling van tomaat bij verschillende klimaten (reeks koelcapaciteiten), werd geanalyseerd, wordt in dit verslag beschreven. Over het tweede experiment, de effecten van luchtvochtigheid op groei, productie en onderliggende processen bij tomaat is een apart rapport geschreven (Eveleens e.a., 2009).

In het experiment dat in dit rapport beschreven is, werden planten geteeld bij verschillende klimaten, die het gevolg waren van het aanleggen van een reeks koelcapaciteiten van geen koeling (open kas) tot een volledig gesloten kas (koelcapaciteit van 700 W/m<sup>2</sup>). In de meer gesloten afdelingen was de CO<sub>2</sub> concentraties hoger, en daarmee ook de aanmaak van assimilaten. Er is daarom voor gekozen om daar ook de etmaaltemperaturen hoger in te stellen, zodat de ontwikkeling van het gewas sneller zou zijn en daarmee het gebruik van assimilaten. Het experiment was gericht op de analyse van groei en ontwikkeling van het gewas in de verschillende klimaten in geconditioneerde afdelingen. Daarvoor is bij reeks koelcapaciteiten gemeten aan de fotosynthese, huidmondjesopening, verdamping, drogestofproductie en verdeling en de ontwikkelingssnelheid van vruchten.

Doelstellingen van deze proef waren:

- Vaststellen wat het effect is van de verschillende klimaten als gevolg van een reeks koelcapaciteiten op groei, ontwikkeling en productie van tomaat. De uitgangshypothese was dat de meerproductie gerealiseerd wordt door een combinatie van een hogere CO<sub>2</sub> concentratie, voorkomen van pieken in temperatuur en een stabiele luchtvochtigheid.
- Vaststellen wat de voor het gewas optimale temperatuurstrategie in een geconditioneerde kas is. Uitgangshypothese hierbij is dat het gewas optimaal groeit (en produceert) bij een goede afstemming van assimilatenaanmaak (CO<sub>2</sub> concentratie) en assimilatenvraag (temperatuur).
- Vaststellen van het effect van de verschillende klimaten op de drogestofverdeling in de plant. Uitgangshypothese hierbij is dat in meer gesloten afdelingen met gemiddeld hogere CO<sub>2</sub> concentraties er naar verhouding meer assimilaten naar de vruchten gaan.

- Vaststellen wat de effecten van de afzonderlijke klimaatfactoren op de fotosynthese zijn. Uitgangshypothese hierbij is dat er voor elke klimaatfactor een optimum concentratie is waarbij de fotosynthese het hoogst is.
- Vaststellen wat het effect is van een hogere vruchttemperatuur aan het einde van de dag op de drogestofverdeling in de plant. Uitgangshypothese is dat wanneer aan het einde van de dag geleidelijk via ventilatie naar de nachttemperatuur gegaan wordt, in plaats van via mechanische koeling, de vruchten onder in het gewas warmer blijven, daarmee een sterkere sink zijn voor assimilaten en dus zwaarder worden.

## 2 Kasinrichting, teeltverloop, klimaatregeling en metingen

### 2.1 Kasinrichting

Het experiment is uitgevoerd in het kassencomplex van Wageningen UR Glastuinbouw in Bleiswijk. De kas heeft een Venlo-dek van 4.8 meter kapbreedte op een tralieligger van 9.6 meter breed met doorlopende nokluchting. De afdelingen zijn 15 meter lang. De kolomlengte is 5.50 meter. Op een hoogte van 4.25 bevinden zich de bogen voor de gewasdraden.

De afdelingen zijn ingericht met een teeltsysteem bestaande uit 12 goten met een lengte van 12.5 meter in de geconditioneerde kas en 13 meter in de standaard kas. De gootbreedte is 20 cm. De goten liggen op 50 cm boven de grond. Aan de voorkant van de kas is een betonpad van 1.30 m breedte om de buisrail karren te kunnen verplaatsen tussen de paden. Voor de verwarming is er een buisrailnet (51 mm) en een in hoogte verstelbare groeibuis (forcas 35 mm). Er is een dubbele scherminstallatie bestaande uit een energiescherm (LS 10 Ultra) en een verduisteringsscherm. Het verduisteringsscherm is in de proef niet gebruikt. De klimaatregeling gebeurt met een standaard tuinbouwcomputer (Hoogendoorn-Economic).

Als substraat is gebruikt steenwolmat Grodan Growtop expert van 7.5 cm dik. De matten zijn 15 cm breed. De watergift en voeding gaan via een druppelsysteem. Er wordt niet gerecirculeerd, maar dagelijks wordt een nieuwe voorraad voeding aangemaakt. Voor de samenstelling van de voeding en de EC gift zijn normale praktijkwaarden gehanteerd.

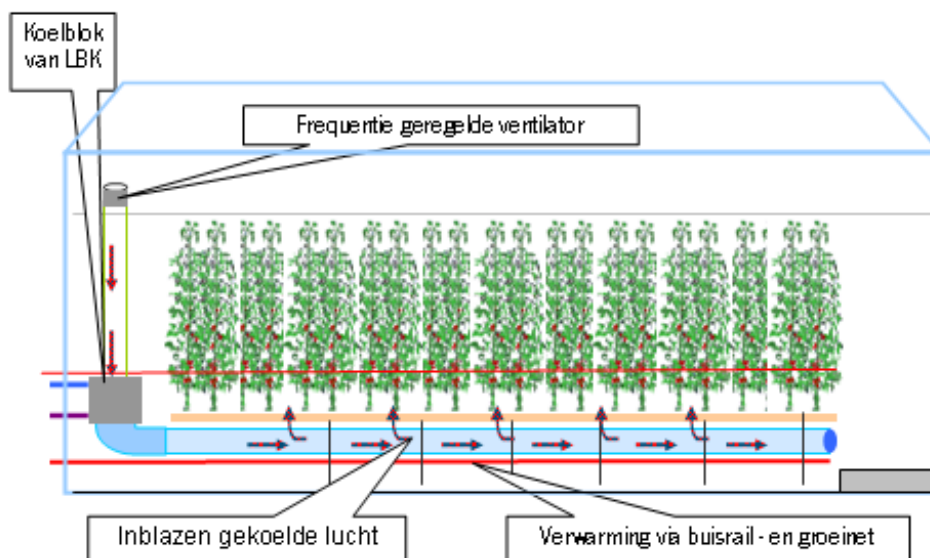
Er is wel een vernevelinstallatie aanwezig, maar deze is in deze proef niet gebruikt.

De CO<sub>2</sub> voor dosering in de kas is afkomstig van OCAP. In overleg met de BCO is de doseercapaciteit ingesteld op 230 kg/ha/uur.

Voor de koeling is in de geconditioneerde afdelingen een koelinstallatie aanwezig. Deze kan waterzijdig zo worden afgesteld dat bij een temperatuur verschil tussen aanvoer- en retourtemperatuur van het koelwater van 8 °C het gewenste koelvermogen van 150, 350 of 700 W/m<sup>2</sup> wordt gerealiseerd.

Voor de koeling van de kas wordt de lucht boven in de kas aangezogen en door een doorzichtige slang naar een warmtewisselaar gebracht. In de lucht/water warmte wisselaar wordt de lucht afgekoeld, waarna de lucht via een slang onder de teeltgoten de kas wordt ingeblazen. De slang is geperforeerd met 4 rijen van 6 gaten per meter met een diameter van 16 mm. Aan het einde van de slang zijn grotere gaten aangebracht om het gedeelte boven het betonpad goed te kunnen koelen. De ventilator is toeren geregeld. De gehele aansturing van de koeling wordt gedaan via de klimaatcomputer.

## Inrichting van de kas



Figuur 2.1. Schematische weergave van de inrichting van de kas met koeling.

## 2.2 Teeltverloop

Geplant is op 12 december 2007, cultivar Capricia geënt op Emperador. De start van de teelt is normaal verlopen. Uit zeer frequent testen gedurende de gehele teelt bleek dat het gewas vrijgebleven is van pepino mozaïek virus, al werd door telers daar vaak aan getwijfeld. Er is gestart met een plantdichtheid van 2.5 plant/m<sup>2</sup>. In week 9 is bij één op de twee planten een stengel extra aangehouden zodat de stengeldichtheid kwam op 3.75 stengels/m<sup>2</sup>. Een van de telers en de adviseur van Rijk Zwaan hebben aangegeven dit achteraf aan de hoge kant te vinden omdat de lichtdoorlatendheid van de kassen minder is dan in de praktijk en in combinatie met een hoge RV Capricia dan gemakkelijk kniktrossen gaat geven. Dit laatste is in de proef ook regelmatig voorgekomen. Dit geeft aan dat in deze kassen de stengeldichtheid te hoog was. De trossen zijn tot en met de 6<sup>e</sup> tros gebeugeld.

De behandelingen zijn gestart op 10 maart; het gewas stond er toen nog steeds goed bij. Dit beeld bleef gehandhaafd tot eind april. Het gewas was toen vrij vol. Half maart en eind april zijn halverwege de plant bladeren weggenomen. Op en boven de plaats waar de extra scheuten waren aangehouden, waren al eerder blaadjes verwijderd. Regelmatig zijn bovenin kleine blaadjes weggenomen; in de referentie afdeling is dit het meest gedaan. Eind april is de groeibuis als primaire verwarming aangezet in de geconditioneerde afdelingen om de vruchtrijping te stimuleren.

Begin mei is het zonnig en warm weer geweest, naar het oordeel van de begeleidingscommissie heeft toen vooral in de gesloten kas het gewas last gehad van een te hoge planttemperatuur. De bladkwaliteit was de laatste week in deze afdeling hard achteruit gegaan: getrokken stand, bobbelig blad, ingezonken plekken door kapot weefsel. De plantbelasting was op dat moment zo'n 15 to 20 vruchten hoger dan in de praktijk gebruikelijk.

Eind mei is de stand van het gewas niet goed. In verhouding tot de straling is er te weinig water gegeven en de etmaaltemperatuur te hoog geweest. Daar zijn aanpassingen voor gedaan om de groei van het gewas te verbeteren. Het aantal kniktrossen is nog steeds hoog. Dit wordt geweten aan de gevoeligheid van het ras in combinatie met weinig licht, te veel blad en relatief hoge etmaaltemperatuur. De kniktrossen zitten meer aan de schaduwkant van de rijen dan aan de zonkant.

De aanpassingen in klimaat en watergift hebben begin juni een positief effect op de ontwikkeling van het gewas. Daarbij staat de controle kas meer vegetatief dan de geconditioneerde afdelingen. In de geconditioneerde afdelingen worden in juni bladrandjes waargenomen, het meeste in de afdeling met 700 W koeling. Dit kan te maken hebben met de sterkere verdamping onderin het gewas bij koeling van onderuit. Omdat de gesloten kas meer groei laat zien wordt in juni in deze afdeling een hogere etmaaltemperatuur nagestreefd dan in de open afdeling.

Eind juni is de plantbelasting in de gesloten afdeling erg hoog. Omdat de vruchten vrij lang aan de plant blijven hangen wordt er relatief laat blad geplukt. In juni is daarom extra blad geplukt.

Begin juli is de gewas ontwikkeling weer goed. In de gesloten afdeling wordt eind juni/begin juli Botrytis waargenomen op de bladranden, mogelijk het gevolg van momenten van onvoldoende vochtbeheersing. De vraag is echter of dit de oorzaak is. Combinatie van gegevens van een paprika proef in de naast gelegen afdelingen met dit experiment wijzen op een periode van overmaat CO<sub>2</sub> juist in de zonnige warme periode begin mei. Daar kan toen de oorzaak van bladrandjes/bladverbranding hebben gelegen (Zie ook hoofdstuk 3 over gerealiseerd klimaat).

In juli worden groene punten aan de trossen waargenomen, dit wijst op een ongelijke rijping van de vruchten.

In juli is er ook een minimumbuis ingezet als er te weinig instraling is. In de gesloten kas werd naast Botrytis op de vruchten ook stengel Botrytis waargenomen. Het beeld is dat de afdelingen met beperkte koelcapaciteit beter groeien dan de volledig gesloten kas.

Om de balans in het gewas goed te houden is in augustus weer begonnen met het weghalen van een jong blaadje in de kop. Eind augustus en in september kwam vooral bij zogenaamde 'draaiplanten' overal iets neusrot voor. De aanwezige Botrytis vormde een bron voor infectie met een verhoogde infectie druk. Hierdoor vielen in de gesloten afdeling uiteindelijk te veel stengels uit. Het gewas stond hier ook het zwakst.

Uit de ontwikkeling van het gewas wordt de conclusie getrokken dat in een vervolg proef gekozen moet worden voor een V-systeem. Omdat de laatste trossen vrij sterk omhoog stonden, zijn ze met elastiekjes opgebonden. Begin september is de kop uit het gewas gehaald. Daarna is op een normale wijze naar het einde van de teelt toegewerkt, waarin geen bijzonderheden meer optraden. De laatste oogst was 13 november.

## 2.3 Klimaatregeling

De klimaatinstellingen voor temperatuur zijn per afdeling bepaald in overleg met de begeleidingscommissie onderzoek, die wekelijks of twee wekelijks de proef bezoekt. In het hoofdstuk klimaat wordt ingegaan op het gerealiseerde klimaat.

### 2.3.1 Koeling

De regeling van de koeling in de geconditioneerde kas is gebaseerd op combinatie van luchtsnelheid en watertemperatuur om een gewenste kastemperatuur te handhaven. In de Economic kan naast de verwarmings- en ventilatielijnen (gewenste verloop van de temperatuur) voor de koeling een extra lijn worden ingesteld. De klimaatcomputer zal de koeling dan zodanig sturen dat de gewenste koeltemperatuur wordt bereikt. Bij de verwarming en de ventilatie moeten naast het gewenste temperatuurniveau vervolgens nog moet worden aangegeven hoe de buistemperaturen worden geregeld, respectievelijke de ventilatie wordt geregeld. Bij de koeling moet worden aangegeven hoe de koelapparatuur wordt geregeld. De keuze daarbij is de snelheid van de luchtcirculatie en de aanvoertemperatuur van het koelwater. In de koelregeling is gekozen om vooral de luchtcirculatie als eerste te verhogen en de aanvoertemperatuur van het koelwater geleidelijk te verlagen. De luchtcirculatie is frequentie geregeld en levert een snel reagerende regeling op. Door bij het starten van de koeling de aanvoertemperatuur een paar graden onder de gewenste kastemperatuur te laten beginnen is bij weinig koeling de ingeblazen lucht slechts een paar graden onder de gewenste ruimte temperatuur. Zolang de ruimte temperatuur boven de koeltemperatuur blijft zal door een integrerende regeling de aanvoertemperatuur van het koude water verlaagd worden tot een ingesteld minimum

niveau is bereikt. Komt de ruimtetemperatuur onder de koeltemperatuur dan zal de aanvoertemperatuur geleidelijk weer stijgen.

## 2.3.2 Ontvochtiging

In een gesloten kas komt door verdamping van de plant vocht in de ruimte. Dit vocht moet aan de lucht worden onttrokken met de luchtbehandelingskasten. In de afdelingen met beperkte koelcapaciteit mogen de luchtramen worden gebruikt om vocht af te voeren.

Om vocht aan kaslucht te onttrekken moet de warmtewisselaar kouder zijn dan het dauwpunt van de kaslucht. In de luchtbehandelingskast is geen verwarming aanwezig. Het gevolg hiervan is dat bij ontvochtiging koude lucht met een lage hoeveelheid absoluut vocht de kas in wordt geblazen. Als de kas hierdoor onder de gewenste kastemperatuur komt zal de verwarming aan gaan om de kas op temperatuur te houden.

Het ontbreken van een verwarming in de luchtbehandelingskast is een beperking in het systeem. Op momenten van ontvochtiging zonder koelvraag wordt allereerst koude lucht ingeblazen en komt daarna de verwarming erbij waardoor onnodige verschillen in temperatuur in de kas worden gecreëerd.

## 2.3.3 Verwarming

De verwarming is van december tot en met april ingezet zoals in de praktijk toegepast. Primair het buisrail net, met een maximum temperatuur en secundair de gewasverwarming eveneens begrensd met een maximum temperatuur. Vanaf mei is in de geconditioneerde afdelingen bewust gebruik gemaakt van de groeibuis om rond de vruchten de warmte in de kas te brengen en zo de ontwikkelingssnelheid te stimuleren.

## 2.4 Metingen

### 2.4.1 Groei en ontwikkeling

Wekelijks werden van 8 planten per behandeling de volgende kenmerken gemeten:

- Kopdikte: stengeldiameter ter hoogte van de lengte van de plant in de voorgaande week (cm). Dit is ca. 25 cm onder de top van de plant.
- Bladlengte: lengte van het blad onder de bovenste bloeiende tros (cm).
- Drooggewicht van de geplukte bladeren (g).
- Lengtegroei: verschil in plantlengte tussen de vorige en deze week.
- Bloei: registratie van de hoogst gelegen bloeiende bloem, uitgedrukt in trosnummer en bloemnummer.
- Zetting: registratie van de hoogst gelegen gezette vrucht, uitgedrukt in trosnummer en vruchtnummer.
- Oogst: registratie van het trosnummer dat geoogst werd, versgewicht van de tros en aantal vruchten per geoogste tros.
- Plantbelasting: aantal vruchten per m<sup>2</sup>. Deze waarde wordt berekend uit de gegevens van zetting en oogst.

Deze metingen werden gedaan aan twee telvakken van 4 planten. Het ene telvak lag aan de noordzijde van de rij, het andere telvak aan de zuidzijde.

- Productie: aantal trossen, aantal vruchten en (vers)gewicht van de geoogste trossen, uitgedrukt per m<sup>2</sup>. Hierbij is altijd gerekend met totale productie per afdeling gedeeld door het netto beteelbare oppervlak van 120 m<sup>2</sup>. Er werd niet gecorrigeerd voor planten die vanwege destructieve oogsten of Botrytis waren verwijderd.

Periodiek werd daarnaast het drogestofpercentage van de vruchten bepaald door ze bij 80 °C te drogen gedurende enkele dagen.



In mei en juli is van 8 trossen per behandeling de bewaarbaarheid bepaald. De trossen werden in dozen in bewaar-ruimtes bij 20 °C en 80% luchtvochtigheid. Drie maal per week werd het aantal zachte en rotte tomaten geteld.

Gedurende de proef zijn elke 2 maanden planten uit de kas gehaald en destructief geoogst. Van zowel bladeren, stengels als vruchten (aan de plant) werden vers- en drooggewichten bepaald. Van de bladeren werd het blad-oppervlak bepaald.

## 2.4.2 Fotosynthese

Netto bladfotosynthese werd gemeten met twee draagbare fotosynthesemeters (LCPro, ADC, Verenigd Koninkrijk) bovenste bijna volgroeide blad, dat niet beschaduwd wordt door hoger gelegen bladeren. De fotosynthesemeter meet de CO<sub>2</sub> concentratie en de dampspanning van de lucht die de bladkamer binnenkomt en van de uitgaande lucht. Op basis van het verschil in CO<sub>2</sub> concentratie wordt de netto fotosynthesesnelheid ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) berekend. Op basis van het verschil in dampspanning worden verdamping en stomataire geleidbaarheid berekend.

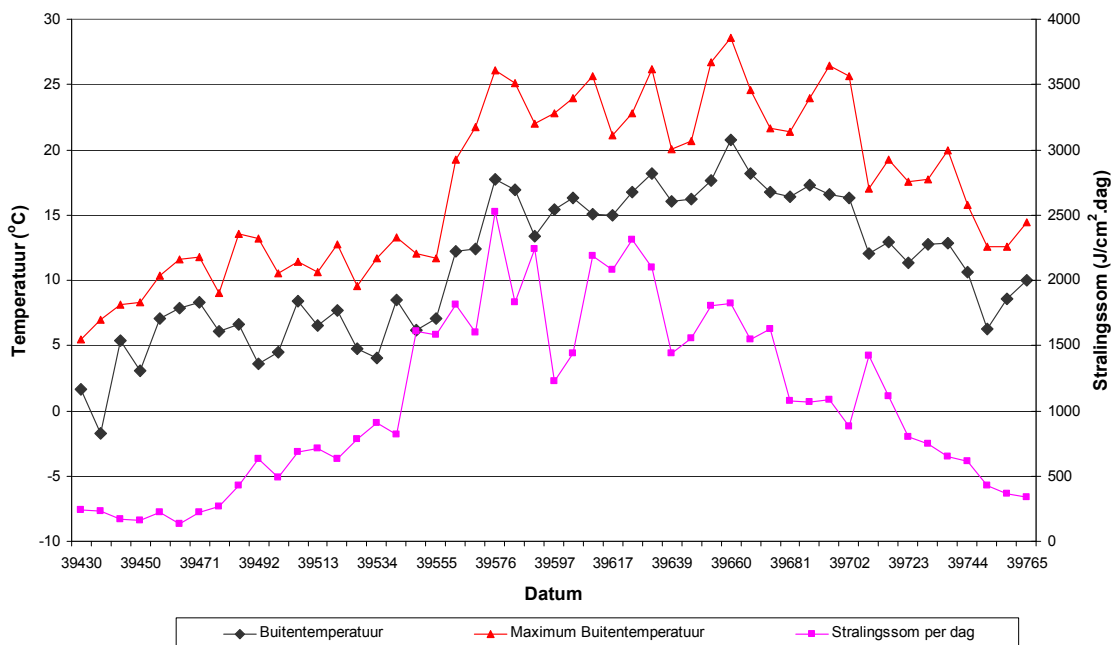
De responsen van fotosynthese op licht, CO<sub>2</sub> concentratie, temperatuur en luchtvochtigheid zijn bepaald. Hiervoor werden lichtniveaus aangelegd tussen 0 en 1400  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , CO<sub>2</sub> concentraties van 400, 800, 1200 en 1600 ppm, temperaturen tussen 24 en 38 °C en dampdrukdeficieten tussen 0.3 en 1.8 kPa.



### 3 Resultaten - Kasklimaat

In dit hoofdstuk wordt een algemeen beeld gegeven van het gerealiseerde kasklimaat in de vijf afdelingen en worden bijzondere situaties apart besproken. De grote hoeveelheid data van vijf afdelingen is alleen in een beknopte weergave te presenteren door een selectie uit de gegevens te maken die de belangrijkste verschillen tussen de afdelingen illustreren en waar voor de praktijk toepassingen uit volgen.

Het kasklimaat in de afdelingen is een resultante van het buitenklimaat en de inzet van de instrumenten om het klimaat te sturen. Het buitenklimaat in 2008 is te typeren als een relatief warm jaar maar met weinig perioden van extreme temperaturen. Alleen eind juli (week 31) kwam de etmaaltemperatuur gedurende een week boven de 20 °C. Begin mei heeft de zon uitbundig geschinen, maar eind mei was juist een bijzonder bewolkte periode.



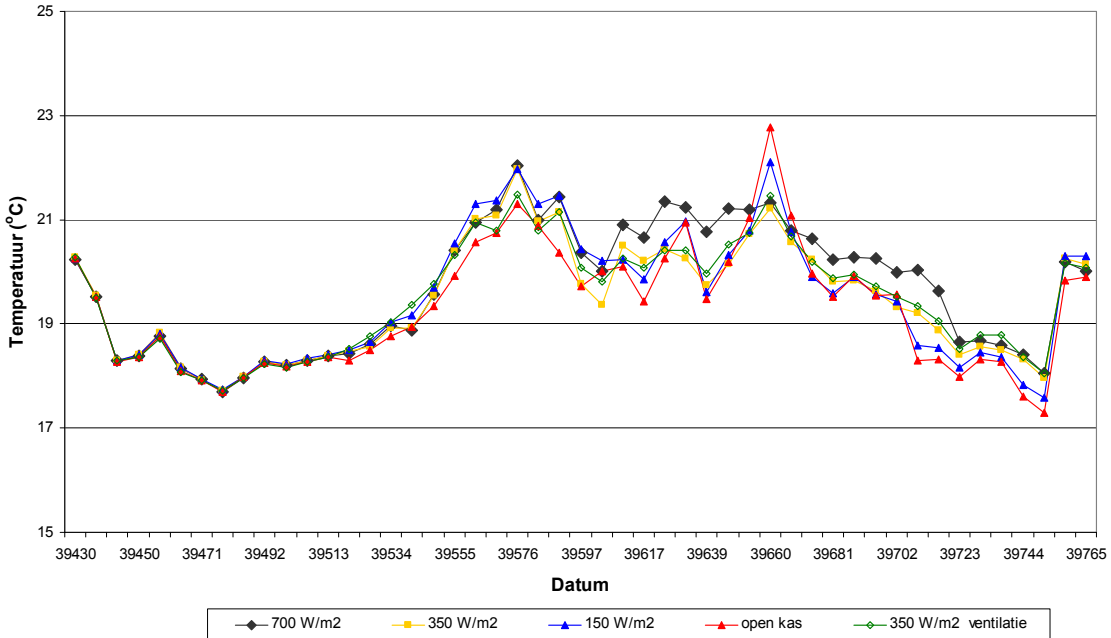
Figuur 3.1. Weekgemiddelden van het buitenklimaat.

