

Optimale teelt in de gesloten kas

Teeltkundig verslag van de gesloten kas bij Themato in 2004

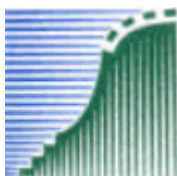
Marcel Raaphorst

© 2005 Wageningen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

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

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

Dit project is gefinancierd door het energieprogramma van het ministerie van LNV samen met het Productschap Tuinbouw.



Projectnummer: 41414038

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Business Unit Glastuinbouw

Adres : Kruisbroekweg 5
: Postbus 8, 2670 AA Naaldwijk
Tel. : 0174 - 636700
Fax : 0174 - 636835
E-mail : infoglastuinbouw.ppo@wur.nl
Internet : www.ppo.wur.nl

Inhoudsopgave

	pagina
VOORWOORD	5
SAMENVATTING	7
1 INLEIDING	9
1.1 Gesloten kas bij Themato	9
1.2 Probleemstelling	9
1.3 Doelstellingen	9
1.4 Afbakening	10
2 METHODE	11
2.1 Metingen door Themato	11
2.1.1 Demonstratieproject	11
2.1.2 Klimaatcomputer	11
2.2 Metingen door PPO	12
2.2.1 Mineralenhuishouding	12
2.2.2 LAI en drogestofgehalte	12
2.2.3 Kwaliteit en smaak	12
2.3 Analyse	12
2.3.1 Analyse en terugkoppeling	12
2.3.2 Analyse CO ₂	12
3 RESULTATEN	13
3.1 Kasklimaat	13
3.1.1 Raamstand	13
3.1.2 RV	14
3.1.3 Kastemperatuur	14
3.1.4 Planttemperatuur	15
3.1.5 Twee zonnige dagen: 15 mei en 8 augustus	18
3.1.6 Mattemperatuur	21
3.1.7 CO ₂	21
3.1.8 CO ₂ -balans	22
3.2 Teelt en gewasstand	23
3.2.1 Algemene indruk gewas	23
3.2.2 LAI en bladgewicht	23
3.2.3 Drogestof in vruchten	24
3.2.4 Drogestof blad	25
3.2.5 Schade en uitval	27
3.3 Watergift en bemesting	28
3.3.1 Wateropname	28
3.3.2 Condenswater	29
3.3.3 Nutriëntenopname	29
3.3.4 Concentratie in het jonge blad	30
3.3.5 Smaakmetingen	31
3.4 Productie	32
3.4.1 Teeltplan	32
3.4.2 Geplande en gerealiseerde productie	33
3.4.3 Geplande en gerealiseerde temperatuur, zetting en vruchtgewicht	33
4 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	35

4.1	Conclusies	35
4.2	Aanbevelingen	36
LITERATUUR		38
BIJLAGE 1 GEWASMONSTERS		39
BIJLAGE 2: TEELTPLAN GESLOTEN KAS THEMATO		44
BIJLAGE 3 BEREKENING VAN DE WATEROPNAME		51
	Wateropname	51
	Correctie op drainpercentage	51
	Gecorrigeerde wateropname	53
BIJLAGE 4 OPNAMECONCENTRATIES		55
BIJLAGE 5: INVLOED VAN RV OP HET GEWAS		57
BIJLAGE 6: INVLOED CO ₂ EN TEMPERATUUR OP FOTOSYNTHESE		58

Voorwoord

De gesloten kas, zoals die bij Themato voor het eerst op praktijkschaal is geïnstalleerd, stond in 2004 volop in de belangstelling. Velen hebben gebruik gemaakt van de mogelijkheid er een kijkje te nemen en meegedacht over het toekomstperspectief van dit systeem. Door verder te gaan dan alleen te kijken en een diepgaande analyse van de teeltgegevens in de gesloten kas uit te voeren komen vele nieuwe inzichten naar voren. Zeker doordat de teelt in de gesloten kas kan worden vergeleken met een open kas waarin verder vrijwel dezelfde bedrijfsuitrusting voorkomt is de kas bij Themato ideaal voor onderzoek.

Dit rapport is het resultaat van een onderzoek dat PPO heeft uitgevoerd gefinancierd door het energieprogramma van het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en het Productschap Tuinbouw. Naast de onderzoekers van PPO hebben aan dit onderzoek vele anderen bijgedragen. Dank hiervoor gaat in eerste instantie uit naar Martien Duijndam en Theo Ammerlaan van Themato en naar de adviseurs Frank Breugem, Jan Ammerlaan en Jelle Schoonderbeek voor hun bijdragen.

Dr. D. Kuiper
Managing Director
PPO Glastuinbouw

Samenvatting

Na proeven met de gesloten kas bij PPO in 2001 en 2002 realiseerde Themato dit concept als eerste glastuinbouwbedrijf in 2004 op praktijkschaal. PPO stelde voor de tomatenteelt in de gesloten kas een teeltplan op. Aan de hand van dit teeltplan werd geprobeerd om een zodanige zetting te realiseren voor een optimale productie. Verder werden de verschillen tussen de open en de gesloten kas bij Themato onderzocht en vervolgens besproken met de ondernemers en de adviseurs van Themato. Het ging hier vooral om het kasklimaat, de nutriëntenopname, de gewasontwikkeling, de drogestofgehalten van bladeren en vruchten, de productie en de smaak. Ook werd gekeken naar de invloed van het telen in de gesloten kas op de benodigde hoeveelheid gewasbeschermingsmiddelen en naar het werkklimaat in de gesloten kas en werd een schatting gemaakt van de hoeveelheid benodigde CO₂ in de gesloten kas ten opzichte van de open kas.

De belangrijkste resultaten van het onderzoek zijn de grote gemeten klimaatverschillen en gewasverschillen tussen de beide kassen. De uiteindelijke productie was in 2004 in de gesloten kas slechts 10% hoger dan in de open kas. Oorzaken hiervan moeten vooral worden gezocht in een te lage LAI in de zomer en het najaar en in een onregelmatige plantbalans. Ook enkele kinderziekten in het systeem van de gesloten kas beïnvloedden de productie negatief. Een ervan was de ongelijke temperatuurverdeling in het begin van de teelt, wat op koude en natte plekken Botrytis veroorzaakte. Ook werd in mei een lekkage aan de CO₂-leiding ontdekt, die plaatselijk een te hoog CO₂-niveau (en mogelijk NO_x-schade) veroorzaakte. Verder werd in de gesloten kas door storingen en werkzaamheden niet altijd een beoogd CO₂-niveau van 1000 ppm gerealiseerd. Bijvoorbeeld tijdens een verbouwing in juni werd het gewas in de gesloten kas met een hoge plantbelasting een week lang blootgesteld aan open-kas omstandigheden.

Bij hoge straling ontstond door de koeling een lage temperatuur onderin de gesloten kas, terwijl de temperatuur van de plantkop hoog was. De lage temperatuur onderin vertraagde mogelijk de wortelactiviteit en de afrijping van de vruchten terwijl de hoge temperatuur van de plantkop de ontwikkelingssnelheid verhoogde. Deze effecten kunnen de productie negatief beïnvloeden en aanpassingen ervan kunnen dus een productieverbetering opleveren.

Tussen beide kassen werd geen verschil aangetoond in de smaak van de tomaten en het bladgewicht per cm². Ook de nutriëntenopname per plant in de gesloten kas was, ondanks de 15% lagere verdamping in de zomer, vrijwel gelijk aan de nutriëntenopname van de open kas. Per kg drogestof echter, was de nutriëntenopname in de gesloten kas minstens 10% lager. De lagere nutriëntenopname kan een oorzaak zijn van de te lage LAI.

De energiebesparing van de gesloten kas werd in dit aanloopjaar niet door PPO onderzocht. Wel werd het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen onderzocht en hieruit bleek de bestrijding van Botrytis door de ongelijke temperatuurverdeling tijdens het begin van de teelt in de gesloten kas een groter probleem dan in de open kas. Dit gold ook voor de bestrijding van rupsen, welke tijdens de verbouwing in juni waarschijnlijk naar binnen zijn gekomen. Spint en witte vlieg waren in de gesloten kas juist veel gemakkelijker te bestrijden. Ook andere milieu-aspecten, zoals de bruikbaarheid van het opgevangen condenswater en de in dit project geschatte 65% lagere CO₂-behoefte in de gesloten kas lieten zien dat dit systeem kansen biedt voor een duurzame glastuinbouw.

1 Inleiding

Het idee van een gesloten kas is niet nieuw. Eind jaren 80 ontstond uit een creatieve sessie op de TU-Delft het idee van een kas zonder luchtramen, voornamelijk geïnspireerd door het insectenvrij telen. Dit idee heeft geleid tot een experiment in Naaldwijk met een kas zonder luchtramen, en met een geforceerde en gefilterde ventilatie. Dit systeem was echter te duur en kostte te veel energie om door de praktijk te worden overgenomen. Toch ging het idee niet verloren en gestimuleerd door het project de Kas van de Toekomst voor de Floriade 2002 en door het energie-onderzoeksprogramma van het ministerie van LNV en het Productschap Tuinbouw hebben Ecofys en PPO in 2001 en 2002 in een proef aangetoond dat in een gesloten kas, naast energiebesparing en minder behoefte aan gewasbeschermingsmiddelen, ook een productieverbetering van 20% kan worden gerealiseerd [Schoonderbeek et.al. 2003]. Dit was voor de ondernemers van Themato in 2003 voldoende aanleiding om dit systeem op praktijkschaal te gaan realiseren.

1.1 Gesloten kas bij Themato

Van de 5,4 hectare die ingericht waren voor de teelt van tomaten werd in december 2003 1,4 hectare voorzien van een klimaatsysteem met luchtslangen en ventilatoren met het doel dit deel jaarrond gesloten te houden. Hiervoor werden zes bronnen geboord in een aquifer van ± 100 meter diep. Drie bronnen dienen voor de seizoensopslag van koud water ($\pm 6^\circ\text{C}$) en drie voor de seizoensopslag van lauw water ($\pm 20^\circ\text{C}$). Voor de korte-termijn opslag zijn silo's aangelegd. Verder werd een warmtepomp voor de aanmaak van bruikbaar warm en koud water geïnstalleerd en een WKK voor de elektriciteits- en warmtevoorziening. Voor de CO_2 -voorziening werd op de WKK met rookgasreiniger geïnstalleerd en een opslagtank met zuivere CO_2 aangeschaft. Ook kon de verwarmingsketel worden ingezet voor de CO_2 -voorziening, maar dat werd tot een minimum beperkt.

1.2 Probleemstelling

Met een gesloten kas kan door het gebruik van duurzame zomerwarmte veel energie worden bespaard. Het is echter een kapitaalintensief systeem dat naast de besparing op de energiekosten ook dient te worden terugverdiend door een hoge productie. Uit de proeven op PPO in 2002 [Schoonderbeek et.al. 2003] is onder andere de drogestofverdeling anders gebleken dan bij een gangbare teelt, waardoor geen optimale productieverhoging werd gehaald. Een kleinere productieverhoging kan bijvoorbeeld veroorzaakt worden door een te hoog drogestofgehalte van de vruchten of de bladeren, een veranderde K/Ca-verhouding, of door een te lage Leaf Area Index (LAI).

Themato organiseert in 2004 en 2005 een demonstratieproject voor de gesloten kas, gefinancierd door het Ministerie van LNV, het Productschap Tuinbouw en de Europese Unie. Indien in dit demonstratieproject blijkt dat een productieverhoging niet kan worden gehaald dan zal dit energiezuinige systeem door andere telers in de praktijk minder snel worden overgenomen. Daarom is het van belang dat het demonstratieproject intensief wordt gevolgd, om tussentijds bij te kunnen sturen om de productieverhoging van 20% in de praktijk te realiseren. Ook kan dan worden beoordeeld welke stuurmiddelen de meeste invloed hebben op voorkomende afwijkingen tijdens de teelt in een gesloten kas.