#### 3.1 Gerealiseerde temperatuur

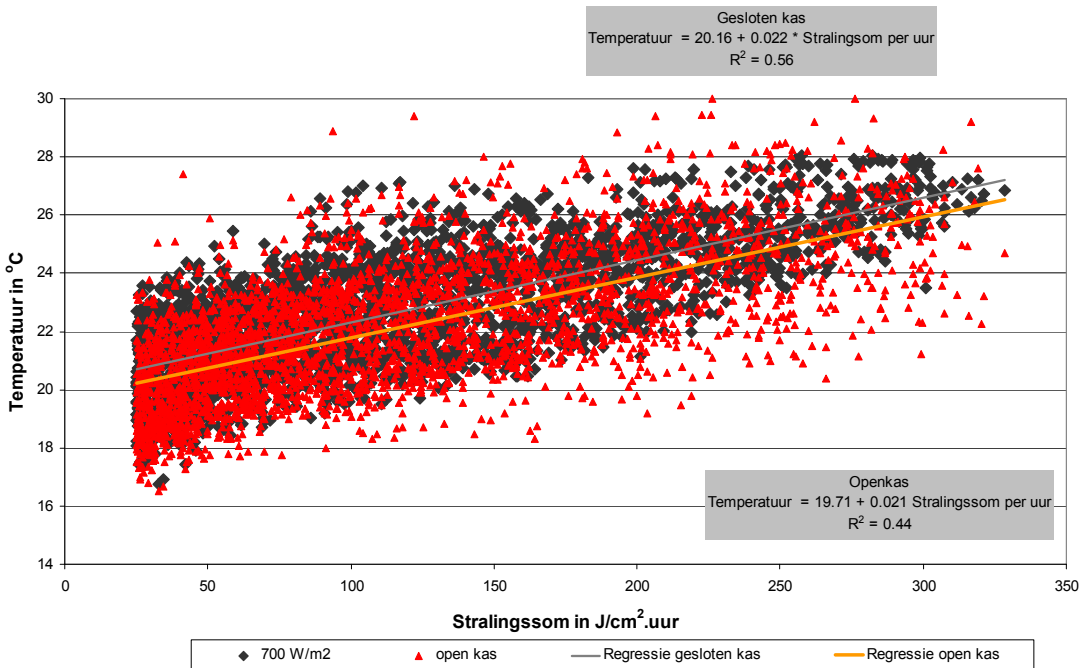
In het begin van de teelt is in alle vijf afdelingen de temperatuur strategie gelijk geweest. Vanaf begin maart (week 11) zijn er verschillen tussen de afdelingen aangelegd. Dit is het gevolg van de inzet van de koeling in plaats van ventileren. Hierdoor is er een verschil in CO<sub>2</sub> concentratie (3.2). Meer CO<sub>2</sub> betekent dat er meer groei mogelijk is en daardoor een hogere etmaaltemperatuur mag worden aangehouden. De afdelingen met koeling zijn daarom gemiddeld warmer in de zomer dan de open afdeling. Alleen in week 31 (eerste week van augustus) is dit andersom door de hoge etmaaltemperatuur buiten. Het is opvallend dat in dit experiment de gemiddelde temperatuur in de open kas gemiddeld laag gehouden kon worden. Dit heeft waarschijnlijk te maken met de gematigde nachttemperaturen in juli-augustus.

De relatie van de etmaaltemperatuur met de stralingsom per dag verschilt van de relatie tussen de momentane temperatuur met de straling. Dat is ook wel te verwachten, omdat de etmaaltemperatuur samenhangt met de nacht- en dagtemperatuur. De nachttemperatuur is onafhankelijk van de straling, maar afhankelijk van de ingestelde

verwarmings- en ventilatie temperatuur in die periode. De dagtemperatuur wordt ook door deze instrumenten beheerst, maar reageert sterk op de straling. In de geconditioneerde afdelingen is de relatie tussen stralingsom per uur en gemiddelde temperatuur per uur sterker dan in de open afdeling ( een hogere  $R^2$  zie figuur) en gemiddeld ook hoger, maar de helling van de lijnen is vrijwel gelijk. De semi-gesloten afdelingen zaten tussen deze twee uitersten in.



Figuur 3.2. Het verloop van de gemiddelde temperatuur per week in de 5 afdelingen.

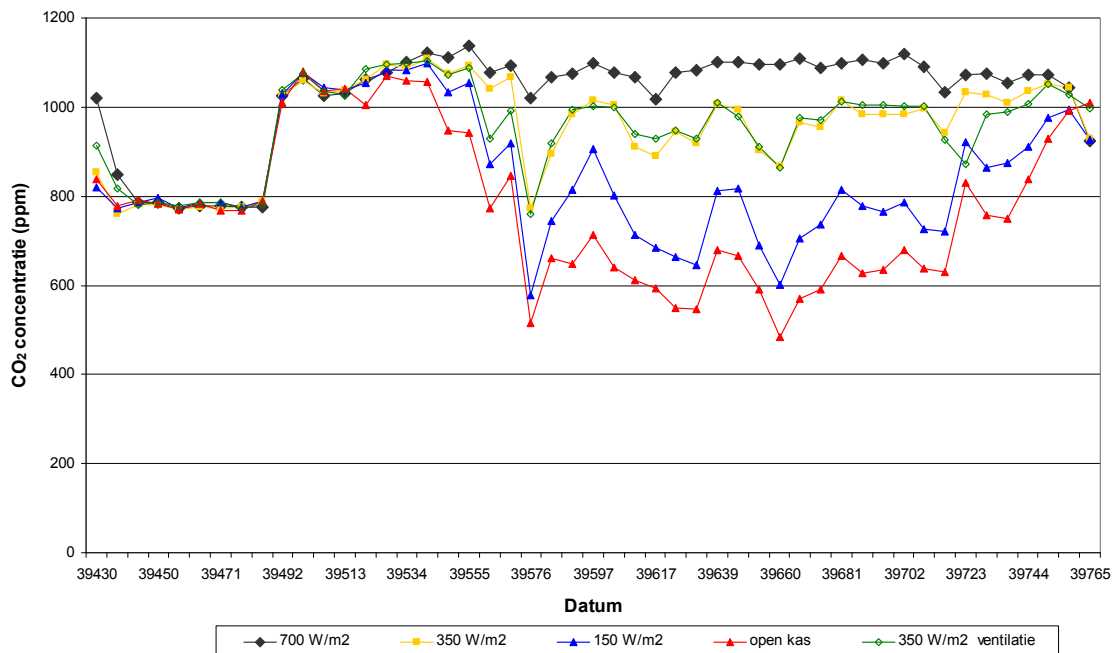


Figuur 3.3. Relatie tussen stralingsom per uur en de temperatuur per uur in de volledig gesloten afdeling en de open afdeling. (Uren met een stralingsom van minder dan 25 J/cm<sup>2</sup>. uur zijn buiten beschouwing gelaten, omdat anders de nacht uren zwaar zouden mee tellen in de regressielijnen.)

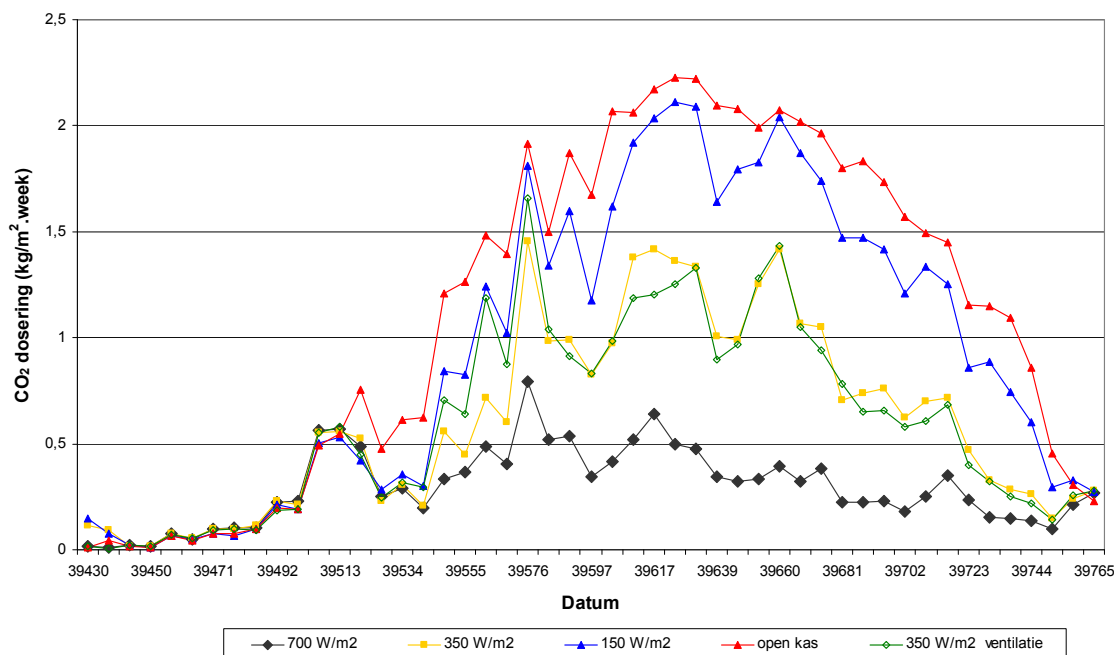
### 3.2 CO<sub>2</sub> concentratie en dosering

Bij geconditioneerd telen is het streven om de CO<sub>2</sub> concentratie in de dagperiode te verhogen. De verhoging van de CO<sub>2</sub> concentratie moet de fotosynthese verbeteren en zo tot meer productie leiden. In de afdelingen werd zuiver CO<sub>2</sub> gedoseerd afkomstig van een OCAP aansluiting. De doseersnelheid is ingesteld op 230 kg/ha/uur. De regeling stuurt de CO<sub>2</sub> klep open als de CO<sub>2</sub> concentratie onder de gewenste waarde komt. De CO<sub>2</sub> blijft dan zeker 8 minuten aan omdat de cyclus tijd van de CO<sub>2</sub> meter 8 minuten is. Hierdoor kan de CO<sub>2</sub> concentratie tot ongeveer 150 ppm boven de ingestelde waarde uitkomen.

Begin mei is gedurende 11 dagen (van 3 tot 13 mei) de meting van de CO<sub>2</sub> concentratie voor de geconditioneerde afdelingen te laag geweest. De CO<sub>2</sub> meter zoog permanent lucht mee aan uit de open kas. Hierdoor is er in de geconditioneerde afdelingen meer CO<sub>2</sub> gedoseerd in die periode. Vooral in de gesloten kas is de CO<sub>2</sub> concentratie toen hoger geweest dan de gemeten 1000 ppm. Uit gegevens van de naast de tomaten staande paprika proef, die aangesloten was op dezelfde CO<sub>2</sub> meter was de periode van het foutief meten nauwkeurig te achterhalen. In de figuur met dosering is te zien dat in die periode er relatief veel CO<sub>2</sub> is gedoseerd, vooral in de gesloten kas. Het is niet bekend hoe hoog de CO<sub>2</sub> concentratie is opgelopen.



Figuur 3.4. Verloop van de gemiddelde weekwaarde van de CO<sub>2</sub> concentratie tijdens de dagperiode.



Figuur 3.5. Gedoseerde hoeveelheid  $CO_2$  per week.

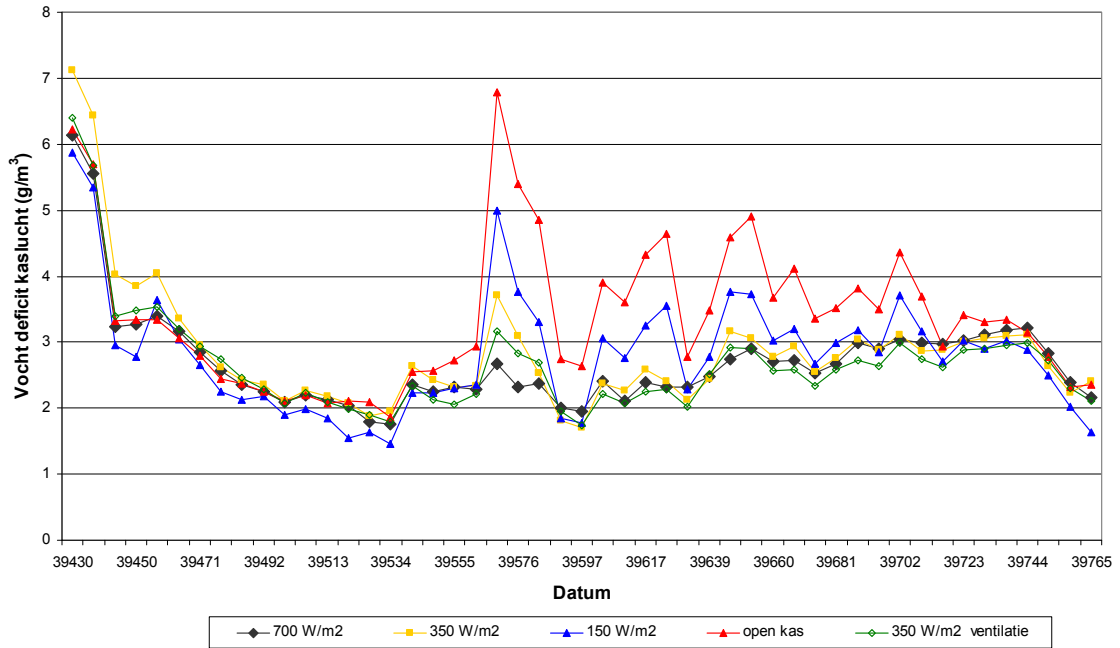
Tabel 3.1. De totale hoeveelheid gedoseerd  $CO_2$  per behandeling

Behandeling	700 W/m <sup>2</sup>	350 W/m <sup>2</sup>	150 W/m <sup>2</sup>	Open kas	350 W/m <sup>2</sup> ventilatie
Kg/m <sup>2</sup>	14.4	29.6	46.1	54.7	29.5

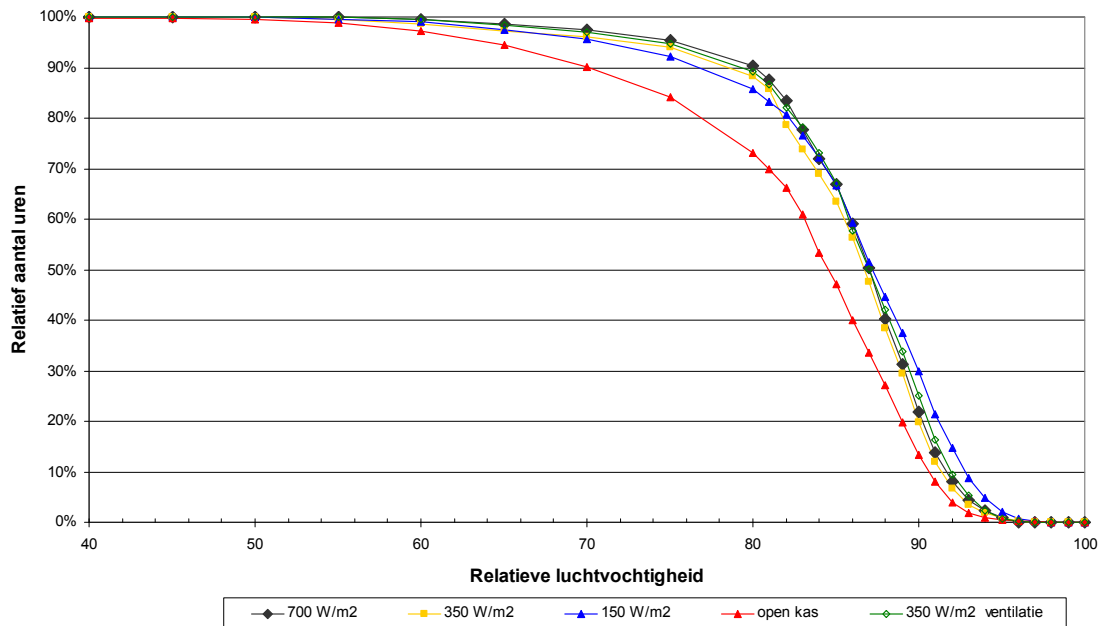
In de open kas is dus bijna 4 keer zo veel  $CO_2$  gebruikt, om een concentratie van rond de 600 ppm te halen terwijl in de gesloten kas de 1000 ppm werd gehandhaafd. In de afdelingen met koeling werd een hogere concentratie dan in de open kas gerealiseerd met een kleinere hoeveelheid gedoseerd  $CO_2$ . In de praktijk zal de gedoseerde hoeveelheid in een open afdeling en in semi-gesloten kassen afhankelijk zijn van de doseercapaciteit, met een daarbij horende gerealiseerde concentratie. Voor een gesloten kas zal de hoeveelheid vergelijkbaar zijn, omdat deze wordt bepaald door de lek van de kas en opname door het gewas.

### 3.3 Luchtvochtigheid

De relatieve luchtvochtigheid is in de open kas in de zomer duidelijk lager dan in de geconditioneerde afdelingen. Voor het vochtdeficit van de kaslucht gelden vergelijkbare verschillen, waarbij in de open kas een groter vochtdeficit heerst. Vooral begin mei met zijn vele instraling, zijn deze verschillen groot.



Figuur 3.6. Verloop van de weekgemiddelden van het vochtdeficit van de kaslucht.

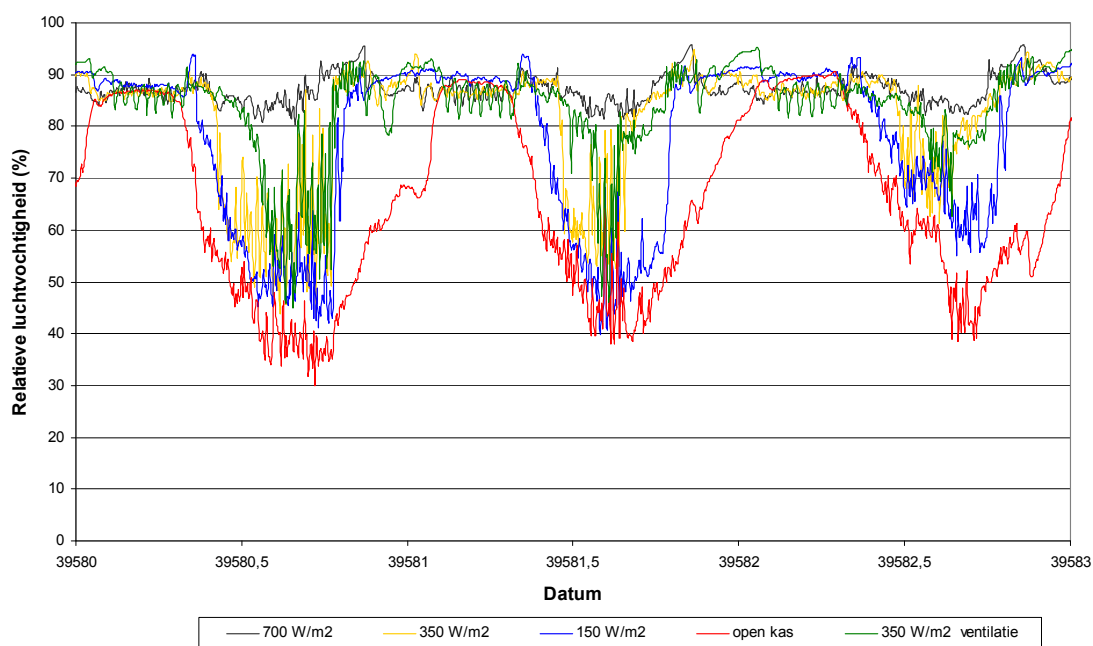


Figuur 3.7. Belastingduurcurve voor het aantal uren dat de maximale relatieve luchtvochtigheid in het uur boven de gegeven waarde komt.

Omdat in de teelt in 700 W/m<sup>2</sup> koeling veel Botrytis voorkwam is gekeken of in deze afdeling de maximale RV in een uur vaker boven een waarde van 90% is uitgekomen dan in de andere afdelingen. Dit blijkt niet het geval te zijn (Figuur 3.7). Op grond van die gegevens zou eerder in de 150 W/m<sup>2</sup> koeling een sterkere aantasting zijn te verwachten. Als gekeken wordt naar de uurgemiddelden voor de periode 15 mei - 31 mei blijkt daarin ook geen gemiddeld afwijkende RV. Verder inzoomen op de 5 minuten gegevens van bijvoorbeeld 12 tot 15 mei laat zien dat er aan het eind van de dag in de 700 W/m<sup>2</sup> koeling momenten waren dat de RV boven de 95 % kwam. De luchtvoch-

tigheid in de 700 W/m<sup>2</sup> koeling was in die periode stabielier dan in de afdelingen met een beperkt koelvermogen. Zoals in 3.2 aangegeven is de oorzaak van de Botrytis aantasting eerder gelegen in de storing in de CO<sub>2</sub> dosering.

In die periode was ook te zien dat de regeling van de luchtvochtigheid met de installatie en de daarbij horende regeling niet soepel verliep. De relatieve luchtvochtigheid in de geconditioneerde afdelingen vertoonde meer variatie binnen korte periodes. Om de luchtvochtigheid te beheersen moest er bewust zeer koude lucht die tot onder het dauwpunt van de kaslucht was afgekoeld de kas in worden geblazen. Deze lucht werd niet weer opgewarmd, maar zo nodig moest de buisrail bijkomen om de kastemperatuur op peil te houden. De combinatie van installatie en regeling hebben duidelijk beperkingen op het vlak van luchtvochtigheid beheersing. Een installatie waarin de ontvochtiging van de lucht kan worden geregeld door de lucht af te koelen tot ver onder het dauwpunt en vervolgens binnen de luchtbehandelingsunit weer opwarmen tot gewenste temperatuur heeft in dat opzicht een voordeel. In dat geval wordt droge en op temperatuur gebrachte lucht de kas in geblazen.

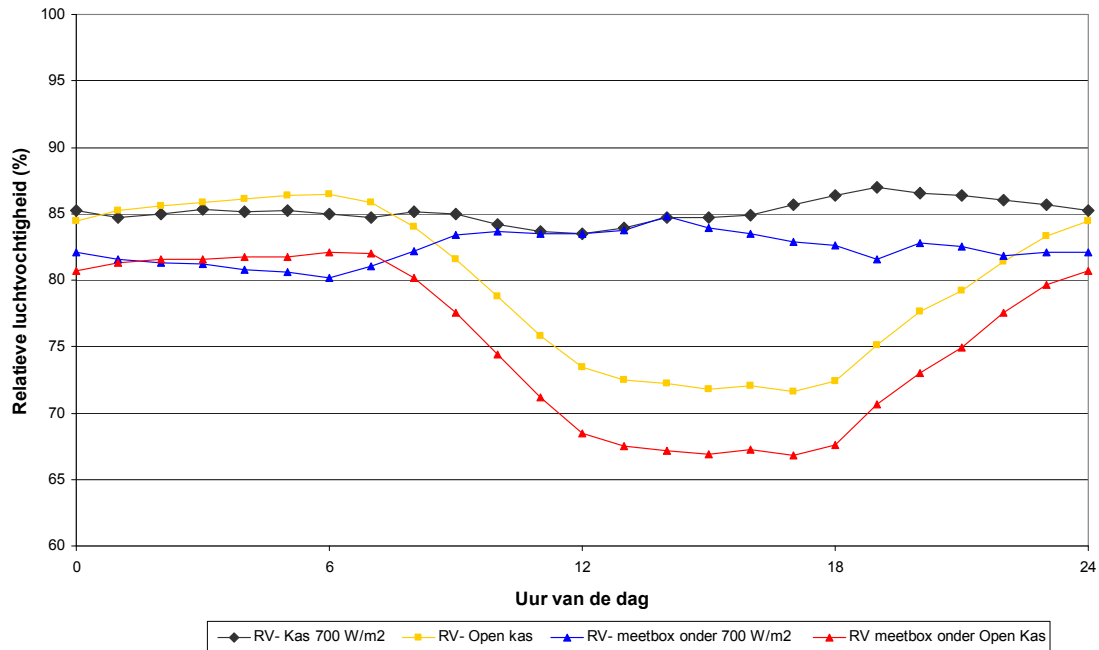


Figuur 3.8. Verloop van de relatieve luchtvochtigheid per 5 minuten in de periode 12-15 mei.

Uit de luchtvochtigheid gemeten rond de mat komt niet naar voren dat rond het onderste deel van de planten een hogere luchtvochtigheid voorkwam dan boven in de kas. In de open kas is onderin de relatieve luchtvochtigheid altijd lager dan boven in de kas. In de geconditioneerde afdelingen is 's nachts de RV beneden lager dan bij de meetbox (Figuur 3.9).

Overdag is de RV gelijk, maar is er een groot temperatuurverschil, dus is de lucht onderin droger dan bovenin. Dit is het gevolg van de droge lucht die wordt ingeblazen en de verdamping die vooral boven in het gewas plaatsvindt. De droge lucht kan wel een stimulerend effect op de verdamping van de onderste bladeren hebben, zodat de bovenste bladeren minder verdampen en makkelijker gebrek aan nutriënten krijgen.



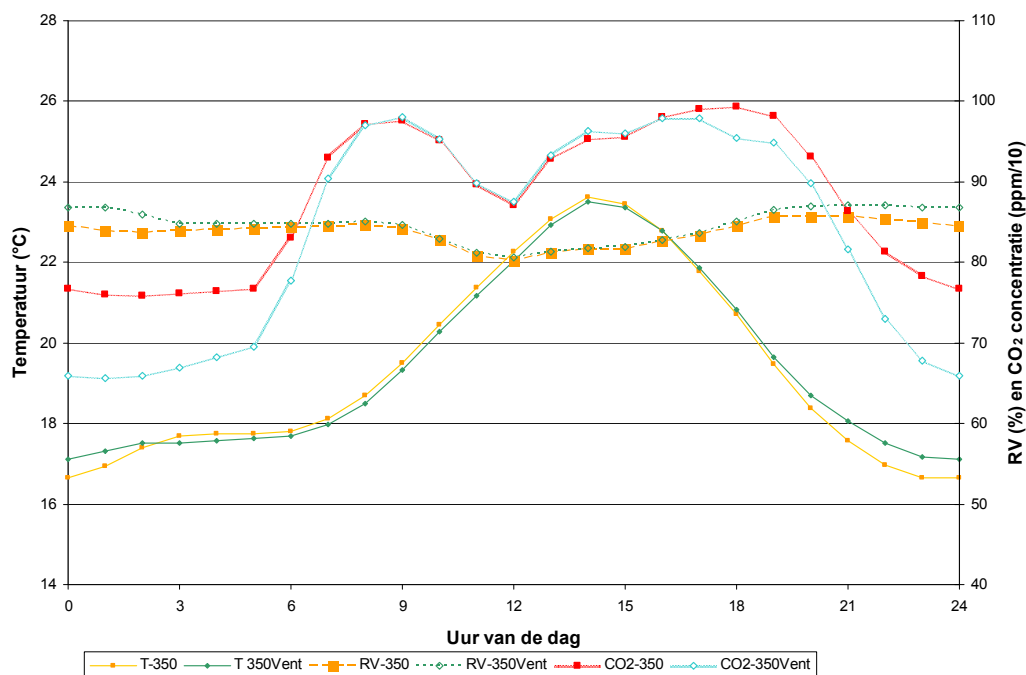


Figuur 3.9. Gemiddeld cyclisch verloop van de relatieve luchtvochtigheid boven in de kas en bij de onderste meetbox in de periode 18 april - 13 november 2008.

Op basis van de geregistreerde luchtvochtigheid en de beperkingen in de installatie en regeling is tijdens de teelt gedacht dat de waargenomen Botrytis in de geconditioneerde afdeling gerelateerd is aan het klimaat. Toch is het bewijs daarvoor niet duidelijk. Omdat in deze zelfde periode er een afwijking is geweest in de CO<sub>2</sub> concentratie zou ook een verzwakking van de cellen die in de kop van de plant zijn aangelegd in de periode van afwijkende CO<sub>2</sub> een oorzaak kunnen zijn.

### 3.4 Vergelijking temperatuur verloop 350 W/m<sup>2</sup> en 350 W/m<sup>2</sup> met ventilatie

Een van de aandachtspunten in het kasklimaat was het verschil in gerealiseerd klimaat bij 350 W/m<sup>2</sup> koeling en 350 W/m<sup>2</sup> koeling met ventilatie aan het einde van de dag. De gevolgen voor het energie gebruik komen later aan de orde. In deze paragraaf wordt het verschil in gerealiseerd klimaat weergegeven voor kastemperatuur, CO<sub>2</sub> en RV. Het verschil in temperatuur is klein. De afdeling met koeling zakt gemiddeld iets sneller in temperatuur, maar niet veel sneller. Voor luchtvochtigheid wordt geen verschil in verloop gemeten, alleen een klein verschil in niveau in de nacht dat samenhangt met een verschil in temperatuur. Voor de CO<sub>2</sub> geldt dat in de geventileerde afdeling aan het eind van de dag het CO<sub>2</sub> niveau sneller daalt en ook lager komt in de nacht. Dit is allemaal conform de verwachting en laat zien dat de verschillen tussen geforceerd met koeling de temperatuur verlagen of door ventilatie geen groot verschil geeft. Voorwaarde is natuurlijk wel dat het buiten niet warm is.



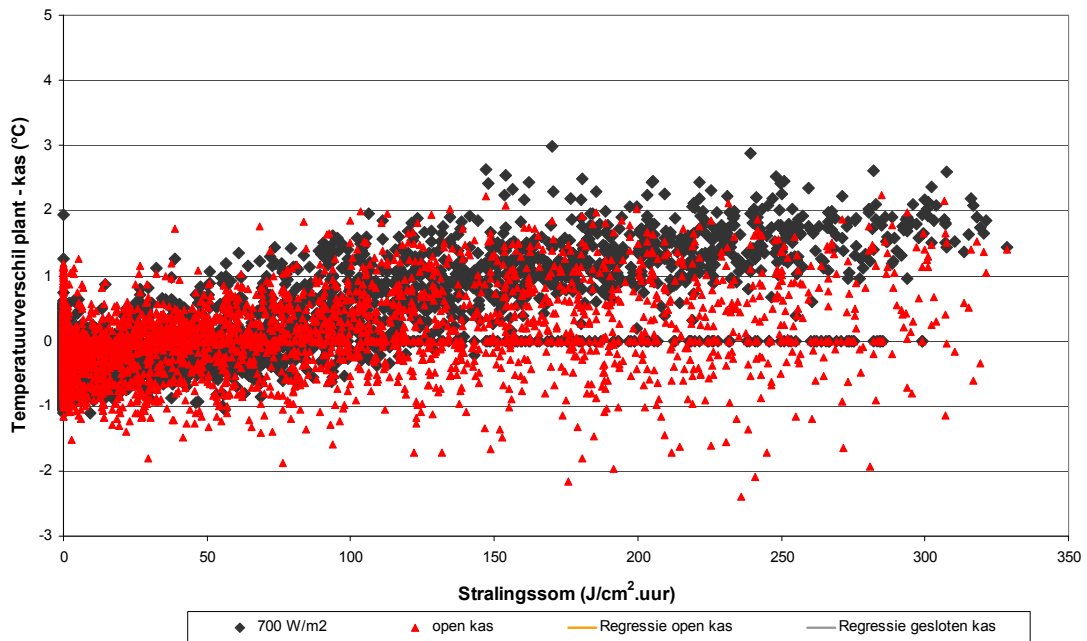
Figuur 3.10. Cyclisch verloop van temperatuur, RV en CO<sub>2</sub> gedurende 24 uur gemiddeld over de hele teeltperiode.

### 3.5 Verschil plant - mat - kasttemperatuur

Een verwacht effect van de koeling is een invloed op de temperatuurgradiënt in de kas. Dit kan in een aantal parameters tot uiting komen.

Een belangrijke parameter is de planttemperatuur. De planttemperatuur is geregistreerd met een Infra-Rood camera in de periode van eind mei tot einde van de teelt. In Figuur 3.11 is te zien dat in de gesloten kas het temperatuurverschil tussen plant en kas bij hoge instraling groter is dan in de open kas. Bovendien is er een sterkere relatie tussen het verschil in plant en kas temperatuur dan in de open kas (een duidelijk hogere  $R^2$  0.7 voor de 700 W/m<sup>2</sup> en 0.14 voor de open kas). Gecombineerd met een gemiddeld hogere kasttemperatuur in de gesloten kas (Figuur 3.3.) geeft aan dat de planttemperatuur in de gesloten kas bij hoge instraling hoger is dan in de open kas. (zie ook Bijlage I). De sterkere correlatie tussen plant en kasttemperatuur bij de 700 W/m<sup>2</sup> heeft te maken met de stabiele en hoge luchtvochtigheid in de gesloten kas. In de open kas zal bij een groot vochtdeficit de verdamping sterk zijn en het gewas relatief koeler (Bijlage II).

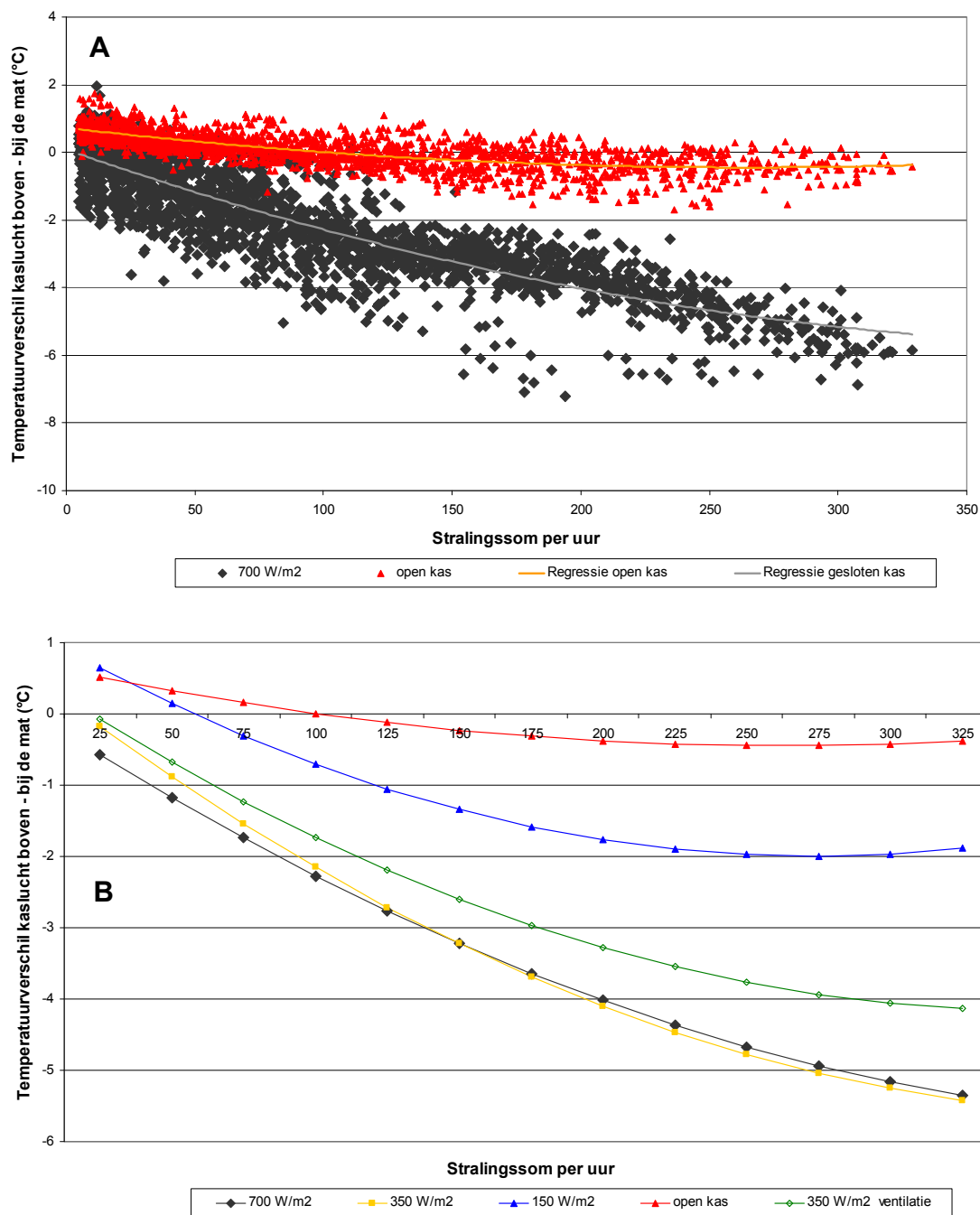
Opmerkelijk is er verschil is in plant temperatuur in de afdeling met 350 W/m<sup>2</sup> koeling en ventilatie vergeleken met de 350 W/m<sup>2</sup> koeling waar niet extra aan het eind van de dag is geventileerd. Mogelijk heeft dit te maken met de planttemperatuur meting bij de 350 W/m<sup>2</sup> die gemiddeld hoger is en een afwijkende lijn toont dan de overige afdelingen (zie Bijlage I).



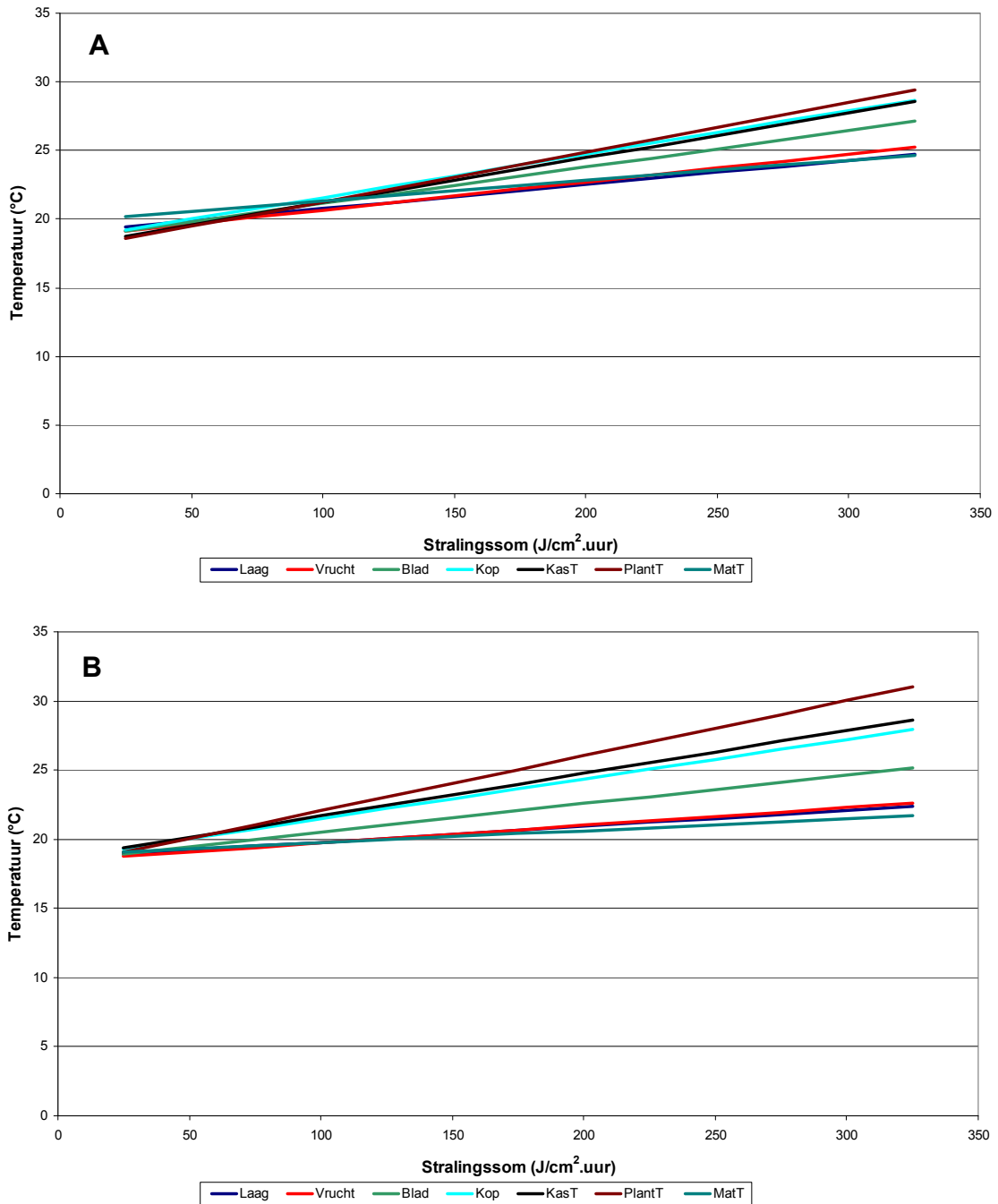
Figuur 3.11. Verschil tussen plant en kastemperatuur afhankelijk van de stralingsom per uur voor twee van de vijf behandelingen.

Een temperatuurgradiënt komt uiteraard ook tot uiting in het verschil in kastemperatuur op verschillende hoogtes. Het grootste verschil mag verwacht worden tussen de temperatuur ter hoogte van de mat - waar in de gekoelde afdelingen de koele lucht wordt ingeblazen- en de temperatuur boven in de kas. Een verschil mag ook verwacht worden tussen de laag geplaatste meetbox en de meetbox van de kasregeling. Met vier meetboxen per afdeling is vanaf eind mei de temperatuurgradiënt gemeten.

In Figuur 3.12 is de temperatuurgradiënt geïllustreerd voor de 700 W/m<sup>2</sup> en de open kas en 150 W/m<sup>2</sup> en 350 W/m<sup>2</sup> ventilatie. De temperatuur onder in de kas is bij de 700 W/m<sup>2</sup> bij veel instraling 6 °C onder de kastemperatuur en bij de open kas is dit verschil maar 0 °C. Voor de ontwikkeling van de vruchten en de activiteit van de wortels heeft dit verschil in temperatuurgradiënt gevolgen. Een koelere vrucht zal langzamer rijpen en dus langer aan de plant blijven. Een koelere wortel zal mogelijk resulteren in minder zogenaamde worteldruk en daardoor een minder sterke zwelling van de vruchten en dus leiden tot kleinere vruchten.



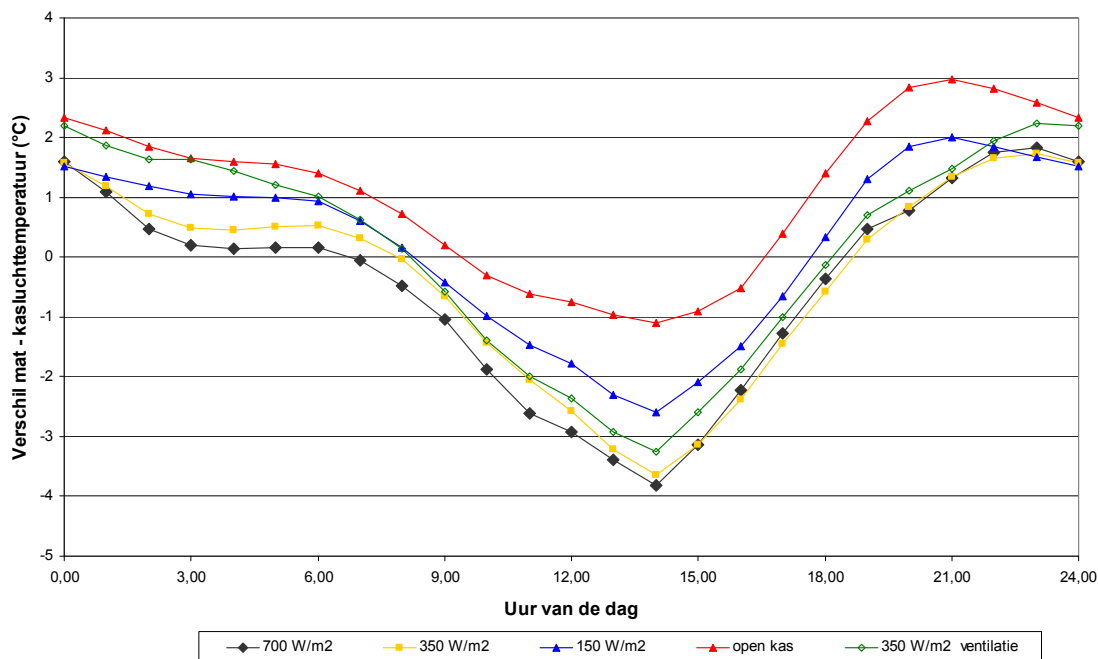
Figuur 3.12. *Temperatuur verschil tussen kas meetbox en temperatuur van de meetbox ter hoogte van de teeltgoot in relatie tot de stralingsom per uur. Figuur A voor twee afdelingen en regressie lijn. Figuur B regressie lijnen voor de vijf behandelingen.*



Figuur 3.13. Lineaire regressie lijnen voor de kasttemperatuur op verschillende hoogtes, de mat en planttemperatuur in open kas (A) en de kas met 700 W/m<sup>2</sup> koeling (B).

Duidelijk is dat de mattemperatuur in de geconditioneerde afdelingen bij veel instraling lager is dan de kasttemperatuur. Het verschil tussen kas en mat temperatuur in de open afdeling is gemiddeld duidelijk kleiner. Een lagere mattemperatuur heeft een effect op de fysiologie van de wortel.

Het verloop van het verschil mat-kasttemperatuur kan ook worden bekeken over een dag. In Figuur 3.14 is dit weergegeven gemiddeld over de periode juni-november. Duidelijk is dat de mattemperaturen in de geconditioneerde afdelingen lager zijn dan de kasttemperaturen in gedurende vrijwel de gehele periode. Bij de openkas komt aan het eind van de dag de mattemperatuur gemiddeld bijna 3 °C boven de kasttemperatuur terwijl in de kassen met koeling de mattemperatuur dan nog maar net boven de ruimtetemperatuur komt.



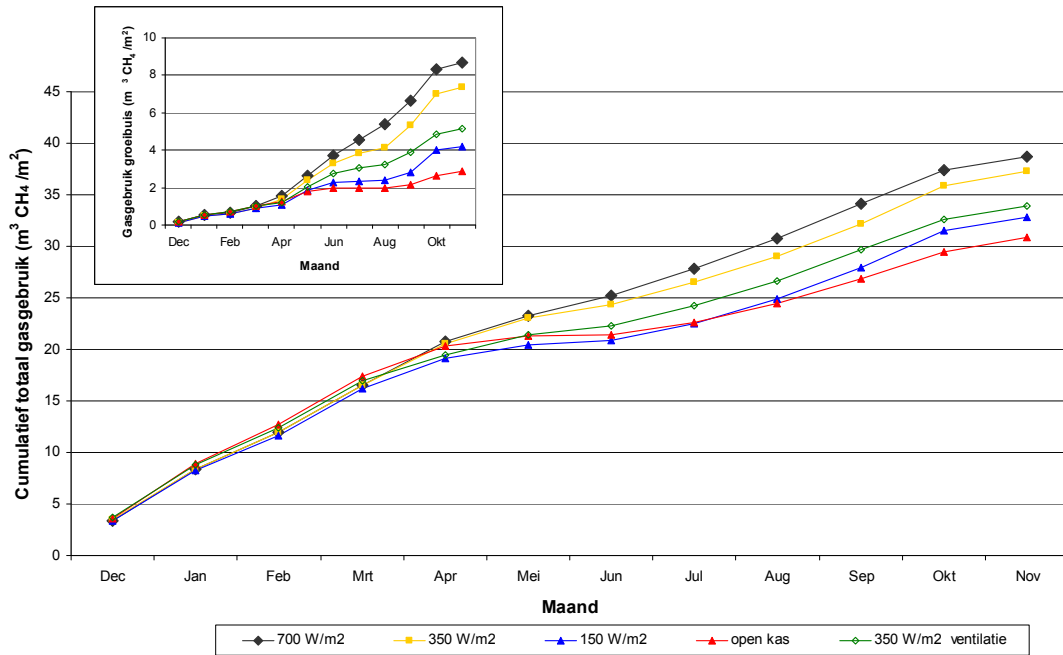
Figuur 3.14. Cyclisch verloop van het verschil mat- kasttemperatuur in de periode juni- november voor de 5 behandelingen.

### 3.6 Energie voor verwarmen en koelen

Om de kas op temperatuur te houden is uiteraard gas gebruikt. De hoeveelheid warmte die in de kas is gebracht is berekend met de methode van Nawrocki (1985) op basis van de gemeten buistemperatuur per 5 minuten. Naast verwarmen vanwege warmtevraag is er energie gebruikt om de lucht bij ontvochtigen, als er koude lucht wordt ingeblazen, zonodig weer op te warmen. Een derde reden voor inzet van warmte is dat de groeibuis in de geconditioneerde afdelingen bewust is gebruikt om rond de vruchten extra warmte in de kas te brengen. Dit blijkt vooral uit de relatieve hoeveelheid energie die via de groeibuis in de afdeling met 700 W/m<sup>2</sup> koeling is ingebracht. Opmerkelijk is het relatieve verschil in energie gebruik tussen de twee afdelingen met 350 W/m<sup>2</sup> koeling. Uit de inzet van energie per maand lijkt dit te maken te hebben met de warmte die voor het ontvochtigen is gebruikt, want de verschillen ontstaan niet in de winter maar in de zomer. Dit verschil moet zijn ontstaan door het ontvochtigen aan het einde van de dag.