1.3 Doelstellingen

Technische doelstellingen

Inzicht in de invloed van de stuurmiddelen op de gewastoeestand in een gesloten kas opdat de meeste productieverhoging in vergelijking met een referentieteelt (open kas) kan worden gerealiseerd.
Ontwikkelen van een teeltplan voor tomaten in de gesloten kas voor wat betreft de stengeldichtheid, de

voedingsoplossing, de teelttemperatuur en de EC gedurende het teeltseizoen om een productieverhoging van minimaal 20% ten opzichte van een standaard tomatenteelt te realiseren.

Energiedoelstellingen

In theorie kan een tomatenteeltbedrijf dat voor 25% gesloten is een energiebesparing van ruim 20% realiseren. Dit betekent dat de sector, als alle tomatentelers op dit systeem over gaan 132 mln m³ aardgas per jaar besparen, uitgaande van 20% energiebesparing op 55 m³/m².jaar bij 1200 ha tomaten. Omdat deze energiebesparing wordt gerealiseerd door het toepassen van zonne-energie kan deze worden beschouwd als het toepassen van duurzame energie.

1.4 Afbakening

Het onderzoek is alleen gericht op een optimale teelt en productie in de gesloten kas en niet op een optimaal energieverbruik.

2 Methode

In zowel de gesloten kas als de open kas zijn pruimtomatenplanten van het ras Celine met dezelfde zaaidatum (8 november 2003) geplant. Aangezien in de gesloten kas echter nog werkzaamheden moesten worden verricht zijn de planten voor deze kas 2,5 week langer bij de plantenkweker opgekweekt (plantdatum 19 december in plaats van 3 december 2003). Dit leidde tot een lichte achterstand in groei bij de gesloten kas, maar in februari was deze achterstand niet meer meetbaar aan de LAI van het gewas. Op 5 maart 2004 werd de gesloten kas in bedrijf gesteld. In juni was de installatie een week buiten bedrijf vanwege een verbouwing.

PPO stelde een teeltplan op en maakte hierbij gebruik van ervaringen op het gebied van het telen van tomaten in een gesloten kas, zoals opgedaan tijdens het onderzoek in 2002 [Schoonderbeek et.al., 2002]. Verder werd gebruik gemaakt van de metingen die Themato en Innogrow uitvoerden voor het demonstratieproject. Ook werden de ondernemers en de medewerkers van Themato ondervraagd over hun ervaringen in de gesloten kas.

Maandelijks werd de stand van zaken besproken met Themato, onderzoekers en adviseurs.

2.1 Metingen door Themato

Themato deed voor zijn eigen bedrijfsvoering en voor het demonstratieproject onder andere metingen aan de productie, de gewasbescherming en het kasklimaat.

2.1.1 Demonstratieproject

Ten behoeve van het demonstratieproject deed Themato de volgende metingen in zowel de gesloten kas als de open kas:

- Het aantal geoogste kg tomaten per m² (wekelijks)
- Het gemiddeld vruchtgewicht (wekelijks)
- Het percentage uitval en klasse II (wekelijks)
- Registratie van de gewasbeschermingshandelingen (middel, hoeveelheid werkzame stof en datum)
- Registratie van de opgetreden plagen en ziekten (wekelijks)

2.1.2 Klimaatcomputer

Ten behoeve van dit onderzoeksproject werd tevens vanuit de klimaatcomputer het gerealiseerde kasklimaat en de voedingstoestand bijgehouden.

- Kastemperatuur (°C)
- RV (%)
- Mattemperatuur (°C)
- Watergift (liter per m²)
- Drain (liter per m²)
- EC drain (mS/sec)
- CO₂-niveau (ppm)

Ook hing PPO in beide kassen twee planttemperatuurmeters op, waarvan de gegevens iedere minuut in de klimaatcomputer van Themato werden geregistreerd.

- Planttemperatuur boven op het gewas (boven-planttemperatuur in °C). Deze PT meters werden opgehangen ter hoogte van de onderkant van de tralie in standaard beugels en schuin naar beneden (kijkhoek van 79°) gericht op het noorden.
- Planttemperatuur onder in het gewas (onder-planttemperatuur in °C). Deze PT meters werden opgehangen onder de goten in standaard beugels en schuin naar boven gericht op het gewas.

2.2 Metingen door PPO

2.2.1 Mineralenhuishouding

Het drogestofgehalte en de nutriëntenopname van het blad geven aanwijzingen over de toestand en mogelijke verbeteringsrichtingen van het gewas. Daarom nam PPO vanaf week 3 tot en met week 20 iedere week en daarna tweewekelijks uit beide kassen water- en bladmonsters. De watermonsters werden genomen uit de mat of van de gerealiseerde drain, en van de gift uit beide kassen. De bladmonsters bestonden uit 10 jonge bladeren (7^e blad vanaf het de top; 1^e blad is langer dan 5 cm) uit elke kas. Zowel de bladmonsters als de watermonsters werden geanalyseerd door Groen Agro Control te Delft op mineralensamenstelling en van de bladmonsters werd bovendien het drogestofgehalte bepaald. Ook werd eenmalig het condenswater uit de luchtbehandelingskasten gecontroleerd, met name op koper.

De gemeten waarden uit de watermonsters en gewasmonsters werden vergeleken met de geadviseerde waarden voor de tomatenteelt [Kreij et.al, 1997].

De gemeten concentraties van nutriënten voor ieder watermonster zijn in overleg met Groen Agro Control evenredig gecorrigeerd volgens de rekenmethode van McNeal [McNeal et.al, 1970], zodanig dat de som van de EC's per nutriënt van ieder monster overeenkomt met de gemeten EC van dat monster.

2.2.2 LAI en drogestofgehalte

Vijf maal werden in beide kassen van 35 planten drie bladeren van verschillende hoogte weggenomen, zodanig dat een representatief bladoppervlak en bladgewicht van vijf planten kon worden bepaald en hiermee de LAI werd berekend. Vervolgens werd van deze bladeren het drogestofgehalte bepaald, zodat de drogestofverdeling over de bladeren in plant kon worden bepaald. Bij elke drie bladen werd ook de tros weggenomen om het drogestofgehalte van de vruchten te kunnen bepalen.

2.2.3 Kwaliteit en smaak

Verder werd maandelijks een oordeel van de ondernemer vastgelegd over de kwaliteit en houdbaarheid van de productie en het gewas in de gesloten kas ten opzichte van de open kas. Ook nam PPO zes maal uit beide kassen een monster van 25 geoogste tomaten weg om de smaak te kunnen meten met behulp van het PPO-smaakmodel.

2.3 Analyse

2.3.1 Analyse en terugkoppeling

De meetgegevens werden na vergelijking van de teelt in de gesloten kas met de referentieteelt en met een door PPO opgesteld teeltplan teruggekoppeld aan Themato en besproken met adviseurs. Bij afwijkingen werden mogelijke maatregelen besproken op het gebied van het kasklimaat, de watergift of de voeding in de gesloten kas. Zo kan een te hoog drogestofgehalte worden verlaagd door een lagere EC en een te lage LAI door het aanhouden van extra stengels en een veranderde verhouding in Kalium/Calcium-opname door een gewijzigde worteltemperatuur of nutriëntsamenstelling.

2.3.2 Analyse CO₂

Om een schatting te krijgen van de mogelijkheden in een gesloten kas om de CO₂-behoefte te verminderen werd een berekening uitgevoerd over het CO₂-verbruik voor fotosynthese en voor compensatie van de lekkage naar buiten.

3 Resultaten

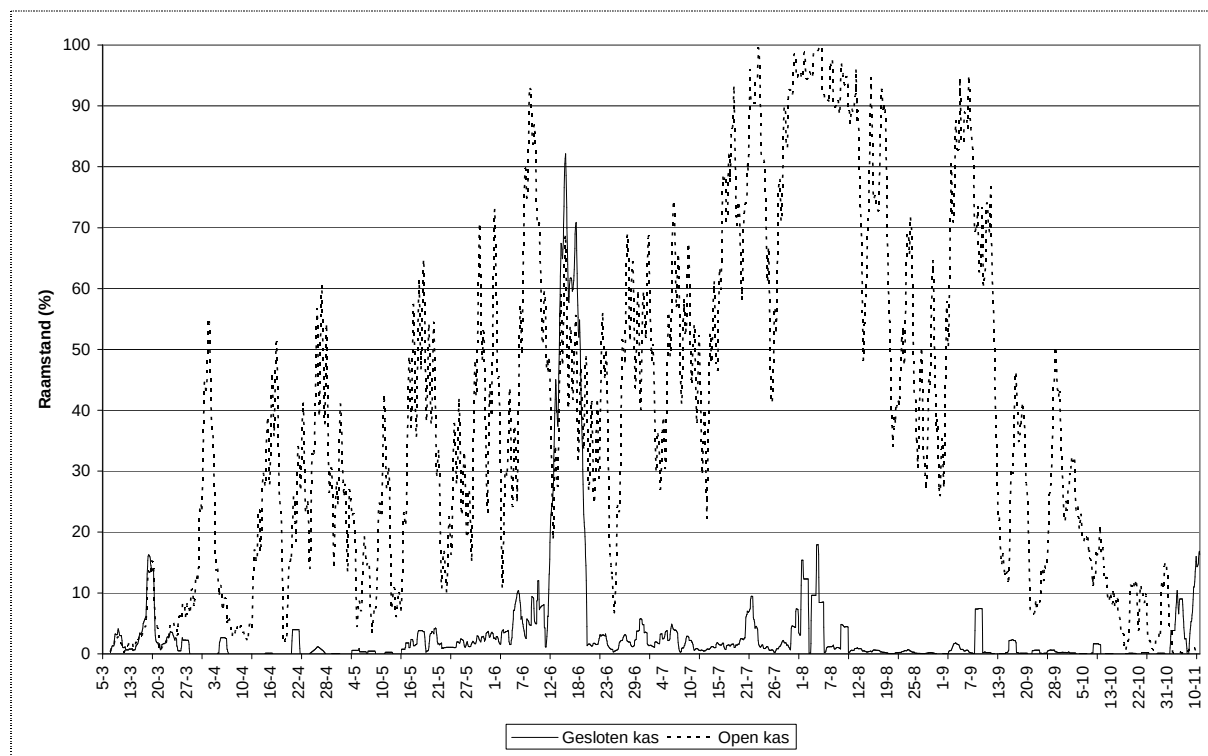
3.1 Kasklimaat

De luchtbehandelingskasten en luchtverdeelslangen werden begin december in de gesloten kas geïnstalleerd. Eerst werd het klimaat er nog met buisverwarming en luchtramen beheerst. Vanaf februari werden de luchtslangen en de ventilatoren getest en gebruikt en vanaf 5 maart werd er ook via de luchtslangen verwarmd. De warmtepompen en de installatie voor koeling en ontvochtiging werden half maart in gebruik genomen. In week 25 (12-18 juni) werd het klimaat in de gesloten kas wegens het ombouwen van het koelsysteem gelijk geregeld als in de open kas.

3.1.1 Raamstand

Aangezien het niet mogelijk was om in de winter koude in de aquifer op te slaan bleef gedurende de zomer de gesloten kas niet altijd gesloten. Figuur 1 laat de raamstand (gemiddelde van de luwe zijde en de windzijde) zien van de gesloten kas in relatie met de open kas overdag. Volgens de figuur bleef de gesloten kas slechts gedeeltelijk gesloten in 2004. Rond 15 juni werd een week lang evenveel geventileerd als in de open kas vanwege de ombouw. Ook in de andere perioden werd met de ramen geventileerd. Overdag was de raamstand gemiddeld een fractie ($1/40^e$) ten opzichte van de open kas. 's Nachts was de raamstand gemiddeld $1/5^e$ ten opzichte van de open kas. De belangrijkste redenen voor het ventileren in de gesloten kas waren:

- ventileren was energetisch voordeliger dan koelen en ontvochtigen;
- de kans op een te hoog opgelopen NO_x -concentratie in de kaslucht moest worden verkleind;
- bij optredende storingen schoot de koeling tekort.