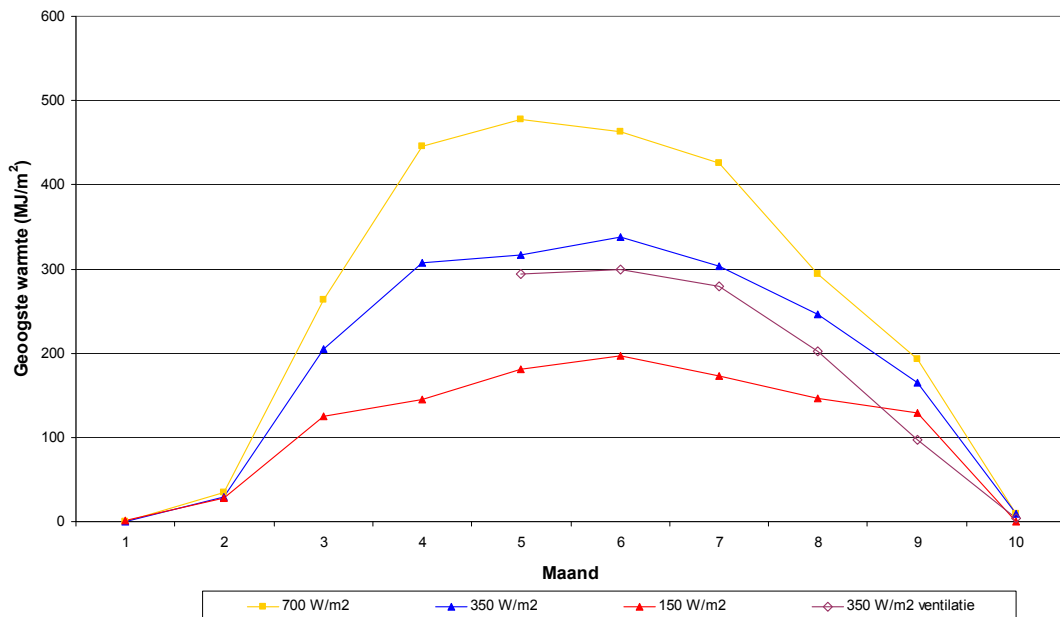
Tabel 3.2. Relatieve inzet van warmte in de vijf afdelingen. De input van energie in de openkas is op 100% gesteld.

	700 W/m <sup>2</sup>	350 W/m <sup>2</sup>	150 W/m <sup>2</sup>	Open kas	350 W/m <sup>2</sup> ventilatie
Groeibuis	303%	256%	146%	100%	179%
Buisrail	107%	107%	102%	100%	103%
Totaal	125%	121%	106%	100%	110%



Figuur 3.15. Cumulatief totaal gasgebruik en cumulatief gasgebruik van de groeibuis (inzet) in de 5 behandelingen.

Bij koelen van de kas wordt warmte geogst. Uit het verschil tussen aanvoer en retourtemperatuur in combinatie met de stroomsnelheid van het water door de warmtewisselaar kan berekend worden hoeveel energie er is geogst. Dit is gedaan voor de afdelingen met 700 W/m<sup>2</sup> koeling, 350 W/m<sup>2</sup> koeling en 150 W/m<sup>2</sup> koeling. Voor de afdeling 350 W/m<sup>2</sup> koeling met ventilatie is tot april geen goede waarneming gedaan. De hoeveelheid geogste warmte is omgerekend naar aardgas equivalenten. In de afdelingen met 700, 350 en 150 W/m<sup>2</sup> koeling is respectievelijk 2605, 1920 en 1125 MJ warmte geogst die overeenkomt met 84, 62 en 36 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> per m<sup>2</sup>. In de afdeling met 350 W/m<sup>2</sup> koeling en ventilatie werd in de periode mei tot november systematisch iets minder warmte geogst dan in de 350 W/m<sup>2</sup> koeling. Dit is overeenkomstig de verwachting.



Figuur 3.16. Geogste warmte in MJ per m<sup>2</sup> in de vier geconditioneerde afdelingen.

Om de warmte te oogsten moesten de ventilatoren draaien. Uit de draaitijd en het vermogen van de ventilatoren is berekend dat voor de ventilatoren in de 700 W/m<sup>2</sup>, 350 W/m<sup>2</sup> en 150 W/m<sup>2</sup> gekoelde afdelingen er 38, 32 en 33 kWh of wel 139, 115 en 119 MJ elektra is gebruikt. Dit is tussen de 5 en 10 % van de geoogste warmte. De ventilatoren in de 150 W/m<sup>2</sup> hebben in verhouding tot de geoogste warmte meer gedraaid. Er is meer lucht verplaatst dan voor de warmte oogst noodzakelijk zou zijn. De temperatuur gradiënt in de kas is minder sterk, omdat de lucht in de warmte wisselaar niet sterk wordt afgekoeld.

In de open kas is netto 31 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> gebruikt. In de 150 W/m<sup>2</sup> is 3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> overgehouden, in de 350 W/m<sup>2</sup> is 26 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> overgehouden en in de 700 W/m<sup>2</sup> is er 45 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> overgehouden. Hierbij is niet gerekend met elektra en gas dat nodig is voor opwekking van koude of de werking van de ventilatoren.

### 3.7 Conclusies klimaat

De dagtemperatuur bij conditionering wordt sterk bepaald door de instraling. In een open kas reageert de dagtemperatuur meer op de buitentemperatuur. De nachttemperatuur kan bij conditionering op het gewenste niveau worden gebracht. In een open kas is de buitentemperatuur bepalend of de kastemperatuur voldoende laag kan komen.

Bij conditionering van een kas kan met minder CO<sub>2</sub> dosering een gemiddeld hoger CO<sub>2</sub> niveau worden gerealiseerd. In dit experiment was de dosering in de volledig gesloten kas 14 kg/m<sup>2</sup> en in de open kas 52 kg/m<sup>2</sup>. In de praktijk zal de gedoseerde hoeveelheid in een open afdeling en in semi-gesloten kassen afhankelijk zijn van de doseercapaciteit, met een daarbij horende gerealiseerde concentratie. Voor een gesloten kas zal de hoeveelheid vergelijkbaar zijn, omdat deze wordt bepaald door de lek van de kas en opname door het gewas.

Beheersing van de luchtvochtigheid was met de installatie en de daarbij gebruikte regeling niet optimaal.

De aantasting met Botrytis in de gesloten afdeling was niet goed onder controle te krijgen. Achteraf wordt de oorzaak hiervan eerder gezien in een periode van te hoge concentratie CO<sub>2</sub> dan in te hoge luchtvochtigheid.

In de gesloten afdeling ontstond een te grote verticale temperatuurgadiënt van 6 °C warmer bij de kop dan bij de mat en rijpende vruchten. Dit geeft een onevenwichtige ontwikkeling van het gewas en een te zware plantbelasting.

In de geconditioneerde afdelingen was de relatieve luchtvochtigheid onder in de kas gemiddeld lager dan boven in de kas, ondanks de temperatuurgadiënt die juist van koud naar warm loopt. Dit heeft een stimulerend effect op de verdamping van de onderste bladeren. Hierdoor kunnen de bovenste bladeren te kort aan nutriënten krijgen. In een open kas is deze gradiënt juist andersom. Daarbij heeft de luchtbeweging in een gekoelde kas ook effect op de verdamping. In dit experiment is het effect niet geanalyseerd. Dit moet in het vervolg onderzoek in 2009 volle aandacht krijgen.

Vergelijking van 350 W/m<sup>2</sup> koelen met 350 W/m<sup>2</sup> koelen met aan het eind van de dag via ventilatie de temperatuur verlagen geeft aan dat koelen met ventileren aan het eind van de dag minder koude nodig is en minder warmte voor vochtbeheersing hoeft te worden ingezet. Koelen met aan het eind van de dag ventileren is uit energieoogpunt een betere strategie dan alles via koeling doen. Uiteraard is deze strategie meer afhankelijk van de buitenomstandigheden, die regionaal kunnen verschillen.

De mattemperatuur wordt met koeling van onder de teeltgoot sterk door de koelinstallatie beïnvloed.



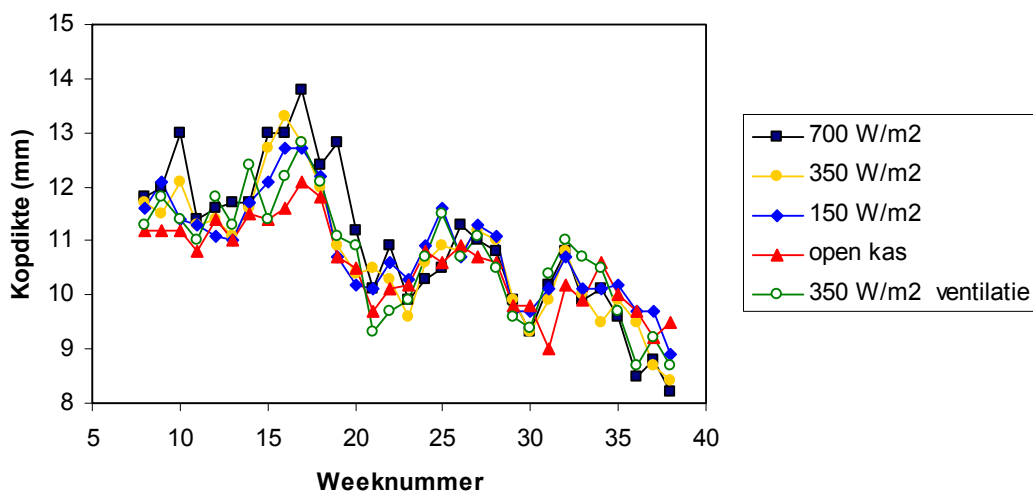
## 4 Resultaten - gewas

### 4.1 Vegetatieve groei

Gedurende het experiment zijn de kenmerken kopdikte, bladlengte en lengtegroei gevolgd. Deze zijn gebruikt om na te gaan of het voor het gewas nodig is het kasklimaat bij te sturen.

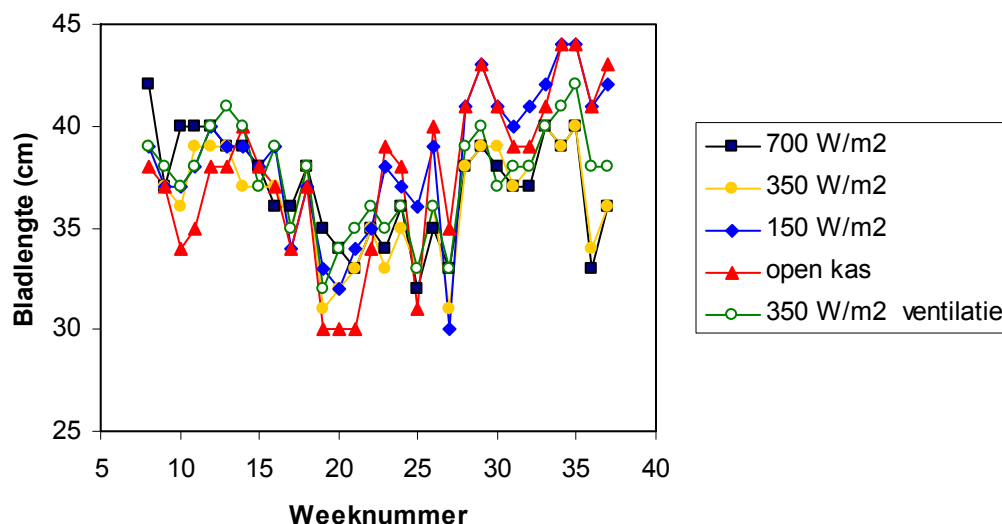
De kopdikte wordt gemeten door de stengeldiameter te meten ter hoogte van de lengte van de plant in de voorgaande week. Dit is ca. 25 cm onder de top van de plant (zie Figuur 4.3). Er wordt in de teelt gestreefd naar een min of meer constante kopdikte. Als de kopdikte groter wordt, is de verhouding assimilatieaanbod/assimilatievraag gunstiger geweest. Dat betekent dat de temperatuur in verhouding tot de hoeveelheid licht laag was, waardoor de stengel dikker wordt. Als de kopdikte kleiner wordt is de temperatuur in verhouding tot de hoeveelheid licht hoog geweest. Op deze wijze wordt de kopdikte gebruikt als indicatie voor de klimaatregeling, met name de regeling van de temperatuur.

In de weken 15-18 was er een gradiënt in kopdikte met de koelcapaciteit van de kassen (Figuur 4.1). Dit had te maken met de verschillen in CO<sub>2</sub> concentraties in de kassen die vanaf dat moment begonnen op te treden en het feit dat de kasluchttemperaturen in die weken nog niet veel verschillen vertoonden. In de periode die daarop volgde vertoonden de kopdikte fluctuaties die te maken hadden met de hoeveelheid instraling, maar waren er weinig verschillen meer tussen de verschillende behandelingen.



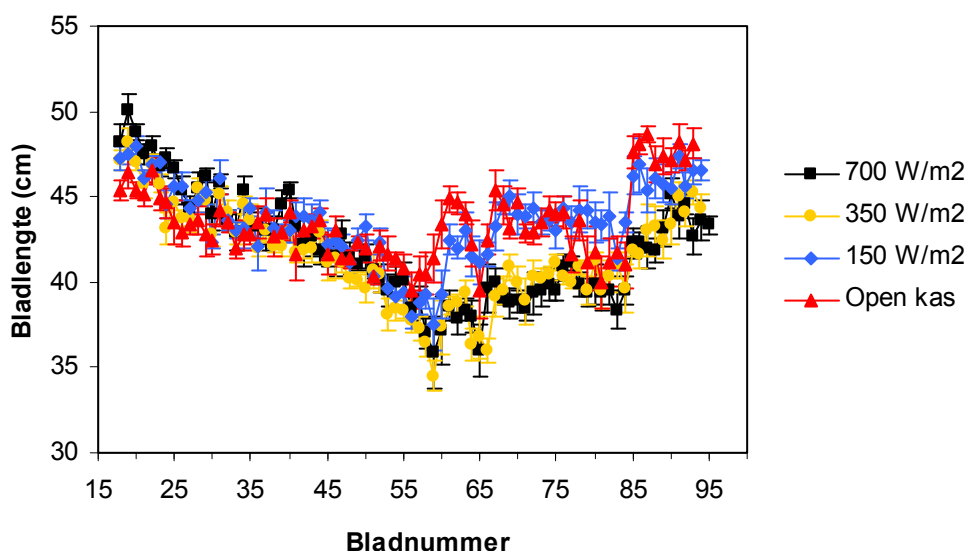
Figuur 4.1. Verloop van de diameter van de stengel (kopdikte) bij de verschillende behandelingen (zie legenda) in de tijd. In week 50 (2007) zijn de tomaten geplant, in week 11 zijn de behandelingen begonnen.

Gedurende de teelt werd wekelijks van 8 meetplanten de lengte van het blad onder de bovenste bloeiende tros gemeten. Aan het begin van de teelt fluctueerde de bladlengte nogal, maar was er niet een duidelijke relatie tussen koelcapaciteit en bladlengte. Naar het einde van de teelt echter, bleek dat de bladlengte in de afdelingen met een hogere koelcapaciteit lager was dan in de open kas en de kas met 150 W/m<sup>2</sup> koelcapaciteit (Figuur 4.2).



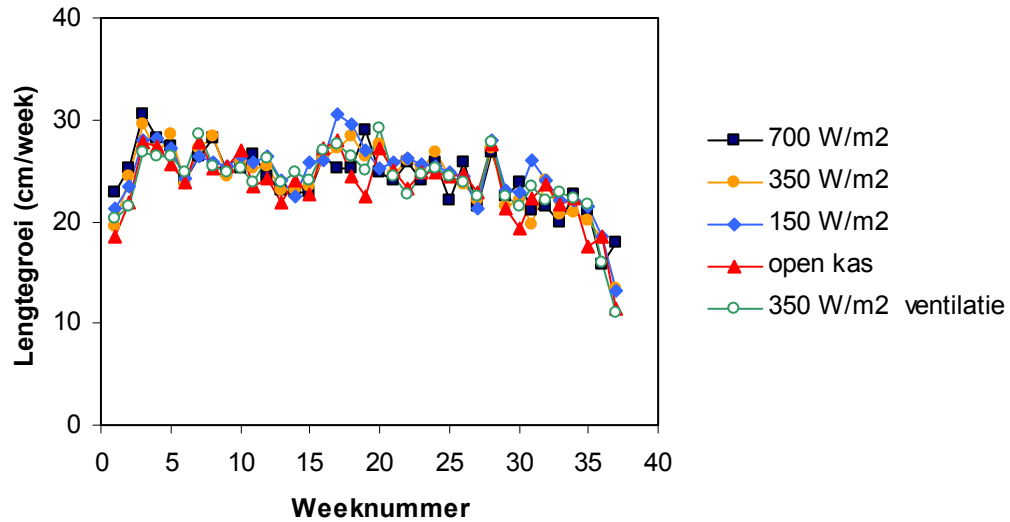
*Figuur 4.2. Verloop van de lengte van het blad onder de bovenste bloeiende tros bij de verschillende behandelingen (zie legenda) in de tijd. In week 50 (2007) zijn de tomaten geplant, in week 11 zijn de behandelingen begonnen.*

Naast de metingen van de lengte van het blad onder de bovenste bloeiende tros, zijn ook de lengtes van de volledig uitgegroeide bladeren van de meetplanten gemeten. Hieruit blijkt ook dat de bladeren in de gesloten kas en de kas met een koelcapaciteit van 350 W/m<sup>2</sup> korter waren dan de bladeren in de open kas of de kas met een koelcapaciteit van 150 W/m<sup>2</sup> (Figuur 4.3). Dit effect op de strekking kan zowel een effect zijn van temperatuur, als van luchtvochtigheid die in de behandelingen verschilde.

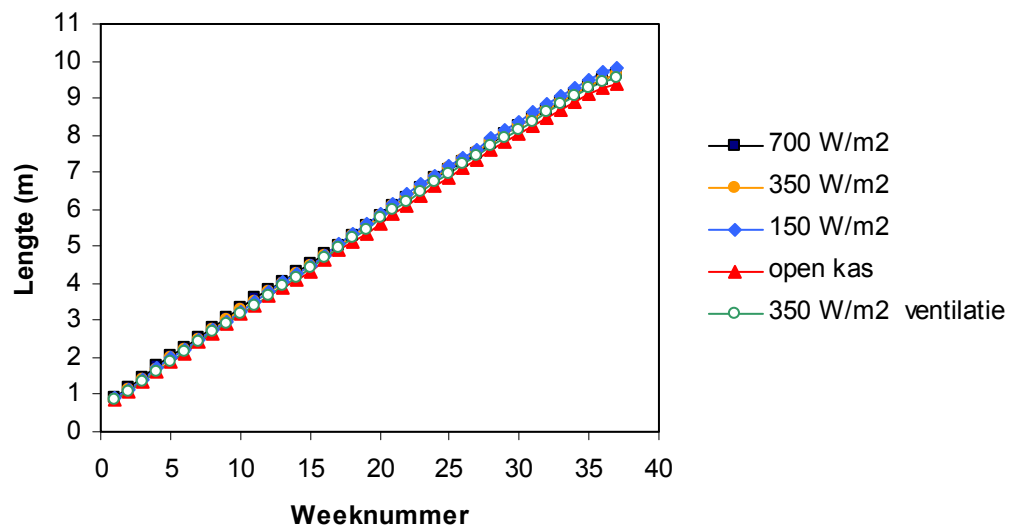


*Figuur 4.3. Verloop van de bladlengte van volgroeide bladeren bij de verschillende behandelingen (zie legenda) in de tijd. In week 50 (2007) zijn de tomaten geplant, in week 11 zijn de behandelingen begonnen.*

De wekelijkse lengtegroei van de plant is tamelijk constant in de tijd (Figuur 4.4). Er zijn nauwelijks verschillen tussen de verschillende behandelingen, hetgeen resulteert in een nagenoeg hetzelfde verloop van plantlengte in de tijd (Figuur 4.5). Hieruit blijkt dat het effect van het gerealiseerde klimaat op strekking van bladeren of de strekking van de stengel verschilt. Wat hiervan de reden is, is niet bekend.



Figuur 4.4. Verloop van de wekelijkse lengtegroei bij de verschillende behandelingen (zie legenda) in de tijd. In week 50 (2007) zijn de tomaten gepland, in week 11 zijn de behandelingen begonnen.



Figuur 4.5. Verloop van de totale plantlengte bij de verschillende behandelingen (zie legenda) in de tijd. In week 50 (2007) zijn de tomaten gepland, in week 11 zijn de behandelingen begonnen.

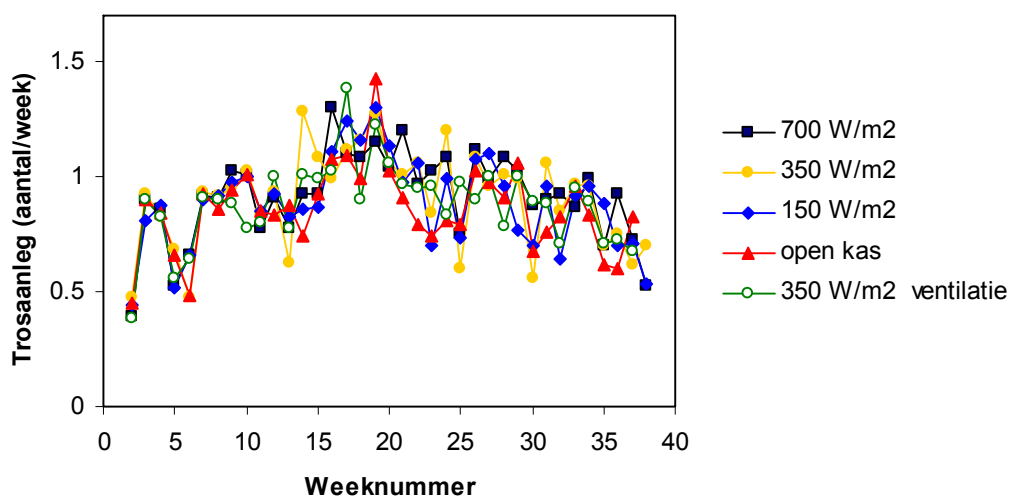
#### 4.1.1 Botrytis

In de gesloten afdeling (koelcapaciteit 700 W/m<sup>2</sup>) werd vanaf eind juni/begin juli Botrytis waargenomen op de bladeren, en vervolgens ook op de stengel en vruchten. In eerste instantie was de veronderstelling dat dit werd veroorzaakt door de hogere luchtvochtigheid in de gesloten afdeling. Echter, het aantal uren dat de luchtvochtigheid in de gesloten afdeling boven de 90% uitkwam is niet groter dan in de andere geconditioneerde afdelingen (zie Figuur 3.7). Dat maakt het niet waarschijnlijk dat de hogere luchtvochtigheid de bepalende factor is geweest. Een andere mogelijke oorzaak zou kunnen zijn dat in de gesloten kas er door de hogere koelcapaciteit (en daarmee capaciteit voor ontvochtiging) meer schommelingen geweest zouden zijn in de luchtvochtigheid. Uit Figuur 3.8 is af te lezen dat de luchtvochtigheid in de gesloten kas juist redelijk stabiel was. In de ochtend is het met name de afdeling met een koelcapaciteit van 350 W/m<sup>2</sup> waar de luchtvochtigheid pendelt, maar daar werd nagenoeg geen Botrytis aangetroffen.

Begin mei is er een storing geweest in de CO<sub>2</sub> metingen van een aantal afdelingen. Hierdoor is met name in de gesloten afdeling de CO<sub>2</sub> concentratie zeer hoog opgelopen. In combinatie met het feit dat dit een zonnige, warme periode was, kan dit tot verzwakking van het gewas geleid hebben, waardoor het gewas gevoeliger werd voor infectie door Botrytis.

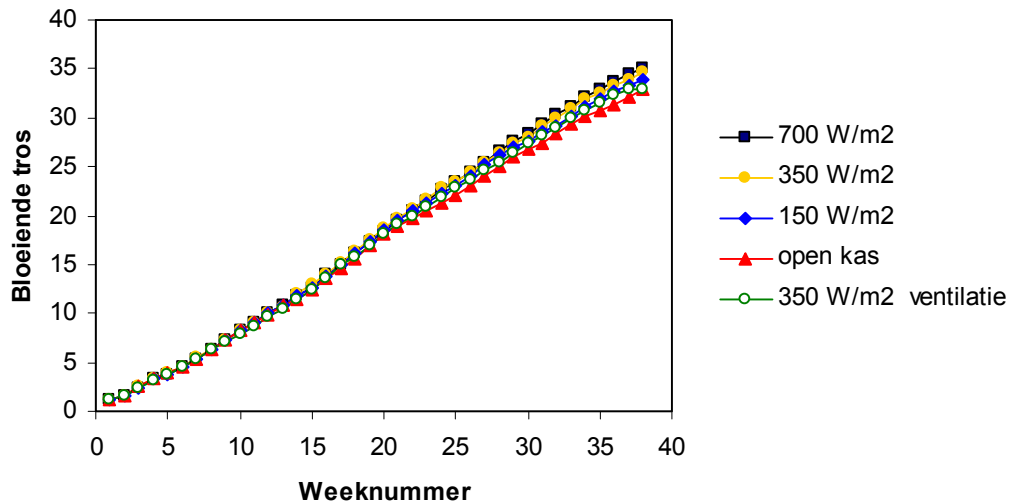
## 4.2 Generatieve groei

Het aantal trossen dat wekelijks aangelegd werd was gemiddeld 0.8 tot 0.9 trossen per week. Eind januari (week 5) was de trosafsplittingsnelheid in alle behandelingen erg laag, door lage instraling en daarmee gepaard gaande lage kasluchttemperaturen.



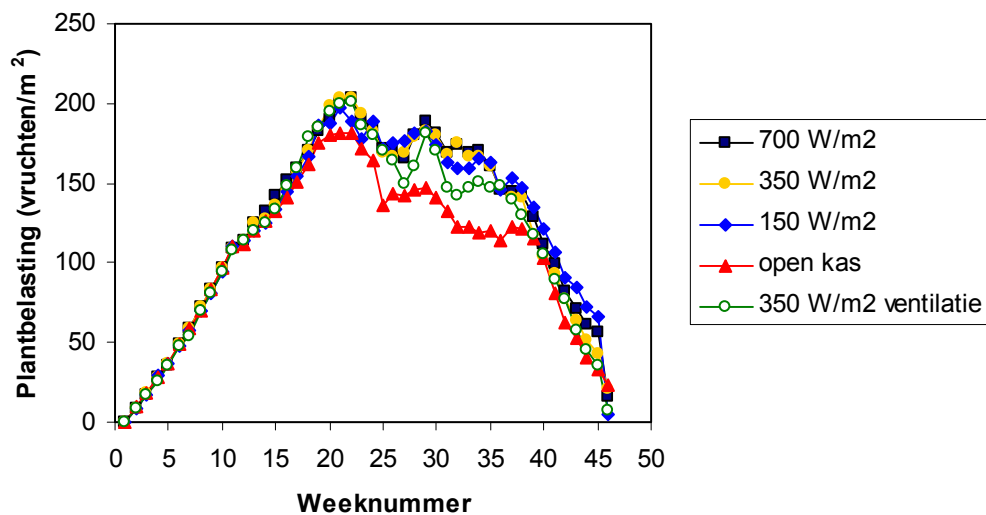
*Figuur 4.6. Verloop van de trosafsplittingsnelheid (aantal trossen per week) bij de verschillende behandelingen (zie legenda) in de tijd. In week 50 (2007) zijn de tomaten geplant, in week 11 zijn de behandelingen begonnen.*

Vanaf week 11 zijn de behandelingen gestart. In de eerste weken werden de temperaturen in de meer gesloten afdelingen hoger aangehouden, hetgeen resulteerde in een iets hogere trosafsplittingsnelheid. Uiteindelijk heeft dit geresulteerd in dat er in de open kas 32 trossen aangelegd zijn en in de gesloten kas 35. De andere behandelingen lagen hier tussenin (Figuur 4.7).



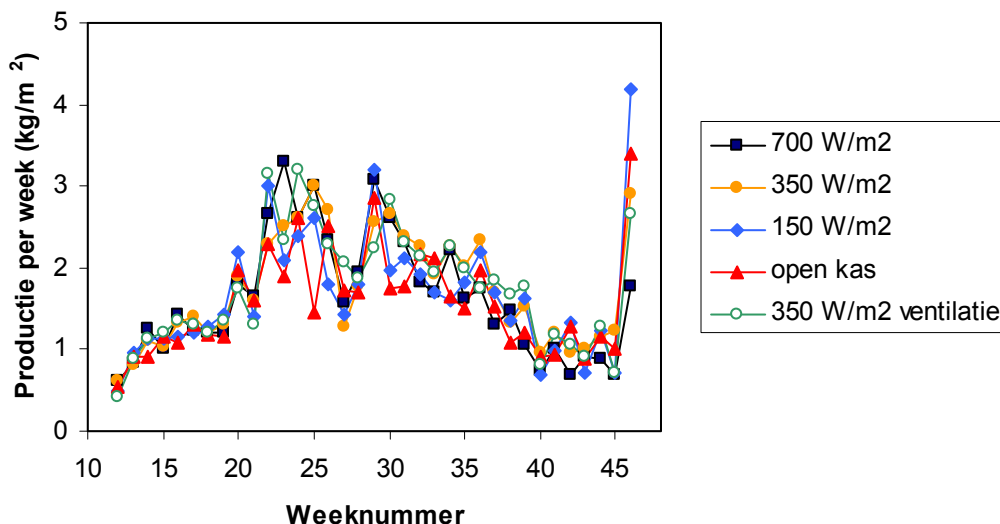
*Figuur 4.7. Verloop van het aantal trossen (geregistreerd op het moment van bloei) bij de verschillende behandelingen (zie legenda) in de tijd. In week 50 (2007) zijn de tomaten gepland, in week 11 zijn de behandelingen begonnen.*

Op moment dat de bloeiende trossen vrucht gaan zetten, neemt de plantbelasting (aantal vruchten per  $m^2$ ) toe (Figuur 4.8). Vanaf week 11 begonnen de vruchtoogsten aan de hoofdstengels en kwamen de zijstengels in productie en begonnen de vruchtoogsten aan de hoofdstengels. De plantbelasting in de geconditioneerde afdelingen liep op tot boven de 200 planten per  $m^2$ , omdat door de lagere temperaturen onder in het gewas de afrijping trager was dan in de open kas. Om de afrijping te versnellen is vanaf week 17 de groeibuis ingezet als primaire verwarming.



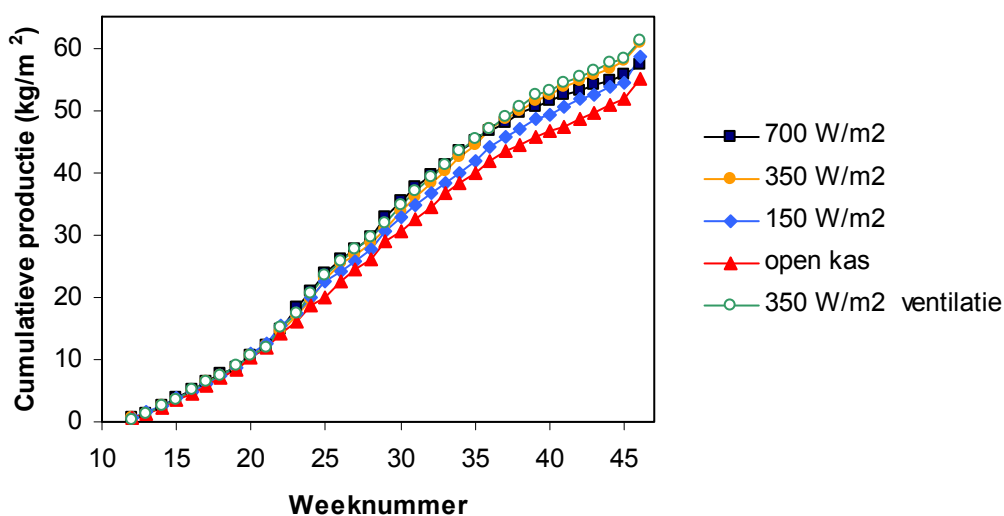
*Figuur 4.8. Verloop van de plantbelasting (aantal vruchten per  $m^2$ ) bij de verschillende behandelingen (zie legenda) in de tijd. In week 50 (2007) zijn de tomaten gepland, in week 11 zijn de behandelingen begonnen.*

De productie per week was tot week 19 ca.  $1 \text{ kg}/m^2$ . In de weken daarop nam de productie tot to maximaal  $3 \text{ kg}/m^2/\text{week}$  (Figuur 4.9), en was de productie hoger naarmate de kas meer gesloten was.



Figuur 4.9. Verloop van de productie per week (kg per m<sup>2</sup>) bij de verschillende behandelingen (zie legenda) in de tijd. In week 50 (2007) zijn de tomaten geplant, in week 11 zijn de behandelingen begonnen.

Vanaf week 20 traden er productiever schillen op tussen de verschillende behandelingen (Figuur 4.10). In week 24 was het productiever schil tussen de open en gesloten kas ongeveer 2 kg/m<sup>2</sup>. In week 31 was dit verschil opgelopen tot 5 kg/m<sup>2</sup>. In de 5 weken daarna is het productiever schil tussen de open en gesloten kas ongeveer die 5 kg/m<sup>2</sup> gebleven. In de weken 23 tot 33 lag de productie in de afdeling met een koelcapaciteit van 350 W/m<sup>2</sup> één tot anderhalve kilo achter op de gesloten kas. Dat verschil verdween in de weken daarna, omdat de productie per week in de gesloten kas achter bleef bij de productie in de kas met 350 W/m<sup>2</sup> koelcapaciteit. Dit had voor een groot deel te maken met een aantasting van Botrytis in deze afdeling, waardoor een deel van de stengels verwijderd moest worden. Verder kan het feit dat in de weken 25-29 in de gesloten kas een hogere temperatuur werd aangehouden er ook mee te maken hebben en het feit dat in deze afdeling een groter temperatuur verschil tussen onder in het gewas en ter hoogte van de kop van het gewas. In de gesloten afdeling zijn ook de meeste bladrandjes met daarop Botrytis ontstaan.



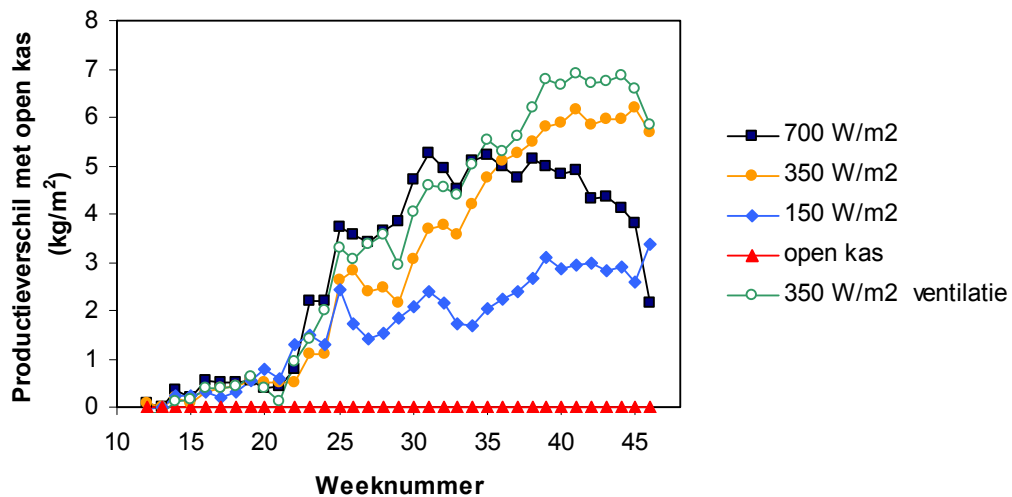
Figuur 4.10. Verloop van de totale productie (kg per m<sup>2</sup>) bij de verschillende behandelingen (zie legenda) in de tijd. In week 50 (2007) zijn de tomaten geplant, in week 11 zijn de behandelingen begonnen.

In de laatste week van de teelt (week 46) werden de planten leeggeogst, waarbij ook onrijpe trossen werden geplukt. In die week werd 2 - 4 kilo/m<sup>2</sup> geplukt, terwijl 1 kg/m<sup>2</sup> voor die tijd van het jaar normaal is. Dit leidde tot totaalproducties zoals in onderstaande tabel vermeld staan. De productiestijging ten opzichte van de open kas was voor de kas met 150 W/m<sup>2</sup> koeling 6%, voor de kassen met 350 W/m<sup>2</sup> 10 - 11% en voor de gesloten kas 4%.

Tabel 4.1 Totale producties (in kg/m<sup>2</sup>) en de procentuele productiestijgingen ten opzichte van de open kas

Behandeling	Productie (kg/m <sup>2</sup> )	Productiestijging t.o.v. open kas (%)
Open kas	55.2	-
150 W/m <sup>2</sup> koelvermogen	58.6	6
350 W/m <sup>2</sup> koelvermogen	60.8	10
350 W/m <sup>2</sup> koelvermogen met ventilatie aan het einde van de dag	61.0	11
700 W/m <sup>2</sup> koelvermogen	57.3	4

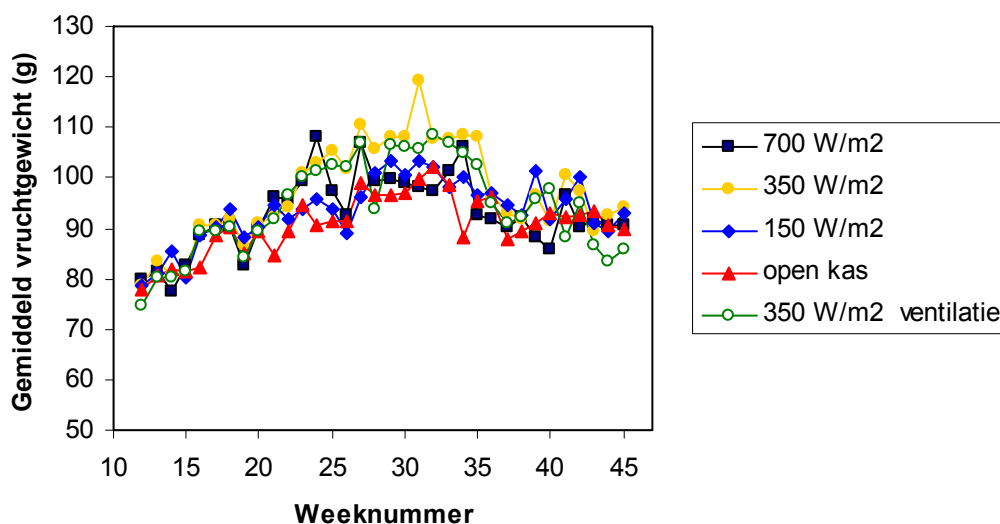
Om goed te kunnen zien wat er gebeurt met de productie is in Figuur 4.11 het verschil in productie van de verschillende behandelingen ten opzichte van de open kas weergegeven



Figuur 4.11. Verloop van het productieverschil (kg per m<sup>2</sup>) van de verschillende behandelingen met de open kas (zie legenda) in de tijd. In week 50 (2007) zijn de tomaten gepland, in week 11 zijn de behandelingen begonnen.

Uit deze figuur blijkt dat het productieverschil van beide kassen met 350 W/m<sup>2</sup> koelcapaciteit ten opzichte van de open kas gedurende teelt geleidelijk toeneemt tot 6 à 7 kg/m<sup>2</sup> verschil. In de laatste weken van de teelt (vanaf week 40) zijn de verschillen in raamopening en dus in CO<sub>2</sub> gehalten beperkt, en neemt het productieverschil ten opzichte van de open kas niet meer toe. Omdat in de laatste week met name in de open kas veel tomaten geoogst werden, is het uiteindelijke productieverschil ca. 6 kg/m<sup>2</sup>. Ook in de kas met 150 W/m<sup>2</sup> koelcapaciteit loopt het productieverschil ten opzichte van de open kas in de loop van de teelt geleidelijk op. In de gesloten kas (700 W/m<sup>2</sup> koelvermogen) neemt tot ca. week 30 de productie toe ten opzichte van de open kas. Vanaf dan neemt het productieverschil niet meer toe, en later zelfs af door het uitvallen van planten als gevolg van Botrytis.

Het productieverval wordt zowel gerealiseerd door het verschil in het aantal aangelegde trossen (zie Figuur 4.7) als het verschil in gemiddeld vruchtgewicht (Figuur 4.12). In onderstaande figuur is te zien dat met name in de zomerweken het gemiddeld vruchtgewicht in de afdelingen met 350 W/m<sup>2</sup> hoger is dan in de andere behandelingen. Het aantal aangelegde trossen wordt bepaald door het verschil in (plant)temperatuur tussen de verschillende behandelingen. Het vruchtgewicht wordt bepaald door de beschikbare hoeveelheid assimilaten per vrucht. Omdat de instraling voor alle afdelingen gelijk was, wordt de aanmaak van assimilaten vooral bepaald door de CO<sub>2</sub> concentratie. Die was hoger naarmate de kas meer gesloten was. De hoeveelheid assimilaten die per vrucht beschikbaar zijn, wordt echter ook bepaald door de plantbelasting (Figuur 4.8). Als er meer vruchten aan de plant hangen zullen er per vrucht minder assimilaten beschikbaar zijn. Zowel de plantbalans wordt mede beïnvloed door de verticale temperatuurgradiënt. Bij een grote verticale temperatuurgradiënt, zoals in de zomer gemeten is in de gesloten kas, is de planttemperatuur boven in de plant hoog, waardoor de ontwikkelingssnelheid (trosafsplittingsnelheid) in de kop van de plant hoog is. Ter hoogte van de mat en de afrijpende vruchten is de temperatuur dan echter relatief laag, hetgeen een trage afrijping veroorzaakt, en een hoge plantbelasting. Door een goede afstemming van CO<sub>2</sub> concentratie en temperaturen op verschillende hoogtes in de kas, is het gemiddeld vruchtgewicht te sturen (binnen de grenzen die bepaald worden door ras, stengeldichtheid en aantal vruchten per tros).



Figuur 4.12. Verloop van het gemiddeld vruchtgewicht van de verschillende behandelingen (zie legenda) in de tijd. In week 50 (2007) zijn de tomaten geplant, in week 11 zijn de behandelingen begonnen.

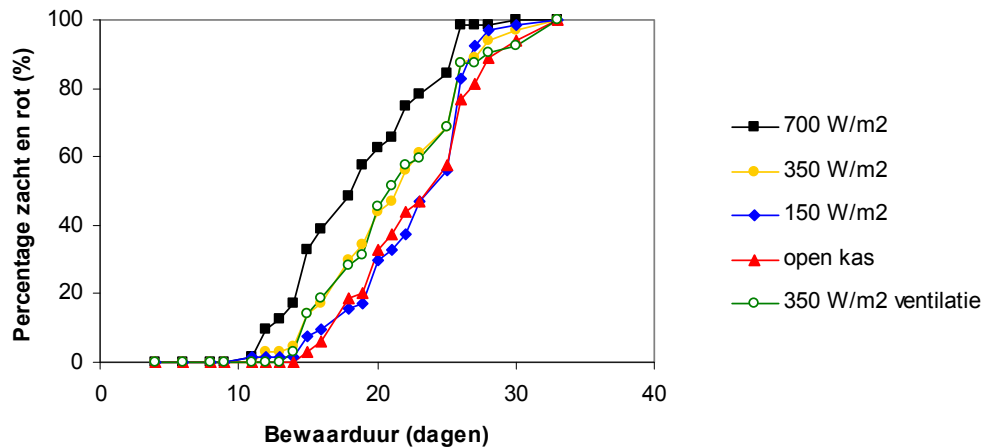
In de zomer zijn periodiek bepalingen gedaan van het drogestofpercentage van de vruchten (Tabel 4.2). Het drogestofpercentage was voor de geconditioneerde kassen iets hoger dan voor de open kas.

Tabel 4.2. Drogestofpercentages van tomaten geoogst in de verschillende behandelingen.

Behandeling	Drogestofpercentage (%)
Open kas	5.1
150 W/m <sup>2</sup> koelvermogen	5.2
350 W/m <sup>2</sup> koelvermogen	5.3
350 W/m <sup>2</sup> koelvermogen met ventilatie aan het einde van de dag	5.2
700 W/m <sup>2</sup> koelvermogen	5.5



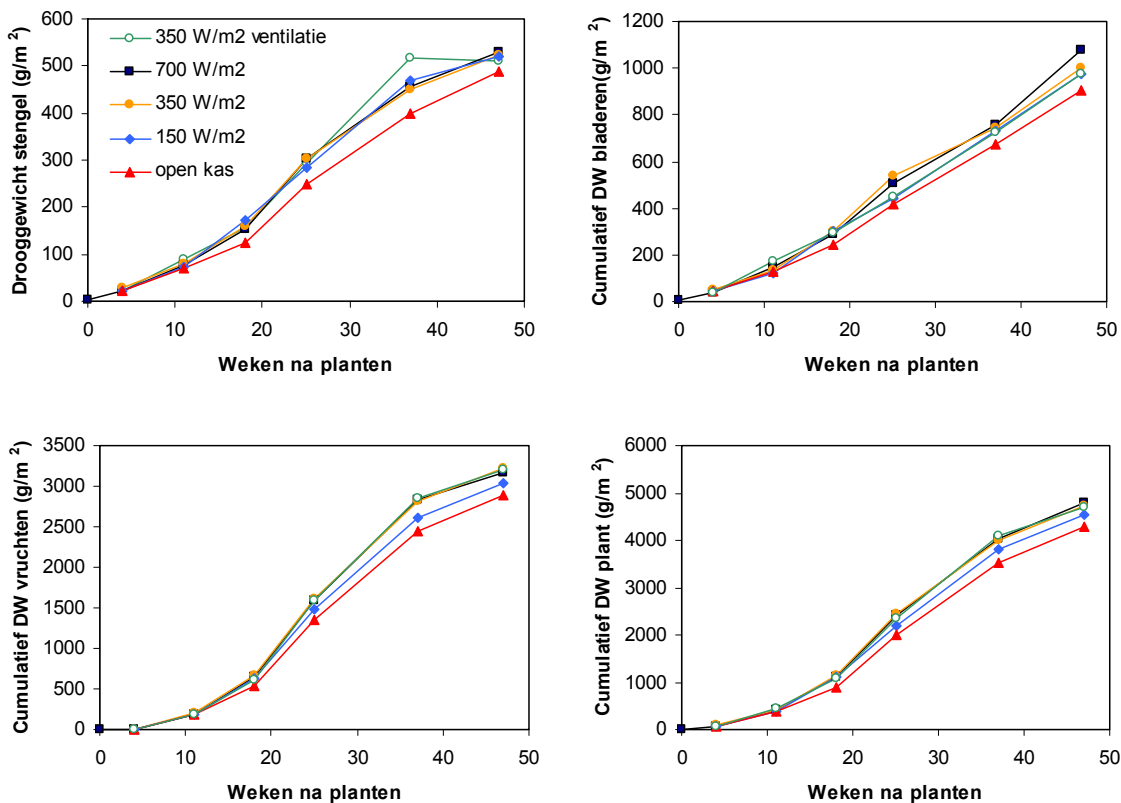
In mei en juli is van 8 trossen per behandeling de bewaarbaarheid van de tomaten uit de verschillende afdelingen gemeten. De tomaten werden in bewaarruimtes geplaatst onder constante omstandigheden en drie maal per week werden de zachte en rotte tomaten geteld. Uit Figuur 4.13 blijkt dat de tomaten afkomstig uit de gesloten kas het minst lang bewaarbaar zijn, gevolgd door de tomaten uit de twee afdelingen met  $350 \text{ W/m}^2$  koelcapaciteit, daarna gevolgd door de open kas en de kas met  $150 \text{ W/m}^2$  koelcapaciteit. Mogelijke oorzaken voor de verschillen in bewaarbaarheid zijn de verschillen in temperatuur en luchtvochtigheid tussen de verschillende behandelingen. Bij zowel hogere temperaturen als een hogere luchtvochtigheid is vaker aangetoond dat tomaten sneller zacht worden en dus een kortere bewaarbaarheid hebben. Deze tomaten verliezen sneller vocht, mogelijk door een andere structuur van de buitenste cellen van de vruchten.



Figuur 4.13. Verloop van het percentage zachte en rotte vruchten tijdens de bewaring van tomaten geoogst uit de verschillende behandelingen (zie legenda) in de tijd.

### 4.3 Destructieve metingen

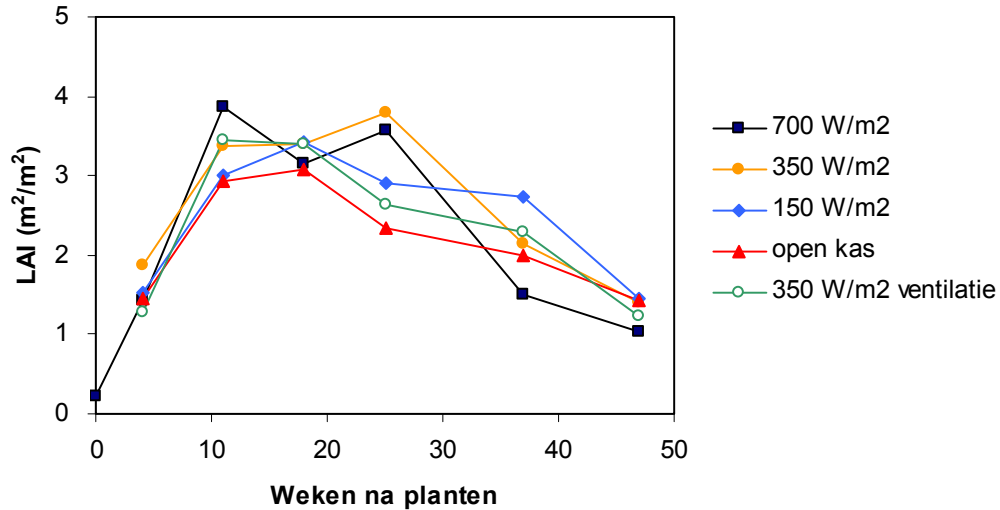
Tijdens het experiment werden ongeveer elke 2 maanden planten uit de kas gehaald en destructief geoogst. Vers- en drooggewichten van bladeren, stengels en vruchten werden gewogen. Door hierbij de gewichten van de geplukte bladeren en geoogste vruchten bij op te tellen is vast te stellen hoeveel plantmassa er tijdens de teelt is gevormd. In Figuur 4.14 is het verloop van de cumulatieve drooggewichten van stengels, bladeren, vruchten en totale plant weergegeven.