Figuur 1 – Gemiddelde raamstand luwe en windzijde overdag (bij globale straling > 5 Watt/m²)

3.1.2 RV

De relatieve luchtvochtigheid (RV) verschilde zeer in beide kassen. Het gemiddelde uurverloop van de RV in maart tot november is weergegeven in Figuur 2. In de open kas loopt de RV in de ochtend hoog op, terwijl deze overdag sterk daalt. In de gesloten kas is de RV veel gelijkmatiger. Desondanks was in de gesloten kas, mede door technische storingen, de RV vaker (85 uur ten opzichte van 65 uur) boven de 93% dan de open kas. Boven de 93% RV neemt in een standaard kas de kans op het nat slaan van het gewas en hiermee de kans op Botrytis sterk toe [Dik, 1993]. In hoeverre dit nat slaan in een gesloten kas door de luchtbeweging wordt verkleind is nog niet onderzocht.

In de open kas was de RV 89 uur lager dan 60%, waarvan 2 uur lager dan 50%. Dit zijn momenten dat de kans op stress toeneemt. In de gesloten kas lag de RV buiten de verbouwingen zelfs nooit onder de 75%. Gemiddeld lag de RV in de gesloten kas 4,7% hoger dan in de open kas.

In Figuur 2 is voor de open kas en de gesloten kas het gemiddelde verloop van de RV over het etmaal weergegeven. Dit is gedaan voor zowel het voorjaar (maart- mei), de zomer (juni- augustus) als het najaar (september- einde teelt). Opvallend is dat in het najaar droger werd geteeld dan in het voorjaar, terwijl door de lagere lichtintensiteit en de hogere temperatuur juist een vochtiger najaar zou worden verwacht. Vooral in de open kas was de RV in het najaar lager.



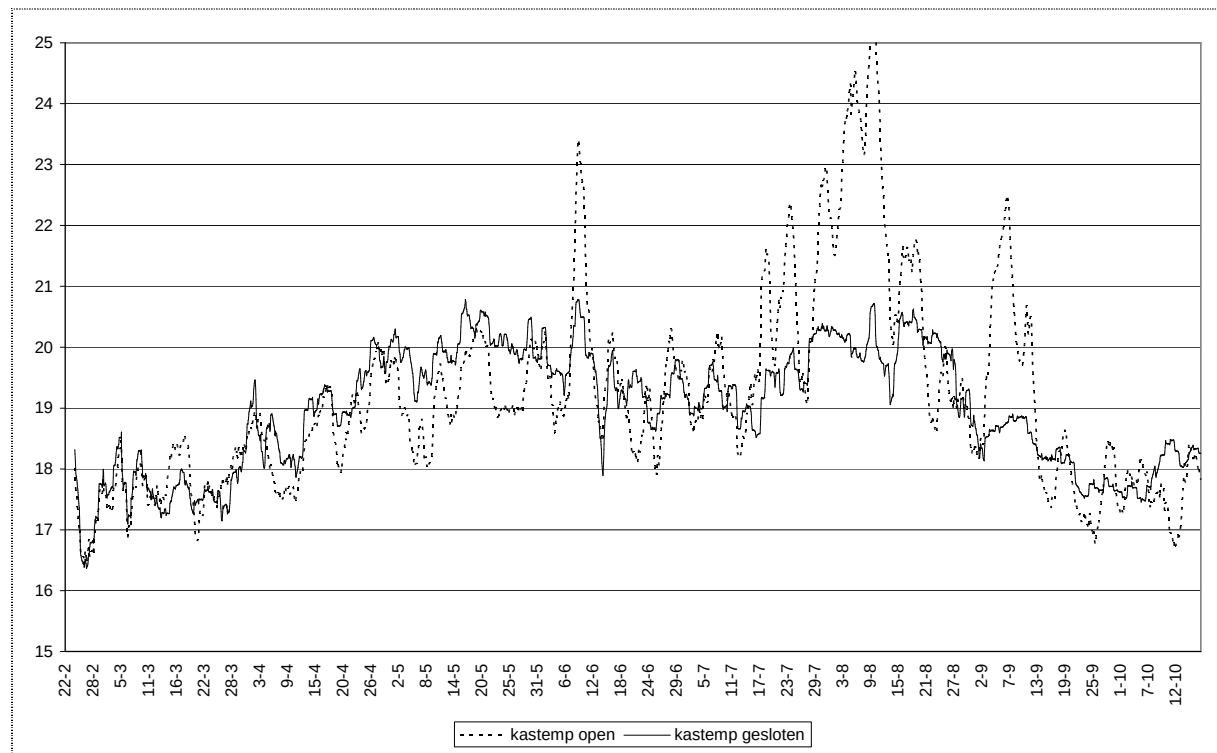
Figuur 2 - RV in procenten per uur in het voorjaar, zomer en najaar in de gesloten en de open kas

Het gemiddelde vochtdeficit op de zomermiddagen was in de open kas 6,5 gram/m³, terwijl deze dan in de gesloten kas gemiddeld 3,3 gram/m³ was. In de nacht verschilde het vochtdeficit nauwelijks tussen de open en de gesloten kas.

3.1.3 Kastemperatuur

Bij Themato werd in 8 (6 open en 2 gesloten) afdelingen de kastemperatuur gemeten. In Figuur 3 zijn de 48-uurs gemiddelde kastemperaturen van zowel de open als de gesloten kas met elkaar vergeleken. Opvallend zijn de pieken in de kastemperatuur in de open kas rond 8 juni, 22 en 29 juni, begin augustus en begin

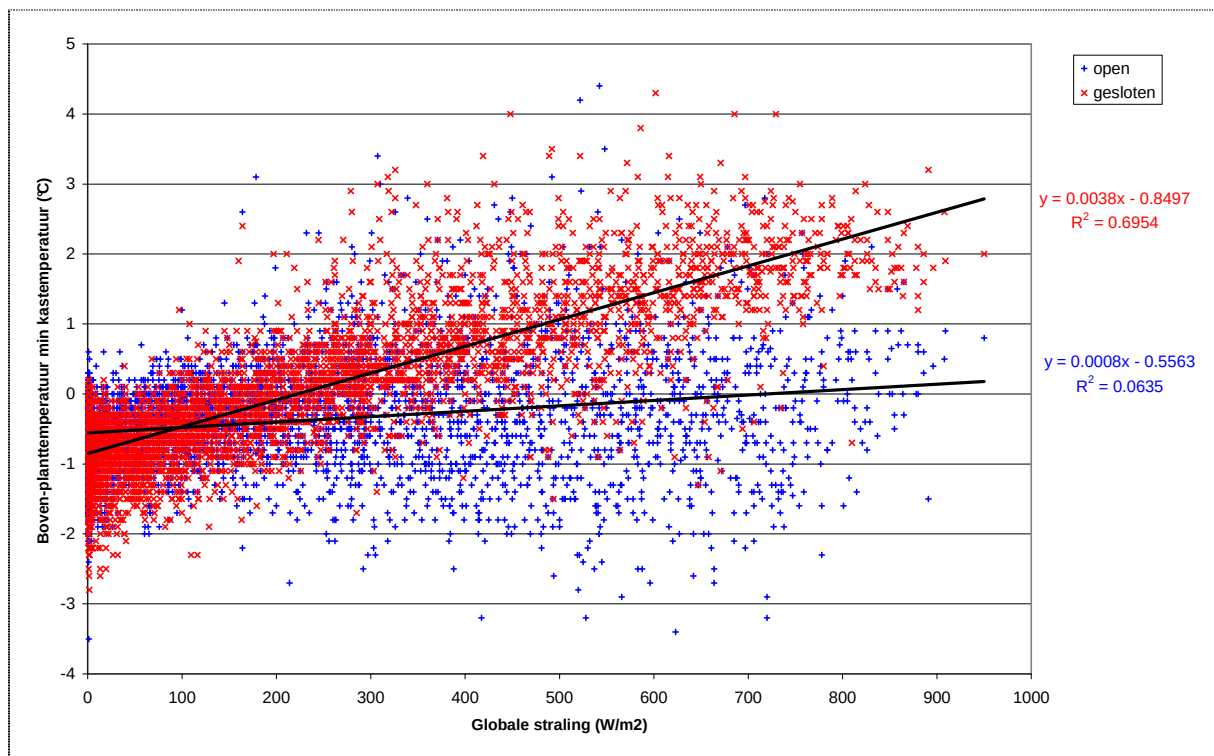
september, terwijl de kasttemperatuur in de gesloten kas vrijwel geen pieken kende. In het voorjaar is in de gesloten kas een hogere kasttemperatuur aangehouden. Dit is bewust gedaan om voor de hogere te verwachten productie een snellere afsplitsing te realiseren (zie teeltplan). Vanwege de lage prijzen voor tomaat werden de temperaturen in de zomer laag gehouden. Mogelijk heeft deze lage temperatuur in de gesloten kas geleid tot een te trage zetting en zodoende een te lage plantbelasting.



Figuur 3 - Voortschrijdend 24-uurs gemiddelde kasttemperatuur in de open en de gesloten kas, van februari tot oktober

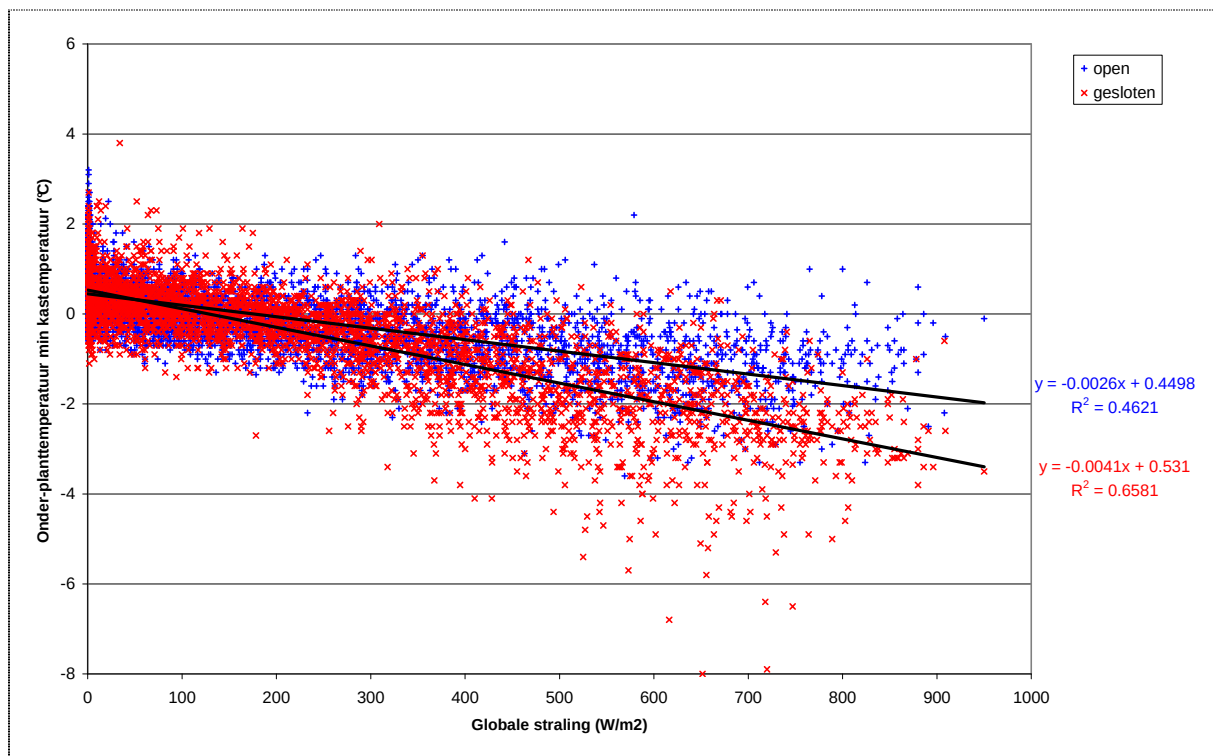
3.1.4 Planttemperatuur

In zowel de open kas als de gesloten kas werd ook de planttemperatuur aan de onderkant (onderplanttemperatuur) en de bovenkant (bovenplanttemperatuur) van het gewas gemeten. De planttemperatuur kan afwijken van de kasttemperatuur door straling op het gewas en verdamping van het gewas. Indien zonnestraling terecht komt op het gewas stijgt de planttemperatuur. De plant probeert zichzelf dan te koelen door het openen van de huidmondjes, waardoor de verdamping stijgt. Bij een hoge luchtvochtigheid zal deze afkoeling minder snel gaan. In de gesloten kas was de planttemperatuur ongeveer gelijk aan de kasttemperatuur bij een globale straling van 200 Watt/m² en een RV van 85%. Bij minder straling was de planttemperatuur meestal lager dan de kasttemperatuur. Bij meer straling was de planttemperatuur meestal hoger dan de kasttemperatuur. In Figuur 4 is een lineaire regressielijn weergegeven die dit verband met een R² van bijna 70% aangeeft voor de gesloten kas. In de open kas zorgde de lagere RV en de hoge convectie bij hoge instraling ervoor dat dit verband niet is aangetoond.