Figuur 4.14. Verloop van het cumulatief drooggewicht van de stengels (A), bladeren (B; inclusief geplukt blad); vruchten (C; inclusief geoogste vruchten) en totale plant in de verschillende behandelingen (zie legenda) in de tijd.

In deze figuur is te zien dat het drooggewicht van zowel stengels, bladeren als vruchten in de open kas achter bleef ten opzichte van de geconditioneerde afdelingen. De drooggewichten in de afdelingen met 700 W/m<sup>2</sup> en 350 W/m<sup>2</sup> koeling zijn vergelijkbaar, terwijl de gewichten van de afdeling met 150 W/m<sup>2</sup> koelcapaciteit iets minder zijn.

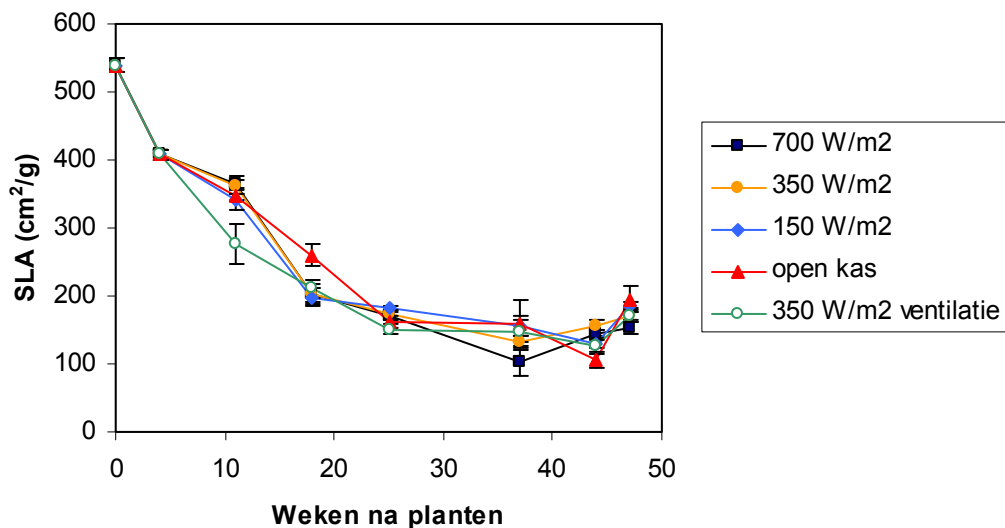
Bij de destructieve metingen werd ook het bladoppervlak bepaald. Hieruit kan de LAI (leaf area index, m<sup>2</sup> blad per m<sup>2</sup> grondoppervlak) berekend worden. Aan het begin van de teelt liep de LAI op tot ca. 3 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> hetgeen als optimaal voor een volledige lichtonderschepping gezien wordt. Daarna liep de LAI in de zomer in de meeste behandelingen af. In de afdelingen waar het meest gekoeld werd, hingen de trossen relatief lang aan de plant. Omdat blad geplukt werd tot net boven de onderste tros, betekende dat dat in die afdelingen in mei/juni meer blad aan de plant zat dan in de afdelingen met een lagere koelcapaciteit of de open afdeling. Begin september (ca. 40 weken na planten) is de kop uit het gewas gehaald en liep de LAI verder af naar ca. 1.5 aan het einde van de teelt.



Figuur 4.15. Verloop van de LAI in de verschillende behandelingen (zie legenda) in de tijd.

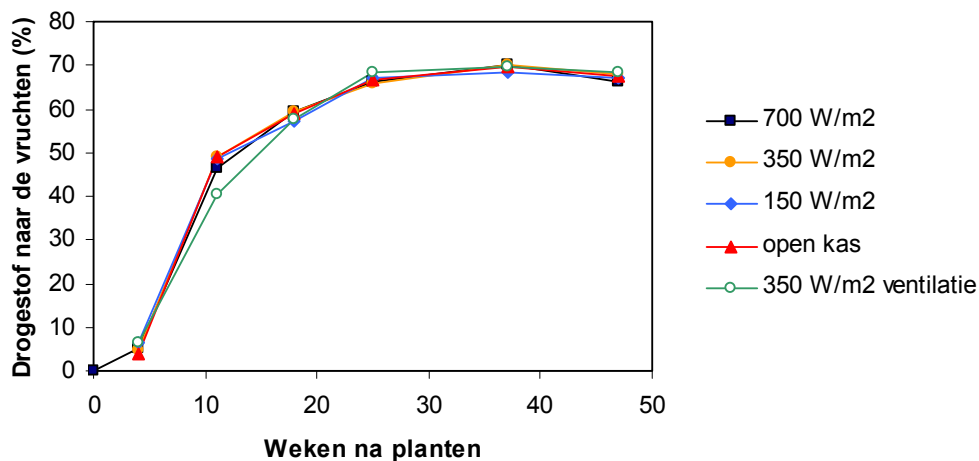
Uit de metingen van bladoppervlak en drooggewichten van de bladeren is het specifieke bladoppervlakte (SLA, specific leaf area) te bepalen. Dit is de bladoppervlakte per gewichtseenheid, een maat voor de dikte van het blad. In Figuur 4.16 is te zien dat er tussen de behandelingen geen verschillen waren tussen de bladdikte. Dat betekent dat bij gemiddeld hogere CO<sub>2</sub> concentraties in de afdelingen met een hogere koelcapaciteit er niet meer assimileren in de bladeren werden gestopt door dikkere bladeren aan te leggen.

Om te voorkomen dat het effect van de behandelingen op de SLA kwam omdat de waarden van alle bladeren, zowel relatief jonge bladeren als oude bladeren gemiddeld werden, is bij de destructieve oogsten ook de SLA gemeten van de bovenste 6 volgroeide bladeren. Ook in deze bladeren werd geen verschil gevonden in de bladdikte (SLA; zie Bijlage III).



Figuur 4.16. Verloop van het Specific Leaf Area (bladoppervlakte per g drooggewicht van het blad) in de verschillende behandelingen (zie legenda) in de tijd.

Tijdens de groei van de planten wordt de aangemaakte droge stof verdeeld over de verschillende delen van de plant, de bladeren, stengels, vruchten en wortels. Voor de productie is het met name van belang welk gedeelte van de aangemaakte droge stof naar de vruchten gaat. Uit Figuur 4.17 blijkt dat het percentage van de drogestofproductie dat in de vruchten terug te vinden is voor alle behandelingen gelijk is. Het klimaat dat in de verschillende behandelingen is gerealiseerd heeft geen effect op de drogestofverdeling tussen de vegetatieve delen (bladeren en stengels) en generatieve delen (vruchten).



Figuur 4.17. Verloop van het aandeel van de gevormde droge stof in de vruchten in de verschillende behandelingen (zie legenda) in de tijd

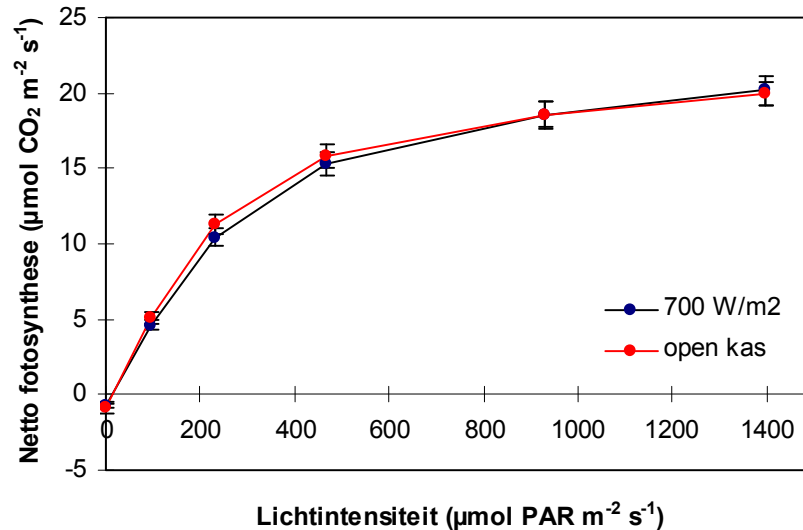
## 4.4 Fotosynthesemetingen

De basis voor alle plantengroei is de fotosynthese. In de fotosynthese wordt  $\text{CO}_2$  in aanwezigheid van water met behulp van lichtenergie omgezet in suikers ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ), waarbij zuurstof ( $\text{O}_2$ ) vrijkomt. De gevormde suikers vormen in de plant de bron van energie om met de aanwezige nutriënten alle stoffen in de plant te bouwen.

Karakteristiek voor een geconditioneerde kas is dat het mogelijk is dat zowel lichtintensiteit als  $\text{CO}_2$  concentratie op hetzelfde moment hoog zijn, terwijl in een open kas op moment dat er veel instraling is er over het algemeen veel gelucht wordt om de temperatuur op een aanvaardbaar niveau te houden, waardoor de  $\text{CO}_2$  concentratie sterk daalt. In dit project is onderzocht wat de effecten zijn van deze klimaatomstandigheden op de fotosynthese.

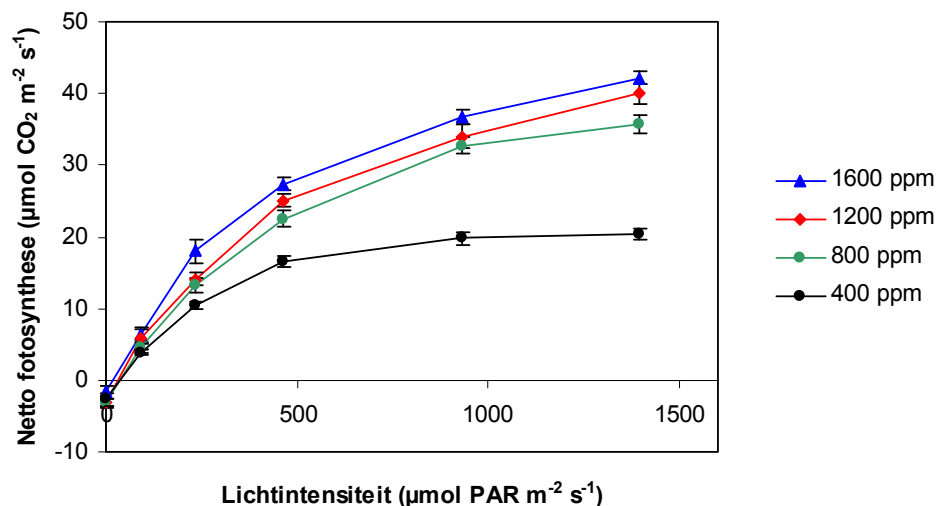
De fotosynthese is gemeten met draagbare fotosyntheseapparatuur aan bladeren op verschillende hoogtes in het gewas. Het blad wordt ingeklemd in een meetcuvet. De luchtvochtigheid en  $\text{CO}_2$  concentratie in de ingaande lucht wordt geregeld, evenals de temperatuur in de meetcuvet en de lichtintensiteit op het blad. Door de luchtvochtigheid en  $\text{CO}_2$  concentratie in de uitgaande lucht te meten kan zowel de fotosynthese ( $\text{CO}_2$  opname) als verdamping (afgifte van water) gemeten worden. De metingen op bladniveau kunnen met een gewasgroeimodel opgeschaald worden naar gewasfotosynthese.

De eerste vraag was of de fotosynthesekarakteristieken tussen planten in de open kas en de gesloten kas verschillen. Daarvoor is de fotosynthese van de bovenste bladeren bij een reeks lichtintensiteiten gemeten (Figuur 4.18). Hieruit bleek dat de opname van  $\text{CO}_2$  van bladeren van planten die altijd bij hoog  $\text{CO}_2$  zijn gegroeid niet verschilde van die van planten die bij lagere en wisselende  $\text{CO}_2$  concentraties zijn gegroeid. Dat betekent niet dat er geen aanpassingen in bladmorfolgie of het fotosyntheseapparaat aan het klimaat hebben plaatsgevonden. Aanpassingen die plaats zouden kunnen vinden in de gesloten kas zijn dikkere bladeren, meer huidmondjes en/of meer Rubisco ( $\text{CO}_2$  bindend eiwit) in de plant. Echter, uit Figuur 4.18 blijkt dat ook als deze aanpassingen wel opgetreden zijn, deze niet zodanig zijn dat ze effect hebben op de netto fotosynthese.



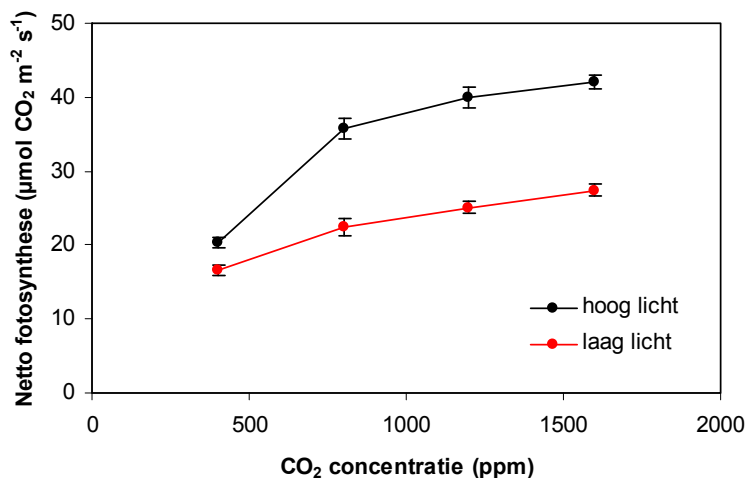
Figuur 4.18. Verloop van de netto fotosynthesesnelheid van tomatenbladeren uit de open kas en een kas met een koelcapaciteit van  $700 \text{ W/m}^2$  bij een reeks lichtintensiteiten in de meetcuvet.

Om de interactie van licht en  $\text{CO}_2$  te bepalen zijn lichtresponscurves bij verschillende  $\text{CO}_2$  concentraties in de meetcuvet bepaald. Hieruit is af te lezen dat bij lage lichtintensiteiten (winter, vroege voorjaar, late najaar) verhogen van de  $\text{CO}_2$  concentratie weinig bijdraagt aan de fotosynthese (Figuur 4.19). Dit is echter het moment dat  $\text{CO}_2$  over het algemeen niet beperkend is in de praktijk. Naarmate de lichtintensiteit toeneemt, neemt het effect van  $\text{CO}_2$  toe. Bij een lichtintensiteit van ca.  $1000 \mu\text{mol PAR/m}^2/\text{s}$  is de fotosynthese van de bovenste bladeren bij  $400 \text{ ppm CO}_2$   $18 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$  en bij  $800 \text{ ppm CO}_2$   $32 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ . Een verdere verhoging van de  $\text{CO}_2$  concentratie verhoogt de fotosynthese nog wel, maar vooral bij nog hoger lichtintensiteiten, die in de praktijk maar een beperkt aantal uren voorkomen.



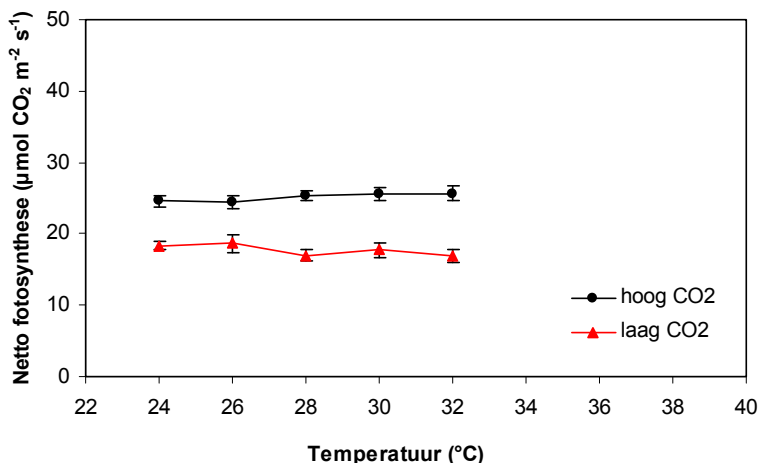
Figuur 4.19. Verloop van de lichtresponscurve van de netto fotosynthesesnelheid van de bovenste tomatenbladeren uit de gesloten kas bij  $\text{CO}_2$  concentraties van  $400 \text{ ppm}$ ,  $800 \text{ ppm}$ ,  $1200 \text{ ppm}$  en  $1600 \text{ ppm}$  in de meetcuvet.

Wanneer deze resultaten op een andere wijze worden weergegeven is ook te zien dat bij een toenemende  $\text{CO}_2$  concentratie in de bladkamer de fotosynthese toeneemt, en dat deze toename groter is bij hogere lichtintensiteiten (Figuur 4.20).



Figuur 4.20 Verloop van de  $\text{CO}_2$  responscurve van de netto fotosynthesesnelheid van de bovenste tomatenbladeren uit de gesloten kas bij lichtintensiteiten van  $465 \mu\text{mol PAR/m}^2/\text{s}$  (laag licht) en  $1400 \mu\text{mol PAR/m}^2/\text{s}$  (hoog licht) in de meetcuvet.

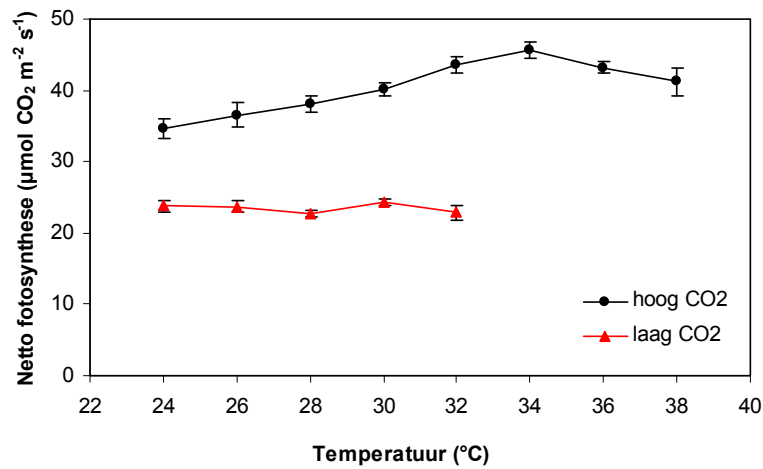
De temperatuur is in de fotosynthese van belang, omdat veel van de processen in de binding van  $\text{CO}_2$  en de omzetting naar suikers door enzymen gereguleerd worden. Enzymactiviteit wordt sterk bepaald door de temperatuur. Als het lichtniveau laag is, heeft een verhoging van de temperatuur geen effect op de fotosynthese (Figuur 4.21). De beperkende factor is dan licht en niet de verwerkingssnelheid van de opgenomen  $\text{CO}_2$ .



Figuur 4.21. Verloop van de temperatuurreponscurve van de netto fotosynthesesnelheid van de bovenste tomatenbladeren uit de gesloten kas bij een laag lichtniveau ( $465 \mu\text{mol PAR/m}^2/\text{s}$ ) bij 400 en 1200 ppm  $\text{CO}_2$  in de meetcuvet.

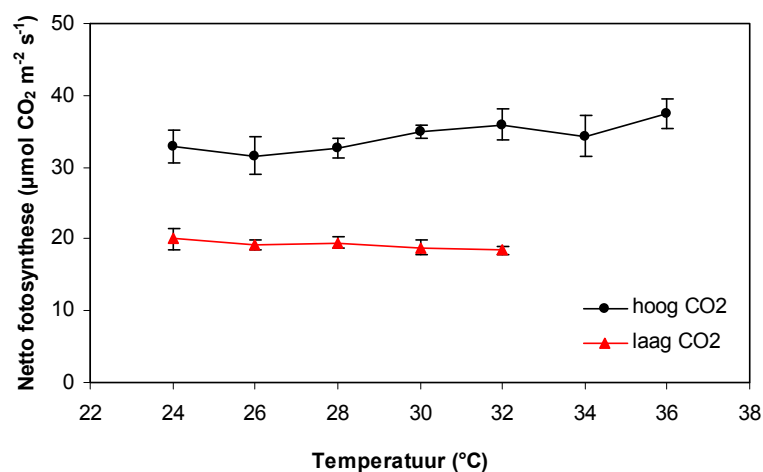
Bij een hoge lichtintensiteit in de meetcuvet is er bij een lage  $\text{CO}_2$  concentratie geen effect van temperatuur op de netto fotosynthese (Figuur 4.22). Bij hoge lichtintensiteit en een hoge  $\text{CO}_2$  concentratie neemt de fotosynthese toe, tot een optimale temperatuur van ca.  $34^{\circ}\text{C}$ . Op momenten dat er voldoende aanbod van  $\text{CO}_2$  is, en lichtenergie

om de reacties te laten verlopen, is de temperatuur van belang voor de snelheid van de enzymreacties in het fotosynthesesysteem om de  $\text{CO}_2$  te binden en te verwerken tot suikers.



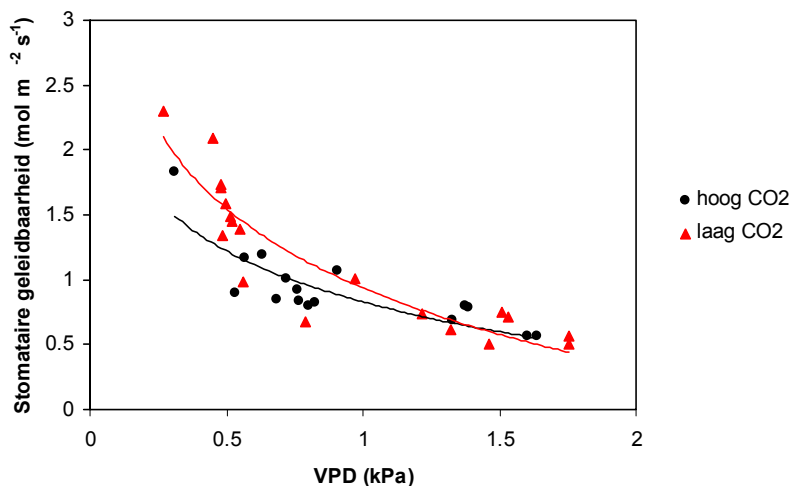
*Figuur 4.22. Verloop van de temperatuurreponscurve van de netto fotosynthesesnelheid van de bovenste tomatenbladeren uit de gesloten kas bij een hoge lichtintensiteit ( $1400 \mu\text{mol PAR}/\text{m}^2/\text{s}$ ) bij 400 en 1200 ppm  $\text{CO}_2$  in de meetcuve.*

Deze temperatuurrepons is gemeten in de bovenste bladeren aan de plant. Bij bladeren midden in het gewas, is de reactie van de netto fotosynthese op temperatuur niet meer aanwezig (Figuur 4.23). Dit kan te maken hebben met het feit dat deze bladeren zich hebben aangepast aan lagere lichtniveaus in het gewas door een deel van het fotosysteem af te breken. De gewasfotosynthese is een optelling van de fotosynthese in de verschillende bladlagen, en zal dus niet op temperatuur zal reageren zoals de bovenste bladeren. Met behulp van gewasgroeimodellen is te berekenen hoe de totale gewasfotosynthese op temperatuur reageert, en wat ook met het oog op de effecten van temperatuur op de ontwikkelingssnelheid van planten een optimale temperatuur is in relatie tot lichtintensiteit en  $\text{CO}_2$  concentratie.

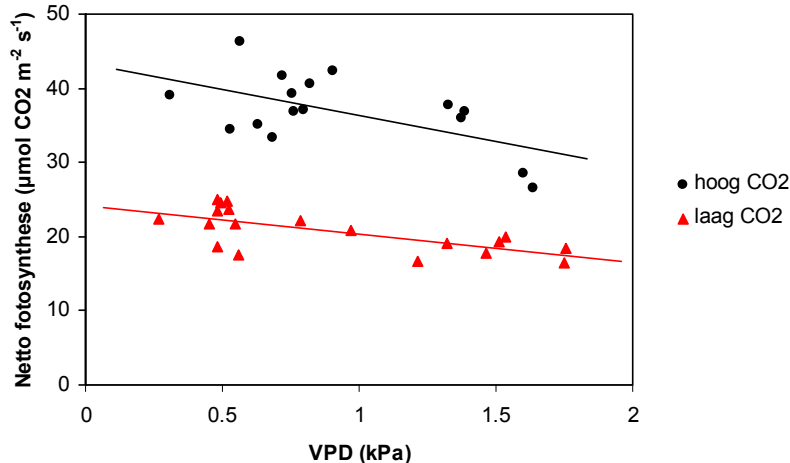


*Figuur 4.23. Verloop van de temperatuurreponscurve van de netto fotosynthesesnelheid van tomatenbladeren uit de middelste bladlaag uit de gesloten kas bij een hoge lichtintensiteit ( $1400 \mu\text{mol PAR}/\text{m}^2/\text{s}$ ) bij 400 en 1200 ppm  $\text{CO}_2$  in de meetcuve.*

De vochtigheid van de kaslucht heeft voornamelijk effect op de fotosynthese via het effect op de openingstoestand van de huidmondjes. Deze wordt uitgedrukt in stomataire geleidbaarheid, dit is het gemak waarmee  $\text{CO}_2$  door de huidmondjes (stomata) kan worden opgenomen. In Figuur 4.24 is te zien dat bij een lagere VPD (hogere luchtvochtigheid) de huidmondjes verder open gaan. Dit heeft een positief effect op de fotosynthese (Figuur 4.25).