Figuur 4 - Verschil tussen de boven-planttemperatuur en de kasttemperatuur uitgezet tegen de globale straling

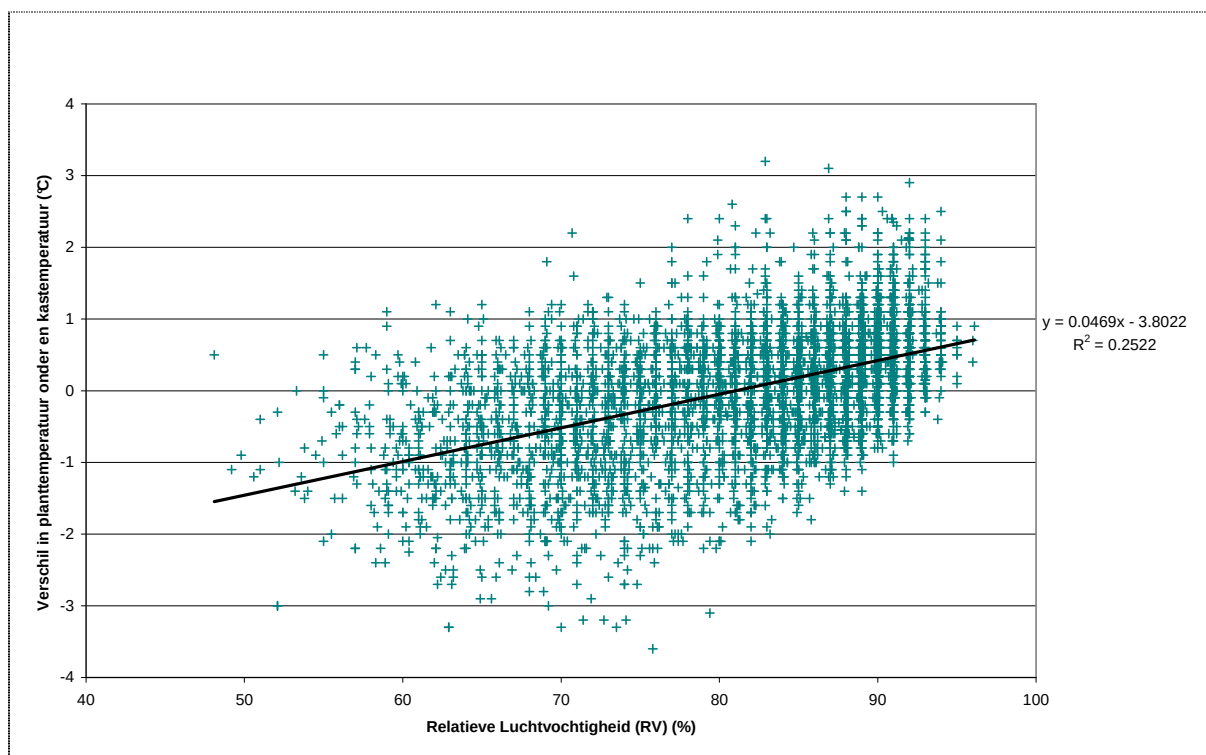
De onder-planttemperatuur min de kasttemperatuur, uitgezet tegen de hoeveelheid globale straling had juist een dalende regressielijn (zie Figuur 5). Hier is ook in de open kas een negatief verband tussen de globale straling en het verschil tussen de planttemperatuur en de kasttemperatuur aangetoond. In beide kassen is dit negatieve verband deels te verklaren doordat bij veel globale straling de kasttemperatuur bovenin de kas hoger was dan onderin de kas. De straling kwam van boven en de koeling kwam van het gewas en in de gesloten kas ook van de luchtslangen. In de open kas werd het verschil tussen de kasttemperatuur en de planttemperatuur versterkt doordat bij veel straling de RV lager en de verdamping hoger werd.



Figuur 5- Verschil tussen onder-planttemperatuur en de kasttemperatuur, uitgezet tegen de globale straling

In de open kas gold in het algemeen: hoe hoger de globale straling, hoe lager de RV. Gemiddeld daalde de RV 1% bij iedere 40 Watt/m² globale straling. Door de inkomende straling werd de kas opgewarmd en deze warmte werd afgevoerd door ventilatie. Doordat bij ventilatie de afvoer van voelbare warmte gepaard ging met de afvoer van latente warmte (vocht) daalde de RV in de kas. Als door de afvoer van latente warmte de RV en de kasttemperatuur daalt, maar planttemperatuur niet dan kan er sprake zijn van stress. De plant heeft dan onvoldoende water beschikbaar voor de verdamping en gaat de huidmondjes sluiten. In de klimaatdataset is niet gevonden dat de planttemperatuur in de open kas langdurig hoger was dan de kasttemperatuur bij een lage RV.

Als verondersteld wordt dat convectie aan de onderkant van het gewas nauwelijks beïnvloed werd door de geopende ramen dan had bij een hoge RV de planttemperatuur vrijwel gelijk moeten zijn aan de kasttemperatuur en bij een lage RV had deze lager moeten zijn door de verdamping van het blad. In Figuur 6 is het verschil tussen de onder-planttemperatuur uitgezet tegen de RV in de open kas. Hieruit blijkt dat het verschil tussen de planttemperatuur en de kasttemperatuur wel beïnvloed werd door de RV, en ook dat de planttemperatuur bij een hogere RV vaak hoger was dan de kasttemperatuur. Dit kan zijn veroorzaakt door straling van de verwarmingsbuizen tegen het gewas.



Figuur 6 – Relatie tussen het verschil tussen de onder-planttemperatuur en de kasttemperatuur uitgezet tegen de RV (periode maart - einde teelt) in de open kas

De gemiddelde temperaturen van half maart tot eind oktober zijn weergegeven in de volgende tabel:

Tabel 1 - Kas- en planttemperaturen per etmaal, overdag (straling > 5 W/m²) en 's nachts gemiddeld van maart tot en met oktober

	Kasttemperatuur		Planttemperatuur boven		Planttemperatuur onder	
	open	gesloten	open	gesloten	open	gesloten
Overdag	21,0	20,7	20,7	20,9	20,7	20,1
's nachts	16,7	16,7	16,1	15,8	17,3	17,2
etmaal	19,2	19,1	18,8	18,8	19,3	18,9

Het etmaalgemiddelde van de kasttemperatuur lag in de gesloten kas 0,3 °C lager dan in de open kas, maar de boven-planttemperatuur was in beide kassen gemiddeld even hoog. Opvallend is dat de boven-planttemperatuur in de gesloten kas overdag gemiddeld hoger is dan de kasttemperatuur, terwijl deze in de open kas juist lager is. 's Nachts is de boven-planttemperatuur in beide kassen lager dan de kasttemperatuur.

De boven-planttemperatuur was overdag in de gesloten kas iets hoger dan in de open kas. Dit werd versterkt op dagen met veel globale straling.

3.1.5 Twee zonnige dagen: 15 mei en 8 augustus

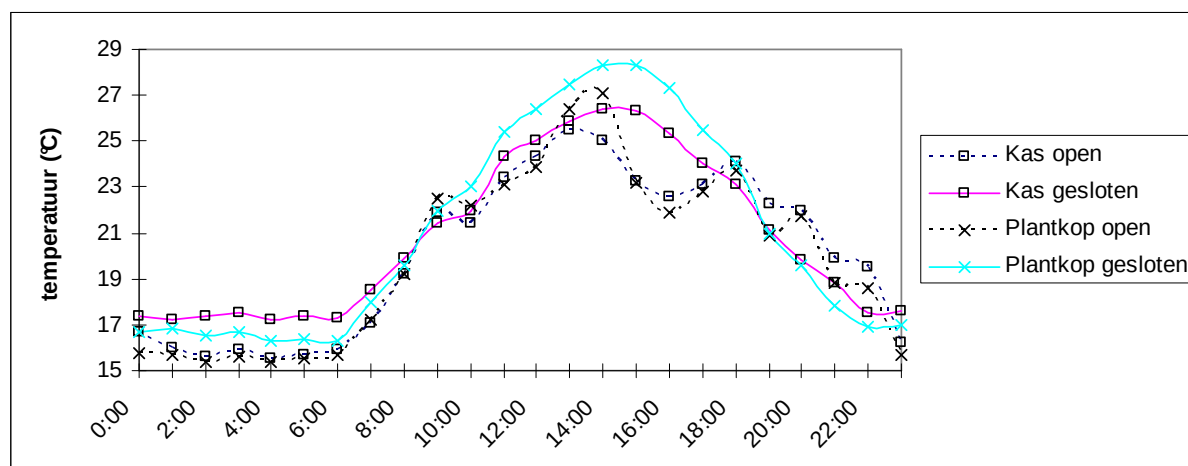
15 mei was een onbewolkte dag (globale straling tot 850 W/m²) met een buitentemperatuur van 10 °C 's nachts tot 16 °C overdag. 's Nachts was er geen wind en overdag liep de windsnelheid op tot 6 m/s. Door het regelmatige buitenklimaat kan op deze dag een goede analyse worden gehouden op het kasklimaat van beide kassen.

De RV in de gesloten kas werd 's nachts op 92% en overdag op 86% gehouden en in de open kas zakte de RV snel van 91% om 7:00 uur naar 67% om 11:00 uur. Het verloop van de kasttemperatuur ten opzichte van

de boven-planttemperatuur in beide kassen op 15 mei is weergegeven in Figuur 7.

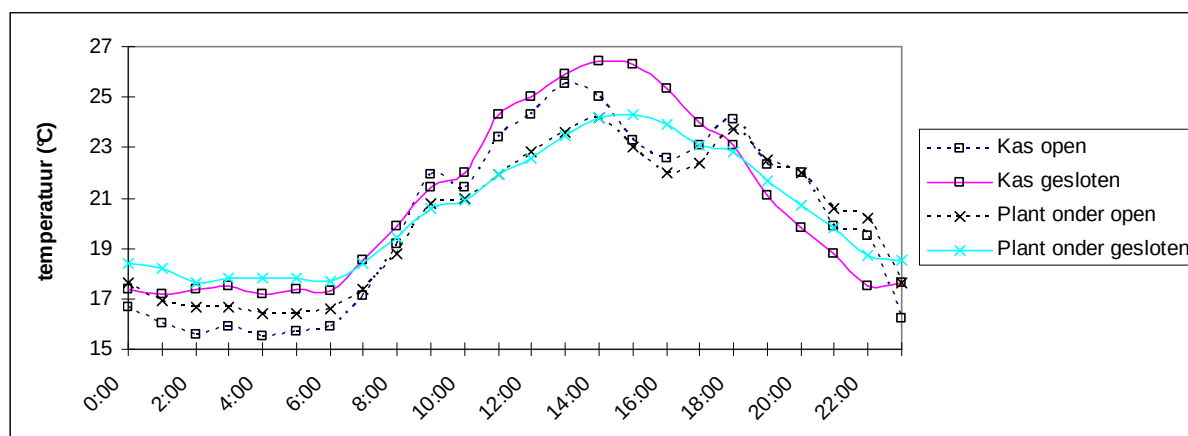
Aangezien in de gesloten kas overdag de RV vrijwel constant 86% was, was de planttemperatuur bij een globale straling van meer dan 200 Watt/m² daar hoger dan de kastemperatuur. In de open kas nam rond 14:00 uur bij een dalende globale straling de windsnelheid iets toe waardoor de RV laag bleef, en de boven-planttemperatuur verder daalde.

's Nachts werd op 15 mei in de gesloten kas een 1,1 °C hogere kastemperatuur aangehouden dan in de open kas. De boven-planttemperatuur was dan slechts 0,7 °C hoger in de gesloten kas. De onder-planttemperatuur verschilde 0,9°C. De RV in beide kassen verschilde 's nachts niet of nauwelijks.



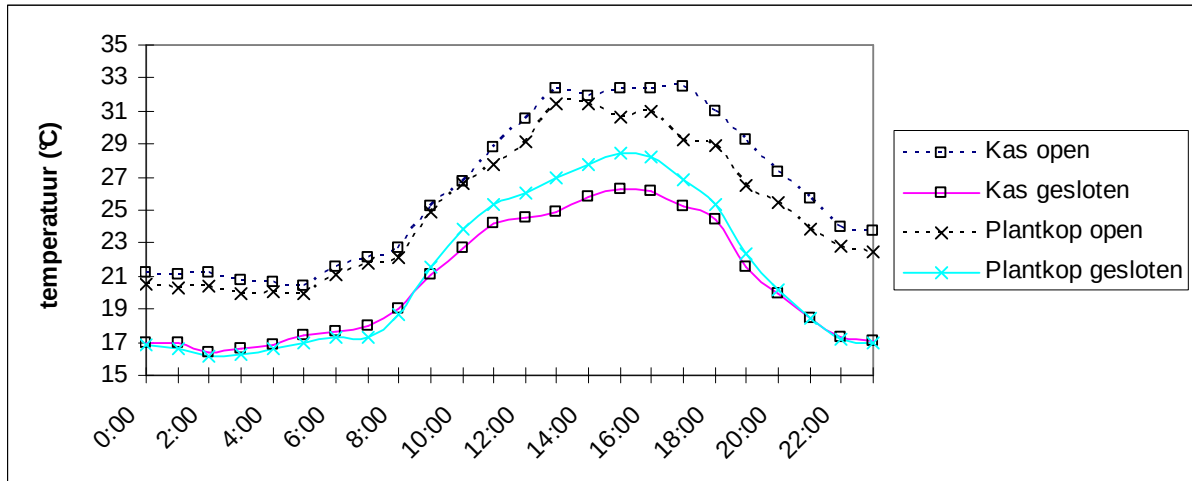
Figuur 7 - Kastemperatuur en boven-planttemperatuur op 15 mei 2004

De onder-planttemperatuur lag op 15 mei overdag in beide kassen lager dan de kastemperatuur (zie Figuur 8). Naar verwachting werd dit in de open kas veroorzaakt door de lage RV en in de gesloten kas door de koele lucht die de onderkant van het gewas deed afkoelen. In de nacht lag de onder-planttemperatuur in beide kassen hoger dan de kastemperatuur. Dit is waarschijnlijk veroorzaakt doordat in het donker de huidmondjes sluiten. Bovendien kon door de hoge RV het blad minder goed verdampen. Dat planttemperatuur in de nacht zelfs hoger was dan de kastemperatuur kan hier nog niet worden verklaard. Mogelijk was door de verwarming de onderkant het gewas meer opgewarmd dan de kastemperatuurmeter die in de buurt van de kop van de plant hing.



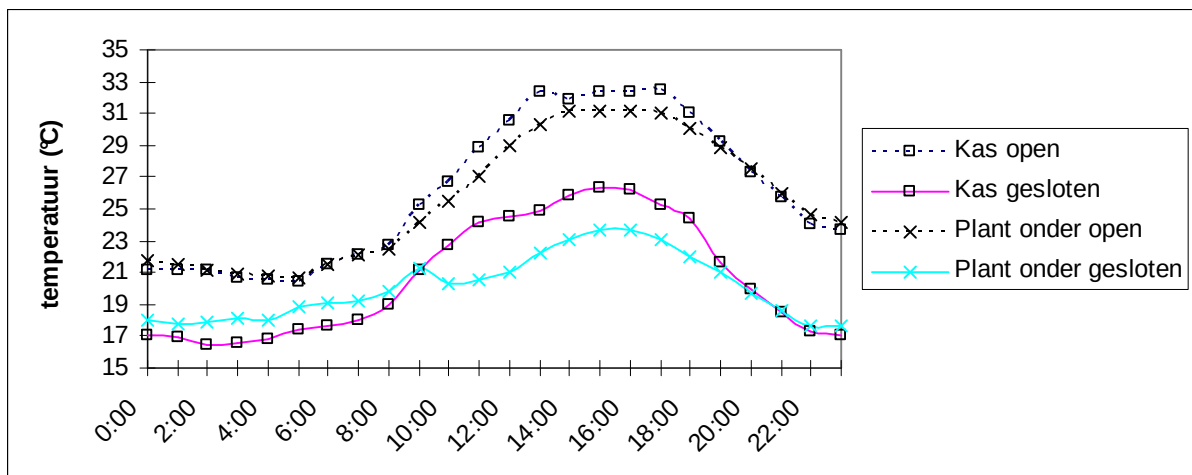
Figuur 8 - Kastemperatuur en de onder-planttemperatuur op 15 mei 2004

8 augustus 2004 was een zonnige warme dag, waarbij de buitentemperatuur 's nachts daalde tot 19°C en overdag steeg tot 30°C. Op deze dag was het in de open kas nauwelijks mogelijk om de kastemperatuur laag te houden. De RV zakte door het grote ventilatievoud (de ramen stonden 100% open) overdag naar 61%, waardoor het gewas veel kon verdampen. Dit is in Figuur 9 te zien door de lagere planttemperatuur ten opzichte van de kastemperatuur. De planttemperatuur in de open kas was echter veel hoger dan in de gesloten kas.



Figuur 9 - Kastemperatuur en boven-planttemperatuur op 8 augustus 2004

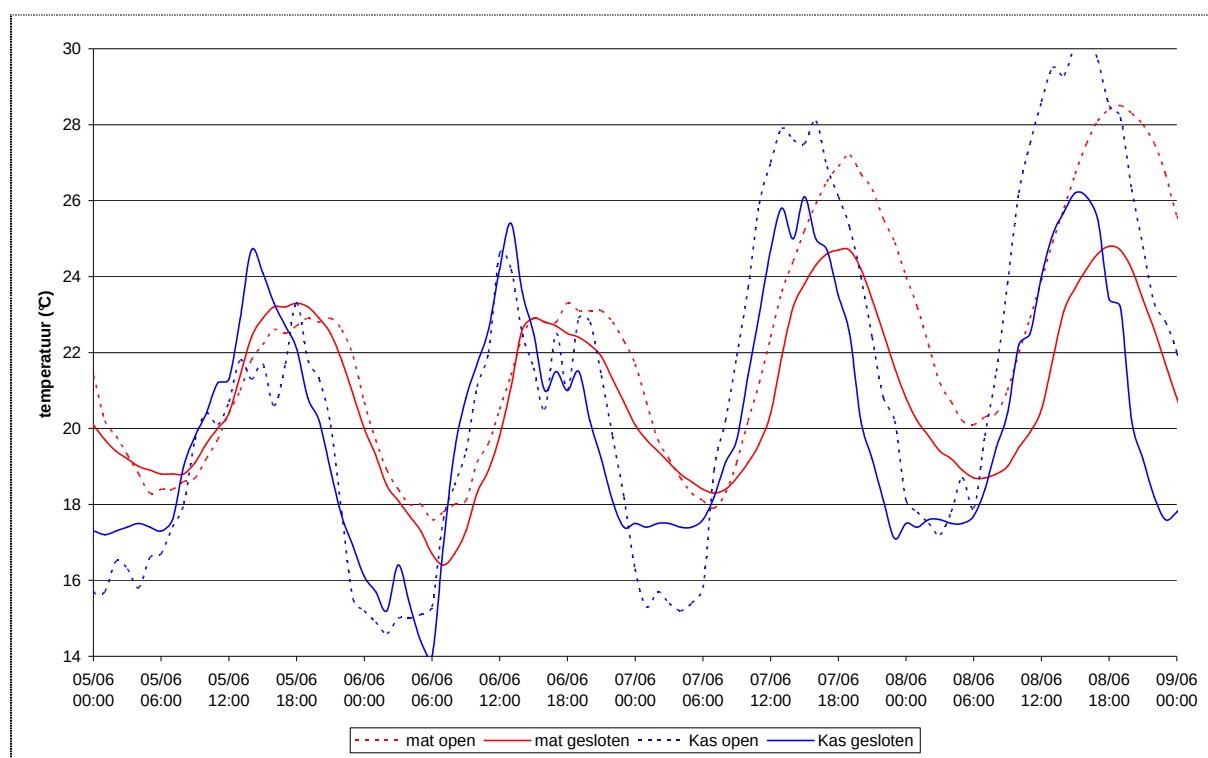
De onder-planttemperatuur was in de open kas overdag ook lager dan de kastemperatuur (zie Figuur 9), maar in de avond waren ze vrijwel gelijk. In de gesloten kas was duidelijk te zien dat overdag de onder-planttemperatuur lager en 's nachts iets hoger was dan de kastemperatuur. De lagere planttemperatuur overdag is te verklaren door de koele lucht vanaf de onderkant. De hogere planttemperatuur 's nachts kan veroorzaakt zijn door de naverwarming tijdens het ontvochtigen.



Figuur 10 - Kastemperatuur en onder-planttemperatuur op 8 augustus 2004

3.1.6 Mattemperatuur

Doordat in de gesloten kas de koeling dicht bij de mat plaatsvond, was de mattemperatuur 's zomers daar lager dan in de open kas. Van april tot en met oktober scheelde dit 0,7 °C en van mei tot september 0,9 °C. De gemiddelde kastemperaturen verschilden echter nauwelijks tussen beide kassen (zie Tabel 1), wat aangeeft dat de verticale temperatuurgradiënt in de gesloten kas hoger was dan in de open kas. Figuur 11 is te zien dat op twee koelere dagen (5 en 6 juni) de mattemperatuur en de kasttemperatuur in de gesloten kas niet veel verschilden van die in de open kas. Op de twee warme dagen daarna waren de kasttemperatuur en de mattemperatuur in de avond veel eerder gedaald naar de streefwaarden in de gesloten kas.