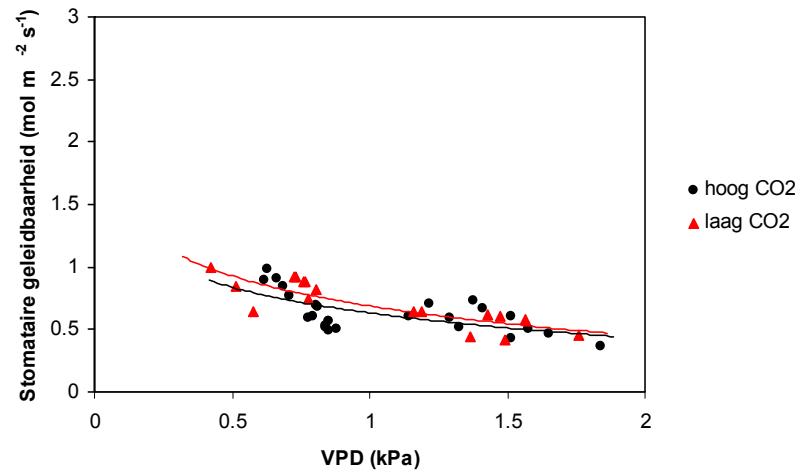
Figuur 4.24. Verloop van de huidmondjesgeleidbaarheid van de bovenste tomatenbladeren uit de gesloten kas bij een hoge lichtintensiteit ( $1400 \mu\text{mol PAR}/\text{m}^2/\text{s}$ ) bij verschillende vochtigheden (dampdrukdeficit; VPD) bij 400 en 1200 ppm  $\text{CO}_2$  in de meetcuve.



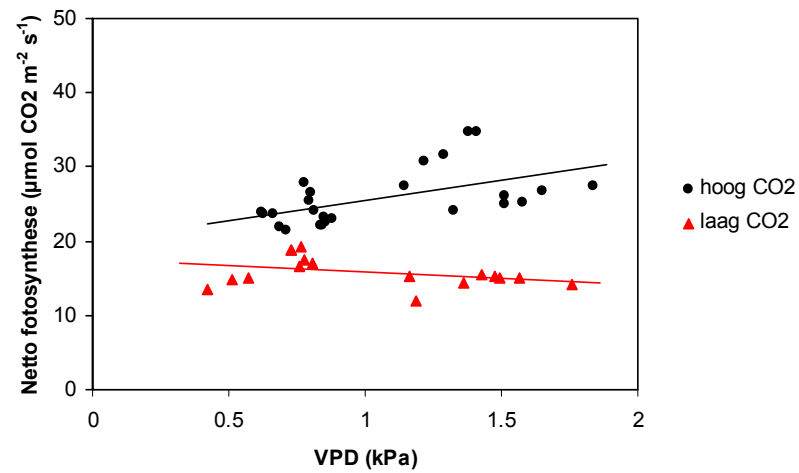
Figuur 4.25. Verloop van de netto fotosynthesesnelheid van de bovenste tomatenbladeren uit de gesloten kas bij een hoge lichtintensiteit ( $1400 \mu\text{mol PAR}/\text{m}^2/\text{s}$ ) bij verschillende vochtigheden (dampdrukdeficit; VPD) bij 400 en 1200 ppm  $\text{CO}_2$  in de meetcuve.

Ook bij laag licht werd gemeten dat de huidmondjesgeleidbaarheid toenam (huidmondjes verder open) bij een hogere luchtvochtigheid (lagere VPD) (Figuur 4.26). Dit leidde bij een lage  $\text{CO}_2$  concentratie tot een kleine toename van de netto fotosynthese, maar bij een hoge  $\text{CO}_2$  concentratie leidde dit tot een afname van de fotosynthese (Figuur 4.27). Dit effect is vanuit de theorie niet te verklaren en zal komend jaar nader onderzocht worden.





Figuur 4.26. Verloop van de huidmondjesgeleidbaarheid van de bovenste tomatenbladeren uit de gesloten kas bij een lage lichtintensiteit ( $465 \mu\text{mol PAR/m}^2/\text{s}$ ) bij verschillende vochtigheden (dampdrukdeficit; VPD) bij 400 en 1200 ppm  $\text{CO}_2$  in de meetcuvet.



Figuur 4.27. Verloop van de netto fotosynthesesnelheid van de bovenste tomatenbladeren uit de gesloten kas bij een lage lichtintensiteit ( $465 \mu\text{mol PAR/m}^2/\text{s}$ ) bij verschillende vochtigheden (dampdrukdeficit; VPD) bij 400 en 1200 ppm  $\text{CO}_2$  in de meetcuvet.



## 5 Simulatie van groei en productie

### 5.1 Narekenen van behandelingen

De behandelingen zijn nagerekend met het INTKAM gewasgroeimodel. Dit model bevat een aantal processen die voor de analyse van het experiment van belang zijn, zodat het informatie kan verschaffen over gewaseigenschappen die niet gemeten kunnen worden (in dit verband kan worden gesproken van een model als 'soft sensor'). Het INTKAM model berekent de huidmondjesgeleidbaarheid op basis van straling, CO<sub>2</sub> concentratie, temperatuur en dampdrukdeficit. In combinatie met de hoeveelheid onderschepte straling die op basis van de bladbedekkingsgraad (LAI) wordt berekend en een aantal fysiologische kenmerken van het fotosyntheseproces, wordt op ieder moment van de dag op een aantal gewasdiepten de bladfotosynthese berekend. Integreeren over de gewasdiepte en de tijd levert de dagelijkse fotosynthese op, wat resulteert in een dagelijkse gewasgroei. Sinksterktes van vruchten, bladeren, stengels en wortels bepalen de verdeling van de aangemaakte drogestof over de organen. Het model bevat bovendien een transpiratieroutine die net als de fotosynthese de momentane verdamping op verschillende gewasdiepten integreert tot een gewasverdamping op dagbasis.

De uitgevoerde berekeningen vonden plaats met het standaardmodel en met gebruikmaking van het gerealiseerde klimaat. Er is geen parameterisatie uitgevoerd op basis van metingen aan de bladfotosynthese, ontwikkeling en andere fundamentele processen. Dit zal in het vervolg van het project plaatsvinden, zodat de meerwaarde van een fundamentele benadering duidelijk kan worden gemaakt. Daarnaast zal op analytische wijze gekeken zal worden naar het verklarende gedrag van deze onderliggende fysiologische processen.

Het model is alleen aangepast met betrekking tot het volgende:

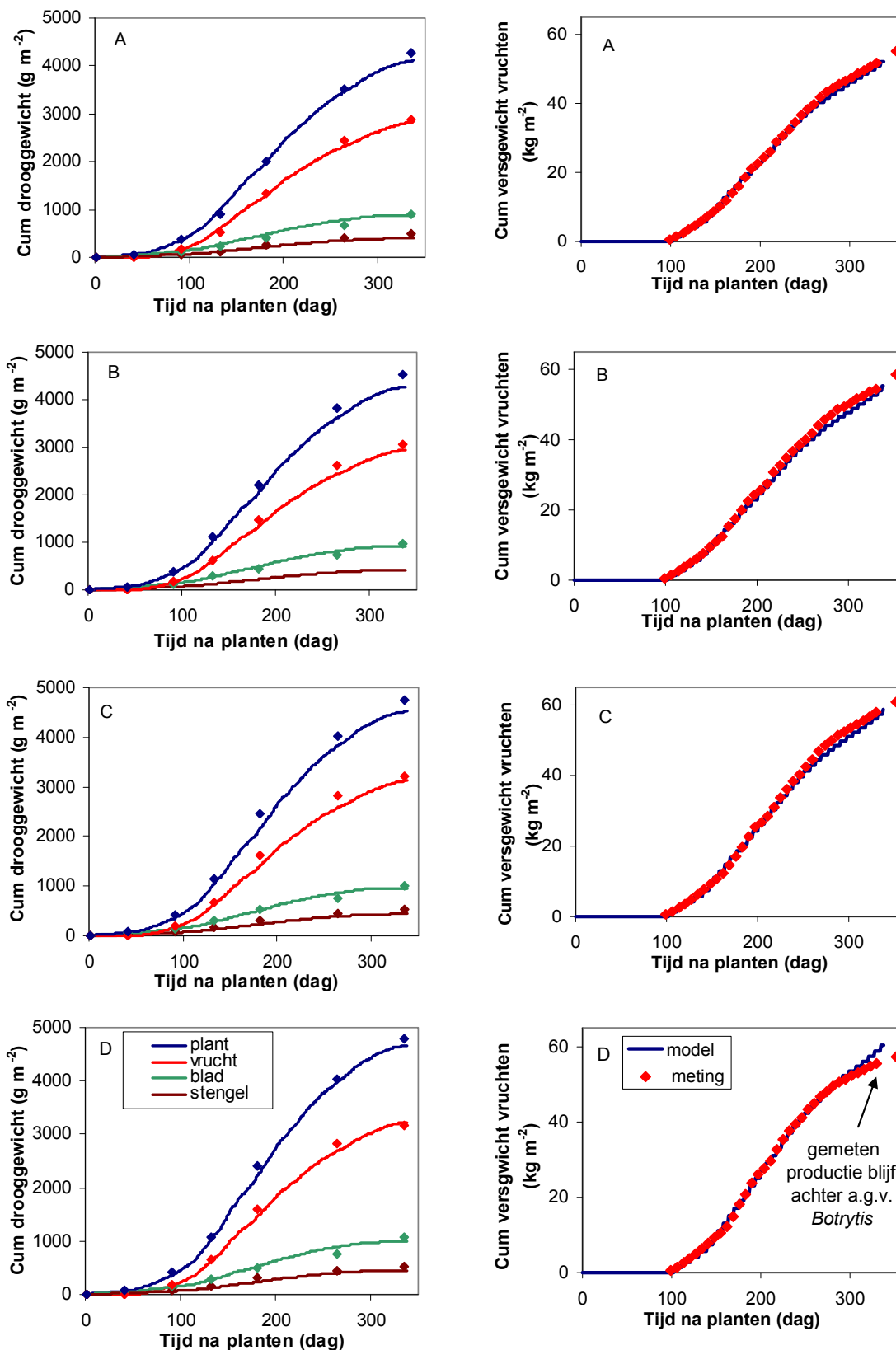
- vroege eerste bladpluk (beginnend 4 weken na planten);
- eerste ontwikkelende tros (dit reflecteert de uitgevoerde teeltwijze);
- bladdikte aan het begin van de teelt (de bladeren bleken dunner dan 'standaard').

De simulatieresultaten zijn weergegeven in Figuur 5.1. De gewasfotosynthese bepaalt in eerste instantie het totale gewasgewicht. Afgezien van een lichte onderschatting aan het einde van de teelt wordt de totale gewasgroei adequaat gesimuleerd,<sup>1</sup> hetgeen impliceert dat de simulatie van het belangrijkste onderliggende proces, de gewasfotosynthese, ook adequaat is. Ook de verdeling van de dagelijkse assimilatenproductie over de organen wordt goed gesimuleerd. Dit geeft aan dat de berekening van de temperatuurgestuurde sinksterkte van de vruchten, en van de andere organen, in het algemeen goed is.

De gesimuleerde versproductie is de resultante van de drooggewichtstoename, het drogestofgehalte van de vrucht, en de uitgroeiduur van de vrucht. Dit volgt tussen 100 en ongeveer 250 dagen na planten een redelijk lineair verloop, waarna een afname in de oogstnelheid zichtbaar wordt. Dit is een gevolg van de afnemende straling. De simulaties komen goed overeen met de waarnemingen, met een lichte onderschatting tussen 250 en 300 dagen na planten bij 150 en 350 W m<sup>-2</sup> koelvermogen. De behandeling met 700 W m<sup>-2</sup> koelvermogen had te lijden van Botrytis infectie aan het einde van de teelt. Besmette planten zijn toen uit het gewas verwijderd, wat niet door het Intkam model werd gesimuleerd, zodat de versproductie werd overschat. Op basis van de simulaties kan de opbrengstderving als gevolg van Botrytis op 6 % (3.35 kg m<sup>-2</sup> op 330 dagen na planten) worden geschat.

De simulaties van het cumulatieve versgewicht vonden overigens plaats tot en met 330 dagen na planten. Dit is de dag waarop voorlaatste oogst plaatsvond. Bij de laatste oogst werd de plant leeggeplukt van rijpe en onrijpe vruchten, wat het huidige model moeilijk kan simuleren. Het cumulatieve gevolg van deze laatste pluk is in de figuren zichtbaar als het enigszins geïsoleerde punt aan de rechterkant.

<sup>1</sup> De kwaliteit van een simulatie kan het beste worden beoordeeld op basis van een vergelijking met alle waarnemingen in de tijd. De waarnemingen zijn weliswaar steeds op meerdere planten gebaseerd, maar vertonen onvermijdelijk experimentele ruis. Een oordeel op basis van een enkele waarneming kan daardoor onterecht slecht (of goed) uitvallen.



Figuur 5.1. Waargenomen (punten) en gesimuleerde (lijnen) waarden van plant- en orgaangewichten (linkerfiguren), en van de cumulatieve versproductie (rechterfiguren) van de 4 behandelingen (A = open kas, B =  $150\ W\ m^{-2}$  koelvermogen, C =  $350\ W\ m^{-2}$  koelvermogen, D =  $700\ W\ m^{-2}$  koelvermogen).

De resultaten zijn nog eens samengevat in Tabel 5.1. Er vindt op seizoensbasis een lichte onderschatting plaats van de totale bovengrondse drogestofproductie, en van de totale vers oogst (met uitzondering van de behandeling met 700 W m<sup>2</sup> koelvermogen had te lijden van Botrytis infectie aan het einde van de teelt). Het is echter belangrijk dat de relatieve verschillen tussen de behandelingen goed worden gesimuleerd. Dit biedt een goede basis voor modelmatige fysiologische verdieping.

*Tabel 5.1. Overzicht van absolute en relatieve waarden van gemeten en gesimuleerde totale drogestofproductie (waarbij de wortelen zijn buiten beschouwing gelaten), en van cumulatief geoogst vers vruchtgewicht, voor de vier behandelingen.*

Koelcapaciteit (W m <sup>2</sup> )	Vers vruchtgewicht		Droog totaalgewicht	
	gesimuleerd	waargenomen	gesimuleerd	waargenomen
Absolute waarden (kg m <sup>2</sup> )				
Open kas	50.9	51.8	4.11	4.28
150	52.6	54.4	4.27	4.54
350	56.1	57.9	4.52	4.75
700	58.9	55.5	4.66	4.78
Relatieve waarden (%)				
Open kas	100	100	100	100
150	103	105	104	106
350	110	112	110	111
700	116	107*	113	112

\* *De behandeling met 700 W m<sup>2</sup> koelvermogen had te lijden van Botrytis infectie aan het einde van de teelt. Besmette planten zijn toen uit het gewas verwijderd, wat niet door het Intkam model werd gesimuleerd, zodat de versproductie werd overschat.*

## 5.2 Analyse van milieu-effecten

De vraag rijst uiteraard op welke wijze het kasklimaat van invloed is geweest op de totale groei en productie. Omdat de straling voor iedere kas identiek was, blijven CO<sub>2</sub>, dampdrukdeficit en luchttemperatuur als mogelijke factoren over.

Met het gewasgroeimodel is dit vrij eenvoudig te analyseren door klimaatgegevens systematisch uit te wisselen. De berekeningen zijn gestart met die van de open kas (scenario 1 in Tabel 5.2). Vervolgens zijn de CO<sub>2</sub> waarden van de open kas beurtelings vervangen door die van de gekoelde kassen (scenario's 2-4). Dit leverde een simulatie met het klimaat van de open kas voor alle factoren, behalve voor het CO<sub>2</sub> gehalte. Het bleek dat de totale groei bij stijgend CO<sub>2</sub> niveau (corresponderend met groter koelvermogen) met 4, 10 en 14% toenam. De versproductie nam met respectievelijk 5, 11 en 15% toe - vergelijkbare waarden.

Vergelijkbare handelingen met dampdrukdeficit (scenario's 5-7) en temperatuur (scenario's 8-10) wezen uit dat deze klimaatfactoren *op seizoensbasis* geen noemenswaardig effect hadden. Dit beeld wordt bevestigd door combinaties van uitgewisselde klimaatfactoren (scenario's 11-19), dat nogmaals laat zien dat het CO<sub>2</sub> niveau allesbepalend is.

Het is goed mogelijk dat gedurende een kortere periode temperatuur en dampdrukdeficiet wel een rol spelen, en dat dit implicaties heeft voor de klimaatbeheersing. Een verdere analyse zal dit moeten uitwijzen. Er zijn ook verticale luchttemperatuurmetingen verricht, zodat een nauwkeuriger microklimaat aan het model gevoed kan worden en de effecten hiervan kunnen worden geëvalueerd.

*Tabel 5.2. Relatieve waarden van gesimuleerde totale bovengrondse drogestofproductie, en van cumulatief geoogst vers vruchtgewicht, als uitgaande van het klimaat in de open kas, klimaatfactoren door die van de gekoelde kassen worden vervangen.*

Scenario	Behandeling waarvan klimaatfactor afkomstig is			Vers vruchtgewicht (%)	Droog totaalgewicht (%)
	CO <sub>2</sub>	dampdrukdeficiet	temperatuur		
1	open	open	open	100	100
2	150	open	open	105	104
3	350	open	open	111	110
4	700	open	open	115	114
5	open	150	open	100	100
6	open	350	open	100	100
7	open	700	open	100	100
8	open	open	150	99	100
9	open	open	350	99	100
10	open	open	700	100	99
11	150	150	open	104	104
12	150	open	150	104	104
13	150	150	150	103	104
14	350	350	open	111	110
15	350	open	350	110	110
16	350	350	350	110	110
17	700	700	open	115	114
18	700	open	700	116	113
19	700	700	700	116	113

### 5.3 Samenvatting en conclusies t.a.v. simulaties

- Met het niet-gekalibreerde INTKAM gewasgroeimodel worden totale drogestofproductie en totale versooft goed gesimuleerd, en daarmee ook de verschillen tussen de behandelingen.
- Het model zal in de toekomst worden gekalibreerd op basis van metingen aan fysiologische processen zoals fotosynthese en ontwikkeling, en zal de simulatie van waarnemingen die op dit moment nog niet in beschouwing zijn genomen, worden getoetst. Dit zal een goede basis bieden voor studie naar gewasprocessen en -parameters die niet direct kunnen worden gemeten.
- De opbrengstderving als gevolg van Botrytis aantasting wordt op 6% geschat.
- De groei- en productiever verschillen tussen de behandelingen worden zo goed als volledig verklaard door de verschillen in CO<sub>2</sub> concentratie van de kaslucht.
- Gedurende een kortere periode kunnen andere klimaatfactoren wel een rol spelen.

## 6 Leerpunten en discussie

### 6.1 Leerpunten

In 2008 is in het kader van het project 'Gewasmanagement bij geconditioneerd telen' een experiment uitgevoerd waarin groei en ontwikkeling van tomaat is geanalyseerd in afdelingen met verschillende klimaten door het aanleggen van een reeks koelcapaciteiten.

Uit deze proeven zijn een aantal (teelttechnische) leerpunten te formuleren:

1. Met een kas met een koelcapaciteit van 350 W/m<sup>2</sup> werd bij tomaat een productiestijging van 14% gerealiseerd t.o.v. een open kas. Met een kas met een koelcapaciteit van 150 W/m<sup>2</sup> een productiestijging van 6% t.o.v. een open kas. Met een gesloten kas werd in deze proef een productiestijging van 10% gerealiseerd t.o.v. een open kas.
2. De CO<sub>2</sub> concentraties in geconditioneerde kassen hangen sterk af van de mate van koeling, en daarmee het verminderd ventileren. In deze proef werd gedoseerd met een capaciteit van 230 kg CO<sub>2</sub>/ha/uur. Gemiddeld over de maanden juli en augustus was de CO<sub>2</sub> concentratie in de open kas overdag 600 ppm, in de kas met 150 W/m<sup>2</sup> koeling 730 ppm, in de afdelingen met 350 W/m<sup>2</sup> koeling 950 ppm en in de gesloten kas 1100 ppm.
3. De verschillen in CO<sub>2</sub> concentratie verklaren nagenoeg volledig het verschil in productie tussen de verschillende behandelingen.
4. Naarmate de kas meer gesloten is, zijn er minder kilo's CO<sub>2</sub> nodig om de CO<sub>2</sub> concentratie in de kaslucht op het gewenste peil te houden. Zo werd in de open kas 54.7 kg CO<sub>2</sub> per m<sup>2</sup> gedoseerd, terwijl dit in de gesloten kas 14.4 kg/m<sup>2</sup> was. Een geconditioneerde kas heeft dus een veel lagere CO<sub>2</sub> emissie dan een traditionele open kas.
5. In de geconditioneerde kassen is de gemiddelde CO<sub>2</sub> concentratie hoger. Door in deze kassen de temperatuur op de hogere CO<sub>2</sub> concentraties af te stemmen, kunnen hogere etmaaltemperaturen gerealiseerd worden. De snelheid van trossaanleg wordt hoger, zodat het aantal trossen dat aangelegd wordt, toeneemt. Om het gewenste gemiddelde vruchtgewicht te behalen moet de afstemming tussen plantafstand, aantal vruchten per tros, licht, CO<sub>2</sub> concentratie en temperatuur goed zijn.
6. In de geconditioneerde kassen werd koude onder in de kas gebracht. Dit leidde tot het optreden van een verticale temperatuurgradiënt. 's Nachts lag de planttemperatuur in de open en in de gesloten kas ca. 1 °C onder de kasluchttemperatuur. Overdag lag de planttemperatuur in de open kas maximaal ca. 1 °C boven de kasluchttemperatuur. In de gesloten kas echter, liep de verticale temperatuurgradiënt (gemiddeld over een periode van 7 weken) overdag op tot 5 °C. De temperatuur van de bovenste bladeren lag daarbij ca. 2 graden boven de kasluchttemperatuur.
7. Probeer de verticale temperatuurgradiënt in de kas beperkt te houden. Bij een te grote verticale temperatuurgradiënt rijpen vruchten onder in de plant traag af, waardoor de plantbelasting (te) hoog wordt.
8. Bij tomaten kan een temperatuurstrategie aangehouden worden waarbij de temperatuur in de ochtend lager aangehouden wordt dan nu in de praktijk gangbaar is en in de middag hoger (stralingsverhoging op de ventilatietemperatuur).
9. Parallel aan dit experiment is een experiment uitgevoerd met verneveling bij tomaat. Belangrijkste leerpunten hieruit zijn:
  - (a) Veel verneveling leidde tot hoge luchtvochtigheden en een lagere gewasverdamping.
  - (b) Veel verneveling leidde tot een gewas met kleinere, afhangende bladeren.
  - (c) Veel verneveling had geen effect op de trosafsplittingsnelheid, zetting, plantbelasting en productie.
10. Bij weinig licht en een lage CO<sub>2</sub> concentratie heeft temperatuur nauwelijks effect op de fotosynthese. Bij veel licht en een hoge CO<sub>2</sub> concentratie ligt het temperatuuroptimum van de fotosynthese van de bovenste bladeren bij 34 °C. Bij lager gelegen bladeren die minder licht krijgen, is er nauwelijks effect van temperatuur op de netto fotosynthese. In een geconditioneerde kas waar de CO<sub>2</sub> concentratie hoog gehouden kan worden, verdient het aanbeveling een sterkere lichtverhoging op de temperatuur in te stellen.

11. Naarmate de CO<sub>2</sub> concentratie hoger is, worden er meer assimilaten aangemaakt en is de totale drogestofproductie van het gewas hoger. De verdeling van assimilaten over bladeren, stengels en vruchten wordt niet beïnvloed door de CO<sub>2</sub> concentratie. Dat betekent dat er in de meer gesloten afdelingen een hogere productie is, er ook meer blad- en stengelmasse wordt aangemaakt. Mogelijk zou het aandeel assimilaten in de vruchten verhoogd kunnen worden, worden door teeltgarepen als het aanhouden van meer vruchten per tros.
12. Probeer de installatie voor de luchtbehandeling zodanig in te stellen dat klimaatovergangen geleidelijk aangelegd worden. Voorkom schokken en schommelingen in temperatuur en luchtvochtigheid. Deze kunnen lokaal natslag en risico op fysiogene afwijkingen (bladrandjes) en schimmelziektes veroorzaken.
13. Naarmate kassen meer gesloten zijn is de luchtvochtigheid gemiddeld hoger. Dat heeft weinig effect op het gewas. Maar wees kritisch op de omstandigheden: het risico op Botrytis en andere schimmelaantastingen of fysiogene afwijkingen is groter.
14. In geconditioneerde kassen zijn bladeren in de zomer kleiner dan in open kassen. Speel hier op in door indien nodig meer bladeren of een andere stengeldichtheid aan te houden om voldoende lichtonderschepping te hebben (LAI van ca. 3)
15. De bewaarbaarheid van tomaten uit de meer gesloten afdelingen lijkt korter te zijn dan de bewaarbaarheid van tomaten uit de open kas. Dit heeft mogelijk te maken met de gemiddeld hogere luchtvochtigheid en hogere temperaturen.
16. Aan het einde van de dag koelen via ventilatie in plaats van via mechanische koeling bespaart energie en heeft geen negatieve gevolgen voor gewasontwikkeling of productie.
17. De effecten van de verticale temperatuurgradiënt op de ontwikkeling van het gewas zullen in 2009 verder onderzocht worden. Dit zal gedaan worden door behandelingen aan te leggen waarbij de koeling boven in de kas geïnstalleerd wordt, en behandelingen waarbij de koeling onder de teeltgoten wordt aangelegd.