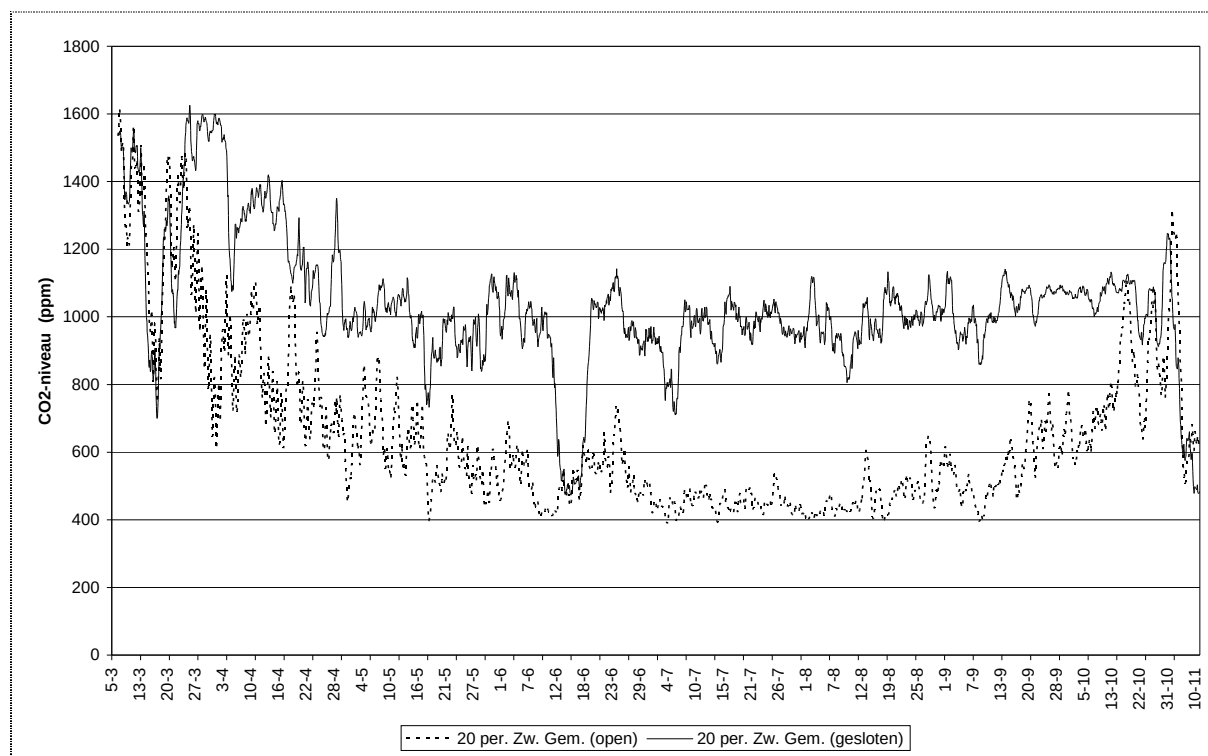


Figuur 11 - Kasttemperatuur en mattemperatuur gedurende vier etmalen in juni

3.1.7 CO₂

In het begin van de teelt werd een streefwaarde van 1500 ppm aangehouden. Later in het seizoen is dit in beide kassen gedaald naar 1000 ppm. Dit was in de gesloten kas vrijwel de gehele tijd haalbaar, behalve op de momenten dat in de gesloten kas wegens werkzaamheden aan het systeem niet gekoeld kon worden. In Figuur 12 is het CO₂-niveau tijdens daglicht (Globale straling >5 Watt/m²) gemiddeld per 20 uren weergegeven voor de open en de gesloten kas. Duidelijk is te zien dat het CO₂-niveau in de gesloten kas veel hoger ligt dan in de open kas. Alleen voor eind maart, na begin oktober en tijdens de verbouwing van het systeem in juni zijn de niveaus in beide kassen vrijwel gelijk.

Een globale berekening van hoeveel productie in de open en de gesloten kas gemist is door een lager CO₂-niveau dan 1000 ppm is opgenomen in Bijlage 6. Deze berekening schrijft meer invloed van het CO₂-niveau toe op de productie dan gemeld in het rapport over de praktijkproef bij PPO [Schoonderbeek et.al, 2003]. Uit dezelfde berekening blijkt dat het lagere CO₂-niveau tijdens de verbouwing tot 3% verlies aan fotosynthese heeft geleid. Deze berekeningen moeten echter nog worden bevestigd door meer gevalideerde groeimodellen.



Figuur 12 - CO₂niveau (Zwevend gemiddelde van 20 uren) van de uren met een globale straling van meer dan 5 Watt/m².

3.1.8 CO₂-balans

In de gesloten kas is continu een hoge CO₂-concentratie aangehouden, terwijl in de open kas deze concentratie niet is gehaald. Hoewel niet is gemeten hoeveel CO₂ er in beide kassen is gedoseerd kan hier wel een schatting van worden gemaakt met behulp van een CO₂-balans. Hierbij wordt de geschatte CO₂-opname van het gewas vergeleken met het geschatte ventilatieverlies.

Tabel 2 - Schatting van het CO₂-verbruik in beide kassen

	Eenheid	Open	Gesloten
Gem. binnenniveau overdag	ppm	490	1000
Gem. raamstand overdag	% luw	70	1,75
Gem. ventilatievoud overdag	per uur	38,0	1,1
CO ₂ verlies	kg/m ² .jr	27,3	4,2
Productie (vruchten)	kg/m ² .jr	50	55
DS in vruchten	kgds/m ² .jr	3,5	3,85
DS in gewas	kgds/m ² .jr	1,5	1,65
CO ₂ in drogestof	kg/m ² .jr	5,6	6,2
Ademhaling CO ₂ overdag	kg/m ² .jr	1,5	1,5
Totale CO ₂ -opname overdag	kg/m ² .jr	7,1	7,7
Totale CO ₂ -behoefte (overdag)	kg/m ² .jr	34,4	11,9

Uit de tabel blijkt dat de CO₂-emissie in de gesloten kas met 4,2 kg/m².jr kleiner is dan de 7,7 kg/m².jr opname van CO₂ door het gewas. In de open kas is deze verhouding 27,3 ten opzichte van 7,1 kg/m².jr. De CO₂-behoefte van de gesloten kas is volgens deze schatting ruim 65% lager dan van de open kas.

3.2 Teelt en gewasstand

3.2.1 Algemene indruk gewas

Bij iedere maandelijkse vergadering is uitgebreid ingegaan op de gewasstand. In maart bestond de indruk dat door de hogere RV in de gesloten kas het gewas wat weliger (vegetatiever) groeide. Bovendien was de afrijping traag. In maart en april trad veel Botrytis op door een ongelijke horizontale temperatuurverdeling en daarmee plaatselijk een hoge RV. Vooral langs het hoofdpad en langs de gevel ontstonden koude en natte plekken door onvoldoende luchtbeweging. Hier werden maatregelen voor genomen zodat in mei deze problemen grotendeels voorbij waren.

In april was in een hoek van de gesloten afdeling 8 een CO₂-niveau van meer dan 1700 ppm ontdekt. Dit was ontstaan door lekkage aan de CO₂-verdeelleiding en waarschijnlijk was dit hoge niveau daar al gedurende langere tijd aanwezig. De indruk bestond dat in deze hoek het gewas (mogelijk ook door te veel NO_x) minder goed groeide. Later werd nog een onderzoek door Hanwel uitgevoerd naar de aanwezigheid van NO_x, maar uit dit onderzoek kwamen geen eenduidige resultaten naar voren.

In april constateerde Themato dat de jonge vruchten snel uitgroeiden, maar langzaam afrijpten, wat werd verklaard door een grote verticale temperatuurgradiënt. Begin juni bestond de indruk dat het gewas in de gesloten kas nu juist erg generatief stond met een hoge plantbelasting. Dit werd ook wel een vroeg "zomergewas" genoemd. Ook was opgevallen dat het gewas sneller groeide en meer blad aanmaakte, zodat ook meer arbeid voor de gewasverzorging nodig was. De werkzaamheden in de gesloten kas werden over het algemeen als prettiger ervaren dan in de open kas. Vooral op warme dagen waren het oogsten en het bladplukken door de koele droge lucht aangenamer. De werkzaamheden hoger in de kas (dieven, draaien en laten zakken) waren bij zonnig weer aangenamer in de open kas.

In juni was bij de ingang van de demonstratieruimte meeldauw waargenomen in de gesloten kas. Er werd geconstateerd dat productie ongelijk verdeeld was over de verschillende plaatsen van de gesloten kas. Dit werd geweten aan het plaatselijk hoge CO₂-niveau in het voorjaar, de hogere temperatuur van afdeling 8 ten opzichte van afdeling 7 (beide gesloten) en door de plaatselijk opgetreden Botrytis. Sinds oktober werden rupsen een grote plaag in de gesloten kas. De indruk bestond dat motten in juni door de destijds wijd geopende ramen naar binnen komen. Aangezien motten ook door een klein kiertje naar binnen kunnen komen en ook 's nachts vliegen, kan de rupsenplaag echter niet alleen aan de verbouwing in juni worden toegewezen [G.J. Messelink, persoonlijke mededeling]. In de open kas was het rupsenprobleem kleiner.

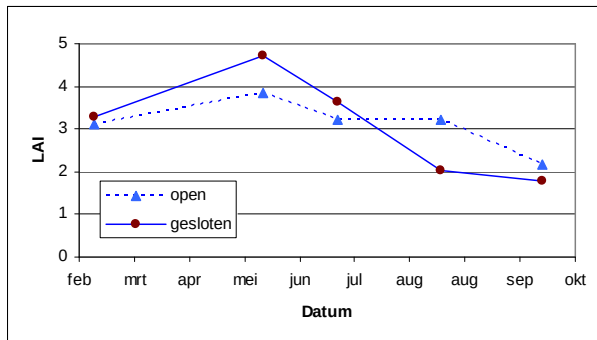
In september werd een te lage zetting geconstateerd, die mede veroorzaakt is door een te lage etmaaltemperatuur. Geconcludeerd werd dat het beter zou zijn om een hogere nachttemperatuur aan te houden, zodat zowel de zetting als de afrijping sneller zouden gaan. In oktober werd, kijkend naar het teeltseizoen van 2005 gezocht naar mogelijkheden om de planttemperatuur in de kop van de plant omlaag te krijgen. Boven 28-30°C wordt namelijk een afname van de fotosynthese verwacht. Bovendien kan een te hoge koptemperatuur de opbouw van de plant verstoren. Als oplossingsrichtingen werden genoemd het boven in de kas inbrengen van koude, het verhogen van de inblaassnelheid, het verhogen van de nachttemperatuur en het verlagen van de RV overdag.

Ook werd een hogere productie verwacht door een groeikrachtiger gewas. Dit zou gerealiseerd kunnen worden met enten of met een hogere mattemperatuur.

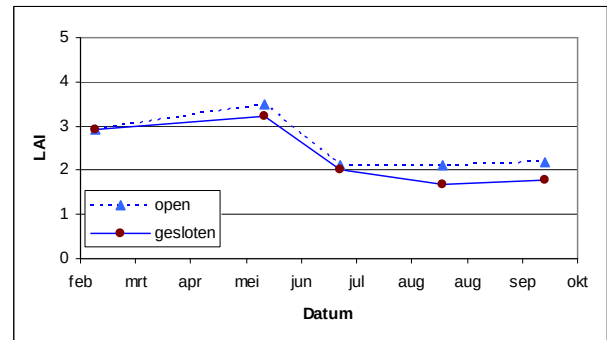
3.2.2 LAI en bladgewicht

Vijf maal werden zowel in de open als de gesloten kas bladmonsters en vruchtmonsters genomen om de LAI, de bladdikte en het drogestofgehalte van het blad en de vruchten te meten. Figuur 13 geeft aan dat de LAI in het voorjaar in de gesloten kas groter werd dan in de open kas. In de zomer en het najaar werd deze LAI lager in de gesloten kas. Deze metingen werden voor een deel beïnvloed door een verschil in de mate van bladplukken. Soms werd in de open kas meer blad geplukt en soms in de gesloten kas. Om een indruk te krijgen van de bladgrootte werden de eerste 18 bladeren apart gemeten. Hierbij gold het jongste blad langer dan 5 cm als het eerste blad. Deze zijn in Figuur 14 weergegeven. Er kwam naar voren dat bij alle metingen het blad in de gesloten kas iets kleiner was dan in de open kas. Dit is tegenstrijdig met wat

verwacht zou worden op basis van de hogere RV in de gesloten kas. Een hogere RV (bij voldoende aanwezigheid van Calcium (Ca) in het blad) stimuleert namelijk de celstrekking (zie Bijlage 5). Een gewas met een LAI van 2 ontvangt volgens recent praktijkonderzoek 8% [Kaarsemaker, persoonlijke mededeling] en volgens groeimodellen zelfs ongeveer 14% [Goudriaan, 1994] minder licht dan een gewas met een LAI van 3. De lage LAI na juni leidde heeft dan ook waarschijnlijk tot een minder optimale productie geleid.

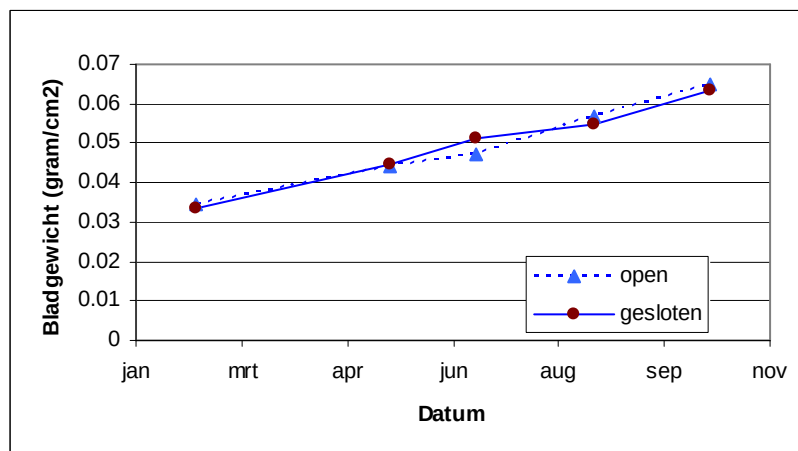


Figuur 13 - Verloop van de LAI in de open en de gesloten kas



Figuur 14 - Verloop van de LAI tot het 18^e blad in de open en de gesloten kas

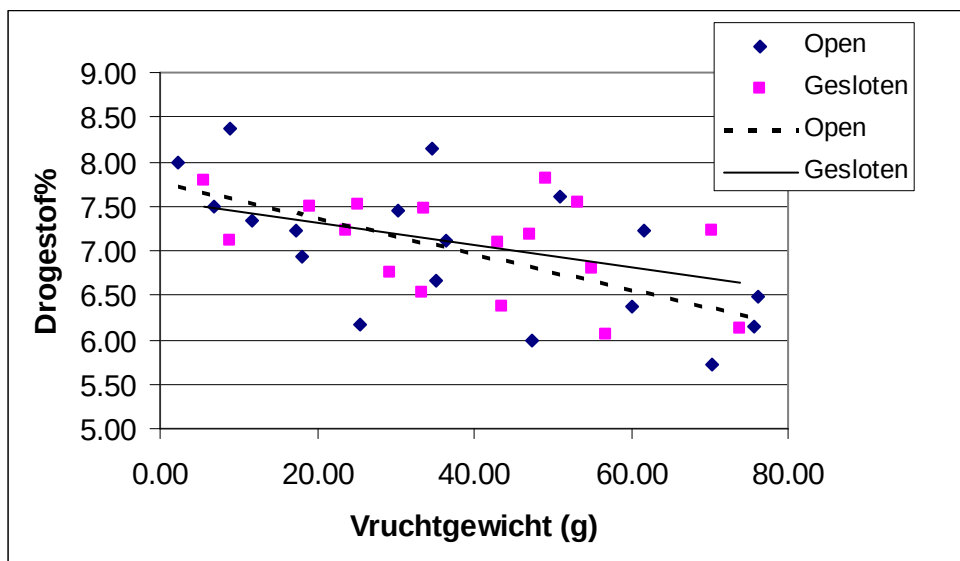
Bij de LAI-metingen is ook het bladgewicht per cm² gemeten. Hierbij is nauwelijks verschil aangetoond tussen de gesloten en de open kas. Het hoge CO₂-niveau in de gesloten kas gaf blijkbaar geen dikker blad. Wel is in Figuur 15 te zien dat gedurende het seizoen het gemiddelde bladgewicht toenam.



Figuur 15 – Het verloop van het bladgewicht in beide kassen.

3.2.3 Drogestof in vruchten

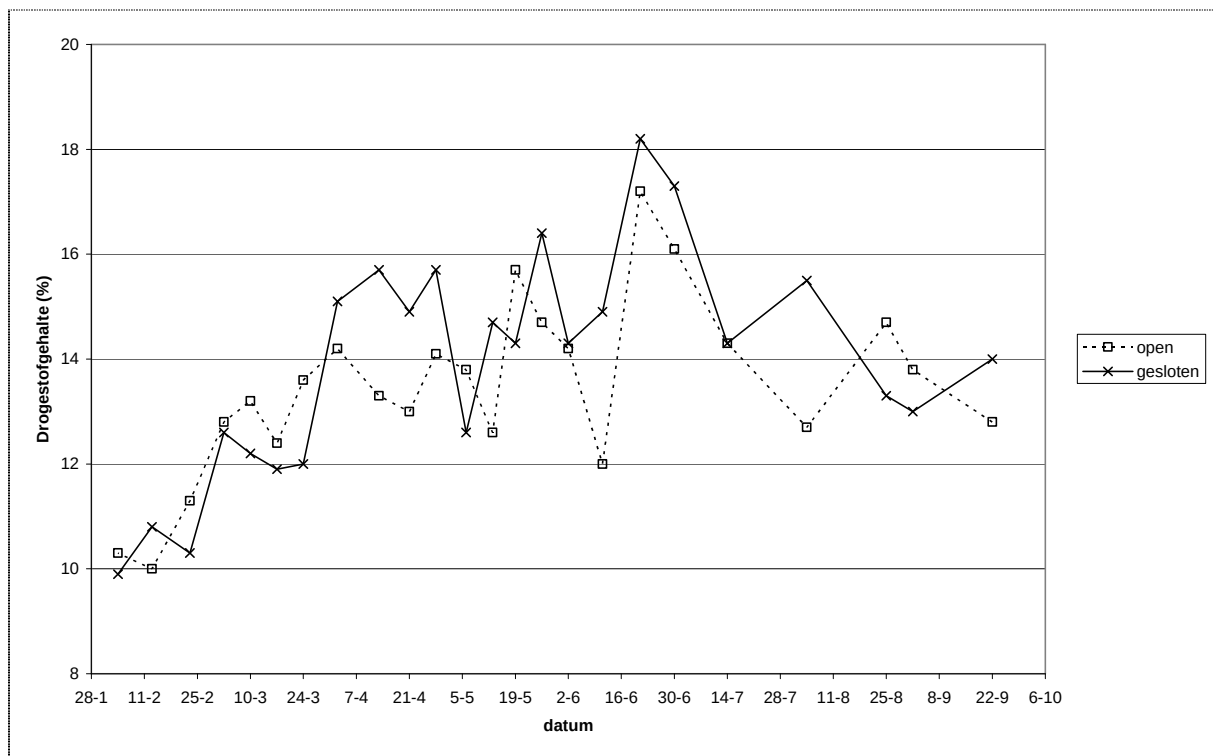
Tijdens de LAI metingen werden ook vruchten weggenomen en gemeten op versgewicht en drogestofgehalte. Hoe groter de vruchten, hoe lager het drogestofgehalte. Dit lijkt in de gesloten kas minder op te gaan dan in de open kas, want in de open kas hadden de kleine (jonge) vruchten een hoger drogestofgehalte en de grote (oudere) vruchten een lager drogestofgehalte (zie Figuur 16). Echter, de verschillen tussen de metingen binnen een kas waren groter dan de verschillen tussen beide kassen. Om aan te tonen of er een significant verschil tussen beide kassen is, zijn daardoor meer metingen nodig.



Figuur 16 – Drogestofgehalte van de vruchten als functie van het vruchtgewicht in de open kas en de gesloten kas.

3.2.4 Drogestof blad

Figuur 17 geeft aan dat het drogestofgehalte in het jong volgroeide blad (7^e blad langer dan 5 cm) in de gesloten kas vanaf eind maart gemiddeld hoger was dan in de open kas. Gemiddeld over alle metingen lag het drogestofgehalte in het jonge blad van de gesloten kas relatief 3,5% hoger dan in de open kas. Echter, door de grote schommelingen in de gemeten drogestofgehalten over het gehele seizoen is een significant verschil tussen de open en de gesloten kas niet aangetoond. Bij alleen de metingen vanaf begin april tot half augustus lag dit drogestofgehalte relatief 8,4 % hoger dan in de open kas. In deze periode is er wel een significant hoger drogestofgehalte in het jong volgroeide blad van de gesloten kas. Uit de metingen uitgebeeld in Figuur 18 en Figuur 19 blijkt geen duidelijk verschil in de drogestofgehalten van het oude blad. Alleen in het jongste blad in de zomer is het drogestofgehalte in de gesloten kas iets hoger (meer dan 16%). Een van de mogelijke oorzaken van een hoger drogestofgehalte in het jonge blad is de lage worteltemperatuur op de momenten met veel licht. Door een lagere worteldruk zou minder celstrekking plaatsvinden. Dit kan ook een verklaring zijn voor het kleinere blad in de gesloten kas (zie paragraaf 3.2.2)

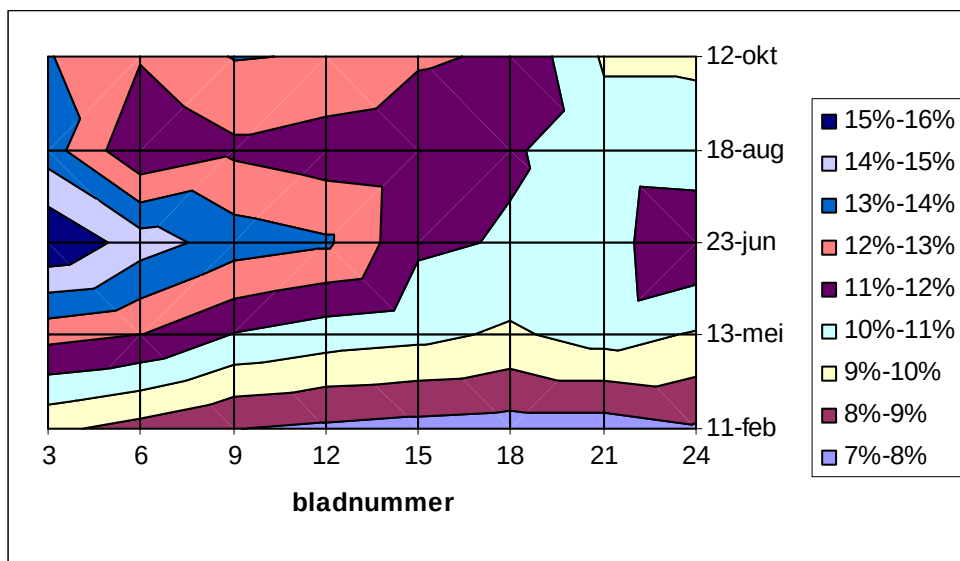


Figuur 17 - Drogestofgehalte van het jonge volgroeide blad (7^e blad langer dan 5 cm)

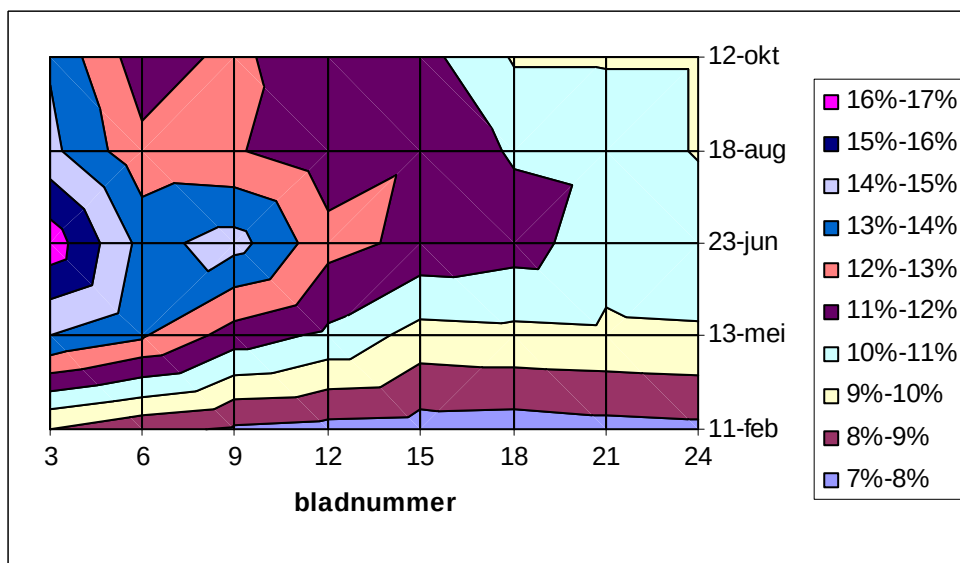
Bij de vijf gewasmetingen, waarbij alle bladeren van de plant werden gemeten, is het hoge drogestofgehalte in de oude bladeren niet aantoonbaar.