## 6.2 Discussie

In het experiment dat in 2008 is uitgevoerd, zijn tomaten geteeld in verschillende klimaten in geconditioneerde afdelingen. De klimaatverschillen zijn het gevolg van een reeks koelcapaciteiten die in de proef zijn aangelegd. De belangrijkste verschillen in klimaat tussen de verschillende behandelingen waren:

- *CO<sub>2</sub> concentratie*  
In voorjaar, zomer en herfst gold dat naarmate de kas meer gesloten was, de CO<sub>2</sub> concentratie overdag hoger was.
- *Temperatuur*  
Naarmate de afdeling meer gesloten was, werd aan het begin van de proef een hogere etmaaltemperatuur aangehouden om de trossaanleg te versnellen en zo de extra assimilaten als gevolg van de hogere CO<sub>2</sub> concentraties te gebruiken voor de (vrucht)groei. Gedurende de teelt werd in overleg met de BCO de temperatuur ingesteld naar de stand van het gewas.
- *Verticale temperatuurgradiënt*  
Naarmate er meer gekoeld werd via de slurven onder de teeltgoten, werd de verticale temperatuurgradiënt groter. Ter hoogte van het substraat kon de luchttemperatuur 5 °C lager zijn dan ter hoogte van de meetbox, terwijl dit verschil in de open kas niet groter was dan 0.5-1 °C.
- *Luchtvochtigheid*  
Naarmate een kas meer gesloten was, was de luchtvochtigheid hoger. Op dagen dat er gelucht werd, daalde de luchtvochtigheid in de afdelingen waar gelucht werd, terwijl de luchtvochtigheid in de gesloten afdeling hoog bleef.

Er werd in de proef een duidelijke meerproductie gerealiseerd in de geconditioneerde afdelingen ten opzichte van de open kas. Een eerste analyse met het gewasgroeimodel laat zien dat deze meerproductie volledig te verklaren is door de hogere CO<sub>2</sub> concentraties. Een nadere analyse met het model zal inzichtelijk moeten maken welke fysiologische processen door de afzonderlijke klimaatfactoren beïnvloed worden, en hoe dit in een geconditioneerde kas te sturen is.



Voor het personeel in de kas geldt dat de arbeidsomstandigheden in het algemeen in geconditioneerde kassen goed zijn. Op zonnige en warme dagen is het in een open kas warm, terwijl het in een geconditioneerde kas koeler aanvoelt doordat lucht wordt ingeblazen met een temperatuur die lager is dan de kaslucht.

Periodiek werden er in de proef planten destructief geoogst en werden vers- en drooggewichten van bladeren, stengels en vruchten bepaald. Door hier ook de gewichten van de reeds geoogste tomaten en geplukte bladeren bij op te tellen, is een totaalbeeld te geven van de drogestofproductie van het gewas en de verdeling van de assimilaten. Hieruit bleek dat in de meer gesloten afdelingen de totale drogestofproductie wel hoger was, maar dat het aandeel droge stof dat in de vruchten terug te vinden was voor alle behandelingen gelijk was. Het klimaat dat in de verschillende behandelingen gerealiseerd werd, heeft geen effect op de drogestofverdeling tussen de vegetatieve delen (bladeren en stengels) en de generatieve delen (vruchten). Eén van de redenen hiervoor zou kunnen zijn dat de stengeldichtheid in alle behandelingen gelijk was, en alle trossen op eenzelfde aantal vruchten terug gesnoeid werd. In de proef was de stengeldichtheid hoog, waardoor het gemiddeld vruchtgewicht lager was dan gewenst voor het ras Capricia. Door een lagere stengeldichtheid aan te houden, en tussen de behandelingen met verschillende CO<sub>2</sub> concentraties verschillende aantallen vruchten per tros aan te houden zou het misschien wel mogelijk zijn de assimilatenverdeling naar de vruchten te beïnvloeden.

Het effect van CO<sub>2</sub>, temperatuur en luchtvochtigheid op groei en productie was in dit experiment niet te onderscheiden. Eén van de doelen van dit project is om te komen tot een optimaal klimaat in een geconditioneerde kas. Daartoe moeten de effecten van de afzonderlijke klimaatfactoren op de onderliggende fysiologische processen bepaald worden. In dit experiment is gestart door het effect van licht, temperatuur, CO<sub>2</sub> en luchtvochtigheid op de fotosynthese te meten. Duidelijk is dat zowel licht als CO<sub>2</sub> concentratie positief uitwerken op de fotosynthese, waarbij geldt dat het effect van de één altijd sterker is als de ander ook hoog is. In een open kas geldt over het algemeen dat als het lichtniveau hoog is, de CO<sub>2</sub> concentratie relatief laag is omdat er dan geventileerd wordt. In winter en voorjaar kan de CO<sub>2</sub> concentratie hoog zijn, maar is het lichtniveau laag. Onder beide omstandigheden is het effect van temperatuur op de netto fotosynthese minimaal. In dit experiment bleek dat wanneer zowel CO<sub>2</sub> concentratie als de lichtintensiteit hoog zijn, omstandigheden die in een geconditioneerde kas regelmatig voorkomen, de bladfotosynthese toeneemt met een toenemende temperatuur. Voor de bovenste bladeren lag het temperatuuroptimum bij 34 °C bij hoog licht en een hoge CO<sub>2</sub> concentratie. Voor de middelste bladeren was er geen positief effect van deze hoge temperaturen, mogelijk omdat deze bladeren zich aangepast hebben aan de lagere lichtomstandigheden op dat niveau door een deel van het enzym dat CO<sub>2</sub> bindt af te breken. Met behulp van een gewasgroeimodel, dat gekalibreerd wordt op deze fotosynthesemetingen, kunnen de effecten van de verschillende klimaatfactoren op de fotosynthese van het hele gewas berekend worden. Dit kan verder informatie leveren ten behoeve van het optimale klimaat voor een geconditioneerde kas.

In deze proef was een behandeling opgenomen met een koelcapaciteit van 350 W/m<sup>2</sup>, waarbij aan het einde van de dag via ventilatie naar de nachttemperatuur werd gegaan, in plaats van via mechanische koeling. De uitgangshypothese hierbij was dat wanneer aan het einde van de dag geleidelijk via ventilatie naar de nachttemperatuur gegaan wordt, in plaats van via mechanische koeling, de vruchten onder in het gewas warmer blijven, daarmee een sterkere sink zijn voor assimilaten en dus zwaarder worden. Uit de resultaten bleek dat het verschil in vruchttemperatuur aan het einde van de dag niet zodanig groot was dat er effect was op gemiddeld vruchtgewicht en productie. Wel was het energiegebruik van de afdeling waarin aan het einde van de dag geventileerd werd lager dan van de afdeling met dezelfde koelcapaciteit waarin op die momenten gekoeld werd.

In dit project wordt met name gekeken naar de effecten van het veranderd klimaat in een geconditioneerde kas op de groei en ontwikkeling van het gewas. Echter, een van de doelen van geconditioneerd telen is het energiegebruik te reduceren door de overmaat aan zonne-energie in de zomer te oogsten, op te slaan en in de winter te kunnen gebruiken voor het verwarmen van de kas. Verder kan door het sluiten van de kassen efficiënter met CO<sub>2</sub> omgegaan worden, omdat minder kilo's CO<sub>2</sub> nodig zijn voor dezelfde CO<sub>2</sub> concentratie. Uit het experiment bleek dat de hogere CO<sub>2</sub> concentraties in de gesloten kas gerealiseerd werden met 14.4 kg CO<sub>2</sub> per m<sup>2</sup> voor de hele teelt, terwijl in de open kas 54.7 kg CO<sub>2</sub> per m<sup>2</sup> gedoseerd werd. In de kassen met 150 en 350 W/m<sup>2</sup> koeling was dit respectievelijk 46.1 en 29.6 kg CO<sub>2</sub> per m<sup>2</sup>. De energie die in de verschillende afdelingen is gebruikt, werd gebruikt om de kas te verwarmen, om de koele lucht die gebruikt werd om te ontvochtigen op te warmen en voor de groeibuis om de

afrijping van de vruchten te versnellen. In het totaal werd in de open kas  $31 \text{ m}^3/\text{m}^2$  aardgasequivalenten gebruikt, en in de gesloten kas ruim  $38 \text{ m}^3/\text{m}^2$  a.e. Omdat in de meer gesloten afdelingen meer energie werd geogst, betekent dit dat de kas met  $150 \text{ W}/\text{m}^2$   $3 \text{ m}^3/\text{m}^2$  opleverde. In de kassen met  $350 \text{ W}/\text{m}^2$  en  $700 \text{ W}/\text{m}^2$  koelcapaciteit werd 26 respectievelijk  $45 \text{ m}^3$  a.e./ $\text{m}^2$  overgehouden.

In het kader van het project 'Gewasmanagement bij geconditioneerd telen' zal in 2009 verder worden gekeken naar het effect van verticale temperatuurgradiënt op met name de assimilatenverdeling, wateropname en verdamping, nutriëntenopname, vruchtkwaliteit en fotosynthese. De verschillen in verticale temperatuurgradiënt worden gerealiseerd door de koeling onder in de kas te plaatsen, of boven in de kas. In het experiment van 2008 bleken in de behandelingen met een koelcapaciteit van  $350 \text{ W}/\text{m}^2$  hoge  $\text{CO}_2$  concentraties gerealiseerd te kunnen worden, een verticale temperatuurgradiënt aanwezig te zijn en een duidelijke meerproductie gerealiseerd te worden. Daarom is er voor gekozen om het experiment in 2009 uit te voeren met een koelcapaciteit van  $350 \text{ W}/\text{m}^2$ .

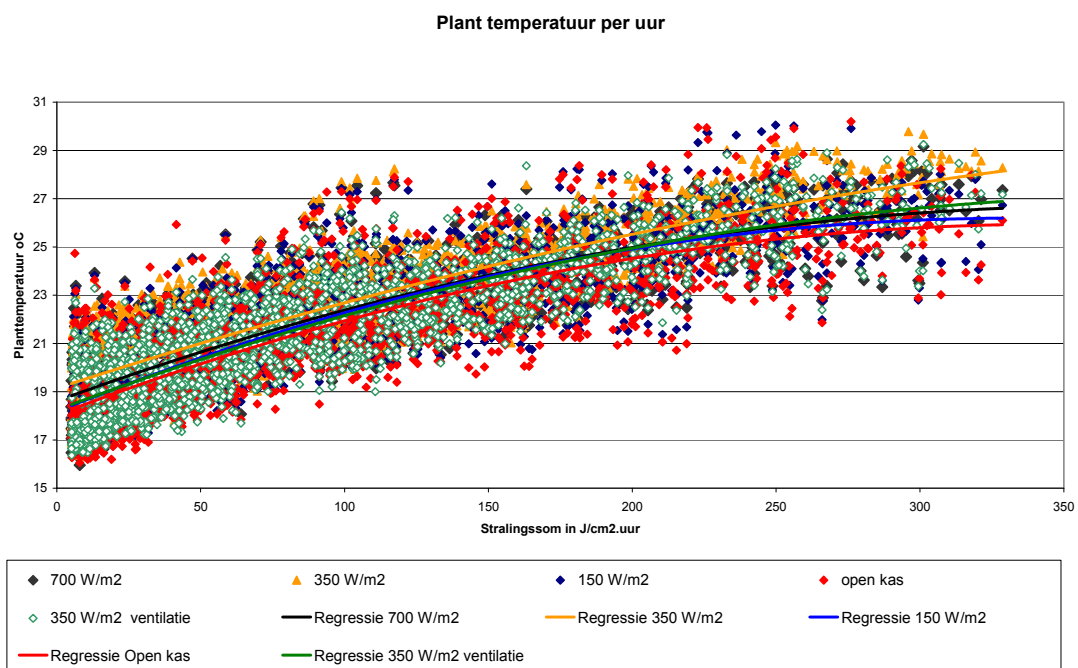
## 7 Geraadpleegde literatuur

- Bakker, J.C., H.F. de Zwart & J.B. Campen, 2006.  
Greenhouse cooling and heat recovery using fine wire heat exchangers in a closed pot plant greenhouse: design of an energy producing greenhouse. *Acta Horticulturae* 719: 263-270
- De Zwart, H.F., 2008.  
Overall energy analysis of (semi) closed greenhouses. *Acta Horticulturae* 801: 811-818
- De Zwart, H.F., F.R. van Noort & J.C. Bakker, 2008.  
Energieprestatie en teeltkundige ervaringen in de energieproducerende kas: eindrapport van een 2 jaar durend praktijkexperiment. Rapport Wageningen UR Glastuinbouw, 63 pp.
- Eveleens, B., A. de Gelder, A. Dieleman, A. Elings, J. Janse, T. Qian, P. Lagas & J. Steenhuizen, 2009.  
Effecten van verneveling op groei en ontwikkeling van tomaat. Teelt van eind april tot eind augustus. Rapport Wageningen UR Glastuinbouw, 30 pp.
- Gelder, A., E. Heuvelink & J.J.G. Opdam, 2005.  
Tomato yield in a closed greenhouse and comparison with simulated yields in closed and conventional greenhouses. *Acta Horticulturae* 691: 549-552.
- Gelder, A. de, M. Raaphorst, M. de Hoon & F. Breugem, 2007.  
Paprikateelt in de gesloten kas: resultaten bij Themato in 2006. Rapport Praktijkonderzoek Plant & Omgeving.
- Nawrocki, K.R., 1985.  
Meting warmteoverdrachtscoëfficiënt voor convectie van verwarmingspijpen in kassen. Rapport 73, IMAG, Wageningen.
- Opdam, J.J.G., G.G. Schoonderbeek, E.M.B. Heller & A. de Gelder, 2005.  
Closed greenhouse: a starting point for sustainable entrepreneurship in horticulture. *Acta Horticulturae* 691: 517-524.
- Raaphorst, M., 2005.  
Optimale teelt in de gesloten kas. Teeltkundig verslag van de gesloten kas bij Themato in 2004. Rapport Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, 38 pp.
- Raaphorst, M.G.M., F.L.K. Kempkes, E. Heuvelink, R.C. Kaarsemaker & M.J. Bakker, 2006.  
Teeltconcept voor de geconditioneerde kas, Rapport Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, 34 pp.
- Raaphorst, M., P. van Weel, J. Pijnakker & A. Dieleman, 2007.  
Telen in de bio-optimaal kas. Proef met een biologische tomatenteelt onder geconditioneerde omstandigheden. Rapport Wageningen UR Glastuinbouw, 33 pp.
- Schoonderbeek, G.G., A. de Gelder, E.M.B. Heller & J.J.G. Opdam, 2003.  
Telen in een gesloten tuinbouwkas; praktijkexperiment. Rapport Ecofys en Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, 52 pp.



## Bijlage I

# Relatie stralingsom per uur en planttemperatuur

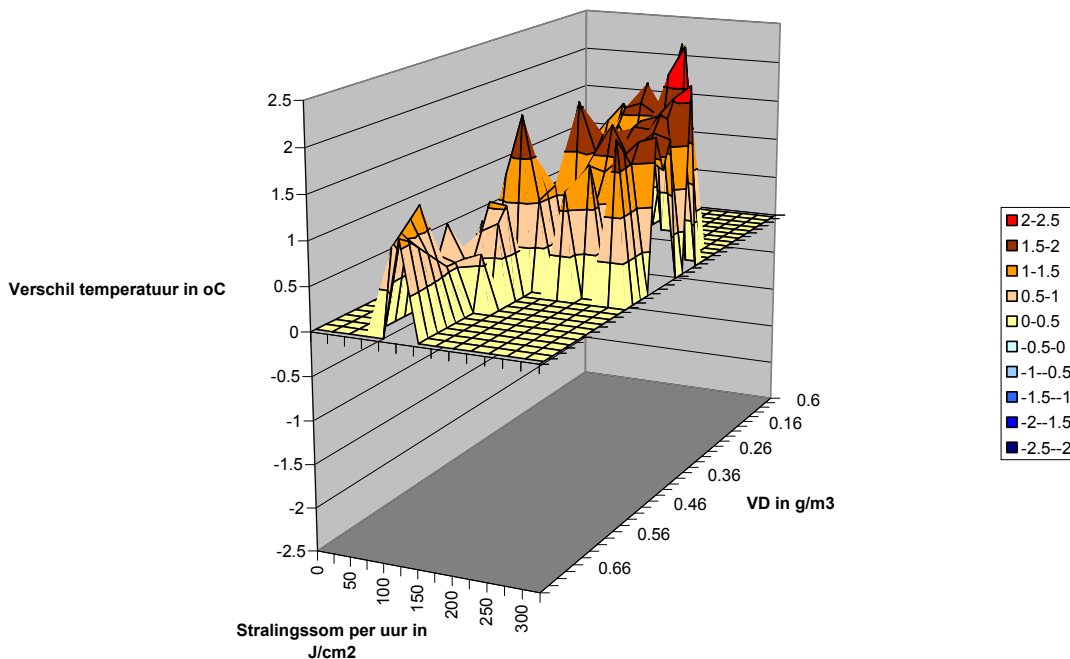




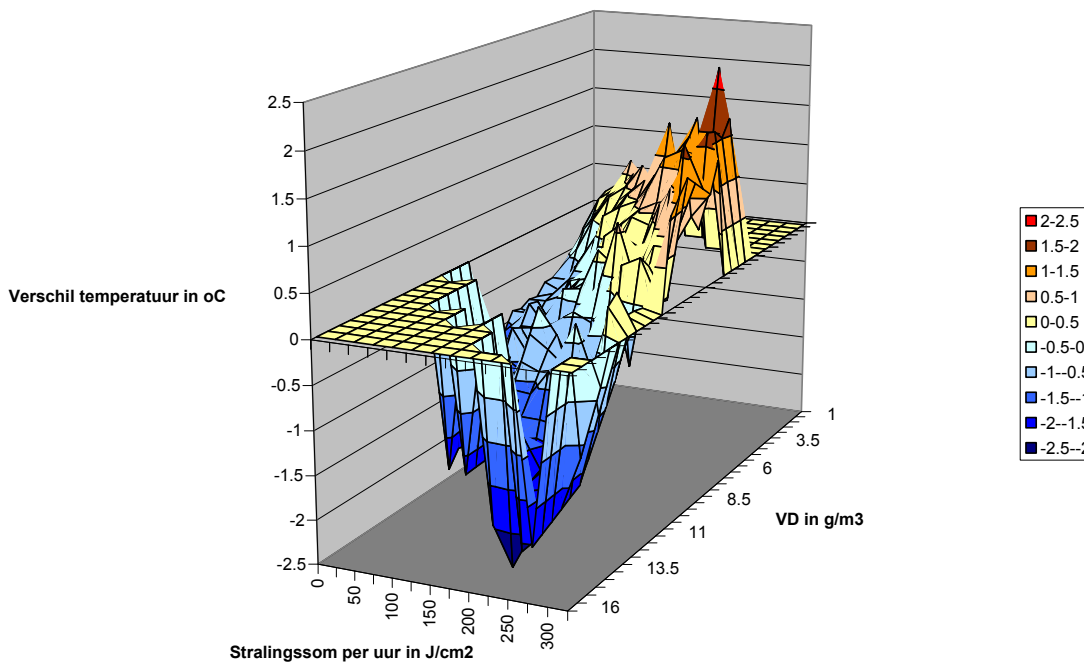
## Bijlage II

# Relatie tussen plant- en kasttemperatuur in open kas en bij 700 W/m<sup>2</sup> koeling afhankelijk van instraling en vochtdeficit

Vershil Plant- Kasttemperatuur 700 W/m2 koeling



Vershil Plant- Kasttemperatuur Open kas

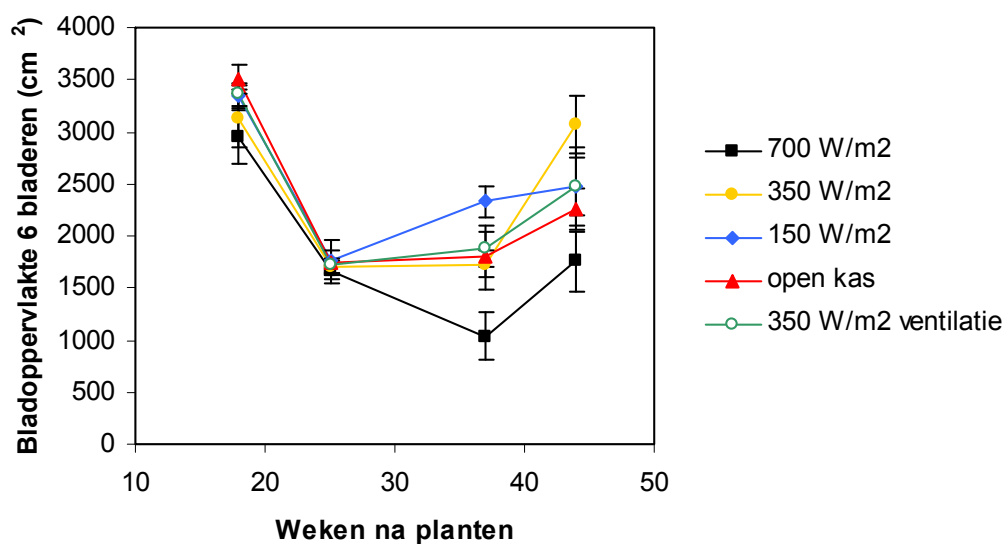


In bovenstaande figuren wordt het verband getoond tussen het verschil in plant en kastemperatuur en de stralings-som per uur en het gemiddelde vochtdeficit in een uur. Let er op dat de indeling van de as voor vochtdeficit niet gelijk is. Bij  $700 \text{ W/m}^2$  koeling zijn stappen van  $0.2 \text{ g/m}^3$  gemaakt en bij de open kas stappen van  $0.5 \text{ g/m}^3$ . Niet alle combinaties van stralings-som en vochtdeficit komen voor. Bij een hoge instraling komt een klein VD in de open kas niet voor en bij een lage instraling komt een groot VD niet voor. Duidelijk is wel dat in de open kas de planttemperatuur onder de kas temperatuur komt als groter wordt en dat dit afhankelijk is van de stralings-som. In de afdeling met  $700 \text{ W/m}^2$  koeling komt de planttemperatuur niet onder de ruimte temperatuur. Een planttemperatuur die ver onder de ruimte temperatuur komt wijst op een sterke verdamping, maar uit deze figuren mag niet geconcludeerd worden dat de huidmondjes in de open kas meer geopend zijn dan die van de kas met  $700 \text{ W/m}^2$  koeling.

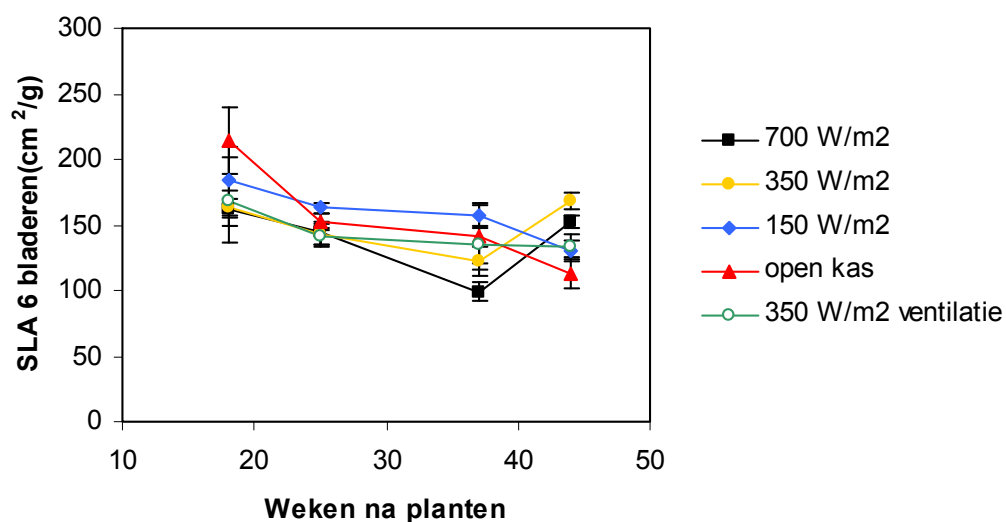


## Bijlage III

### Bladoppervlak en SLA



Figuur III.1. Verloop van het bladoppervlak van de bovenste 6 volgroeide bladeren in de tijd voor de 5 behandelingen (zie legenda)



Figuur III.2. Verloop van het specifiek bladoppervlak (SLA) van de bovenste 6 volgroeide bladeren in de tijd voor de 5 behandelingen (zie legenda)