Opvallend is:

- in het seizoen met de meeste globale straling was het drogestofgehalte van het (jonge) blad het hoogst (zie ook paragraaf 3.3.4).
- in het oudere blad was het verschil in drogestofgehalte tussen de seizoenen kleiner;
- het drogestofgehalte was laag in beide kassen in februari;
- het drogestofgehalte was hoog in het jonge blad in de gesloten kas van mei tot oktober;
- het drogestofgehalte nam af naarmate het blad ouder werd, vooral in de gesloten kas;
- in oktober was ondanks de lage lichtintensiteit het drogestofgehalte hoog in de open kas.



Figuur 18 – Drogestofgehalte van het blad, uitgezet over de datum en het bladnummer in de open kas



Figuur 19 – Drogestofgehalte van het blad, uitgezet over de datum en het bladnummer in de gesloten kas

3.2.5 Schade en uitval

Gehoopt was, dat de gesloten kas met een betere klimaatbeheersing zou kunnen zorgen voor een lager uitvalpercentage door Botrytis. Door problemen met de temperatuurverdeling in de weken na de ingebruikname van de installatie trad toch Botrytis op. Botrytis op de koude plekken in het begin van de teelt kon een infectiebron zijn voor de rest van de kas gedurende de rest van de teelt. Door Botrytis was in zowel de gesloten kas als de open kas ten tijde van de laatste gewasmeting (12 oktober) volgens een schatting van Themato 10% van de planten uitgevallen.

In de gesloten kas was meer schade door rupsen dan in de open kas.

De gesloten kas bleef niet meeldauwvrij, maar in de open kas was de aantasting door meeldauw groter dan in de gesloten kas.

De hoeveelheid gebruikte chemische en biologische gewasbeschermingsmiddelen was voor Botrytis, Meeldauw, Spint, Witte vlieg en rupsen in de gesloten kas anders dan in de open kas (zie Tabel 3). Het middelengebruik tegen andere ziekten en plagen (zoals Pythium en mineervlieg) verschilde nauwelijks.

Tabel 3 - Gebruik van gewasbeschermingsmiddelen ten opzichte van de open kas

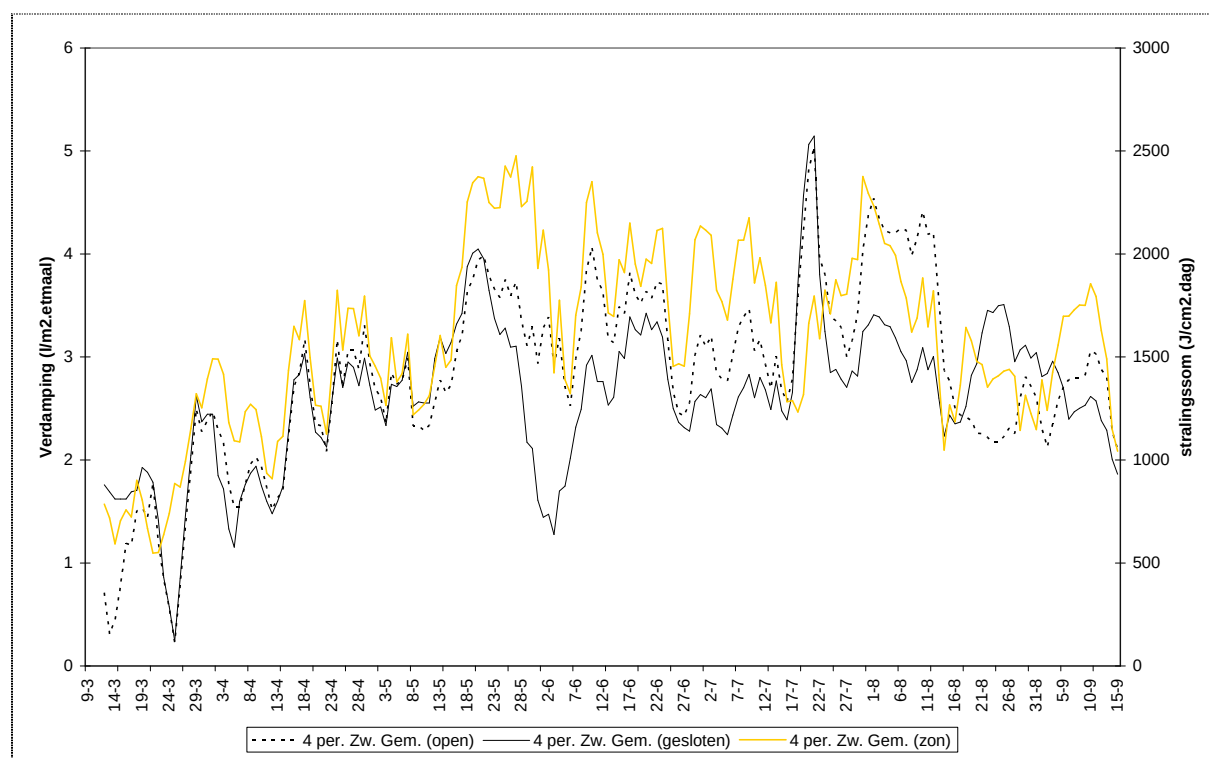
	Chemisch	Biologisch
Botrytis en Meeldauw	+9%	-
Spint	- 88%	-67%
Witte vlieg	- 36%	-70%
Rupsen	+32%	+20%

Met name de Botrytis-aantasting, ontstaan in het begin van de teelt, en de rupsen, binnengekomen in tijdens de verbouwing in juni, hebben een sterk verminderde behoefte aan chemische gewasbeschermingsmiddelen in de weg gestaan. In welke mate de aantastingen en de bestrijding ertegen schade hebben aangericht aan het gewas en de productie is niet gekwantificeerd.

3.3 Watergift en bemesting

3.3.1 Wateropname

De wateropname is berekend op basis van de gemeten watergift en de gemeten drain. Wegens meetfouten in de drainmeting is hierop een correctie uitgevoerd (zie Bijlage 3). Het resultaat van deze metingen en de correctie is weergegeven in Figuur 20.



Figuur 20 - Wateropname berekend aan de hand van de gemeten watergift en het geschatte drainpercentage en de globale straling (zon) als zwevend gemiddelde van 4 etmalen.

Uit Figuur 32 blijkt dat de wateropname in de gesloten kas lager was dan in de open kas. Tot half mei was

de wateropname in beide kassen vrijwel gelijk. Daarna was de wateropname in de gesloten kas 15% lager dan in de open kas tot half augustus. Uitzonderlijke perioden waren rond eind mei, waarbij de wateropname in de gesloten kas erg laag was, en op 18 en 19 juli, waarbij de gemeten watergift in beide kassen uitzonderlijk hoog was.

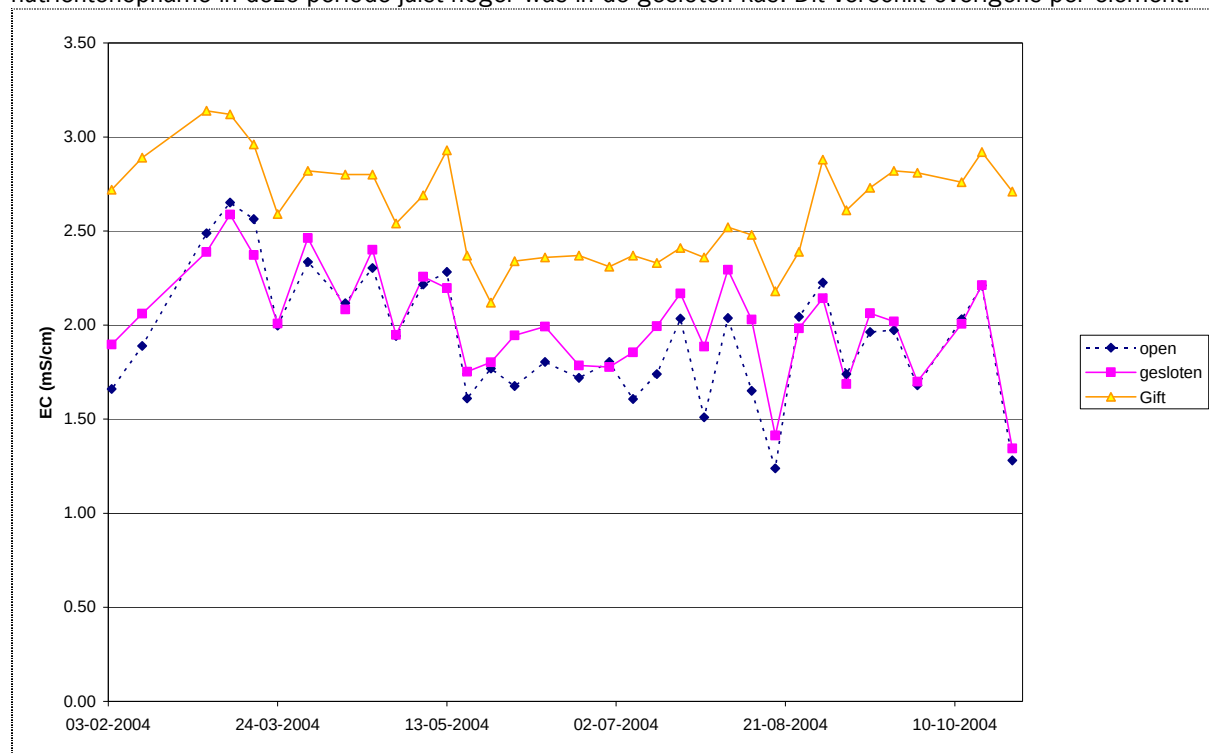
3.3.2 Condenswater

Op 2 april is een analyse gemaakt van de samenstelling van het condenswater. Gevreesd werd namelijk dat het condenswater door een te hoge koperconcentratie (Cu) onbruikbaar zou zijn. Aangezien gemeten concentratie van 0,62 $\mu\text{mol/l}$ onder de geadviseerde maximumwaarde van 1,1 $\mu\text{mol/l}$ en zelfs onder de streefwaarde van 0,8 $\mu\text{mol/l}$ lag is het condenswater gebruikt als aanvulling op het gietwater.

3.3.3 Nutriëntenopname

Door van ieder element de concentraties van de gift en de drain te vergelijken met het berekende drainpercentage (zie Bijlage 3) kan de concentratie van ieder element in het door de wortels opgenomen water worden bepaald. Dit is hier weergegeven voor de EC. De grafieken voor K, Ca, NO_3 , Mg en de pH zijn weergegeven in Bijlage 4.

Met de lagere wateropname in de gesloten kas tussen mei en augustus blijkt uit Figuur 21 dat de nutriëntenopname in deze periode juist hoger was in de gesloten kas. Dit verschilt overigens per element.



Figuur 21 - EC in het door de wortels opgenomen water in vergelijking met de EC van de gift.

De opnameconcentratie van kalium (K) ligt in het voorjaar boven de gift, terwijl deze na half mei voornamelijk in de open kas daalt ten opzichte van de gift. De K-opnameconcentratie in de gesloten kas lag vrijwel altijd hoger dan in de open kas. In de zomerperiode (19 mei - 18 augustus) was de opnameconcentratie van K zelfs 18% hoger in de gesloten kas dan in de open kas.

De opnameconcentratie van calcium (Ca) en magnesium (Mg) waren altijd lager dan de gift. Er is geen

duidelijk verschil aangetoond tussen de opname in de open kas en de gesloten kas.

Voor nitraat (NO_3) geldt dat de gift tussen half mei en half juli aan de lage kant was. Dit bleek geen gevolgen te hebben voor de opnameconcentratie, die op peil bleef. In de zomerperiode (19 mei - 18 augustus) was de opnameconcentratie van NO_3 17% hoger in de gesloten kas dan in de open kas.

De pH was in het drainwater van de gesloten kas altijd hoger dan in de open kas. Mogelijk kwam dit door de lagere mattemperatuur: minder wortelactiviteit, dus minder CO_2 -afgifte in het water. Een andere verklaring kan de hogere opname van anionen (vooral NO_3) zijn, maar aangezien de opname van kationen (vooral K) ook hoger was, is dit niet waarschijnlijk.

Overige elementen

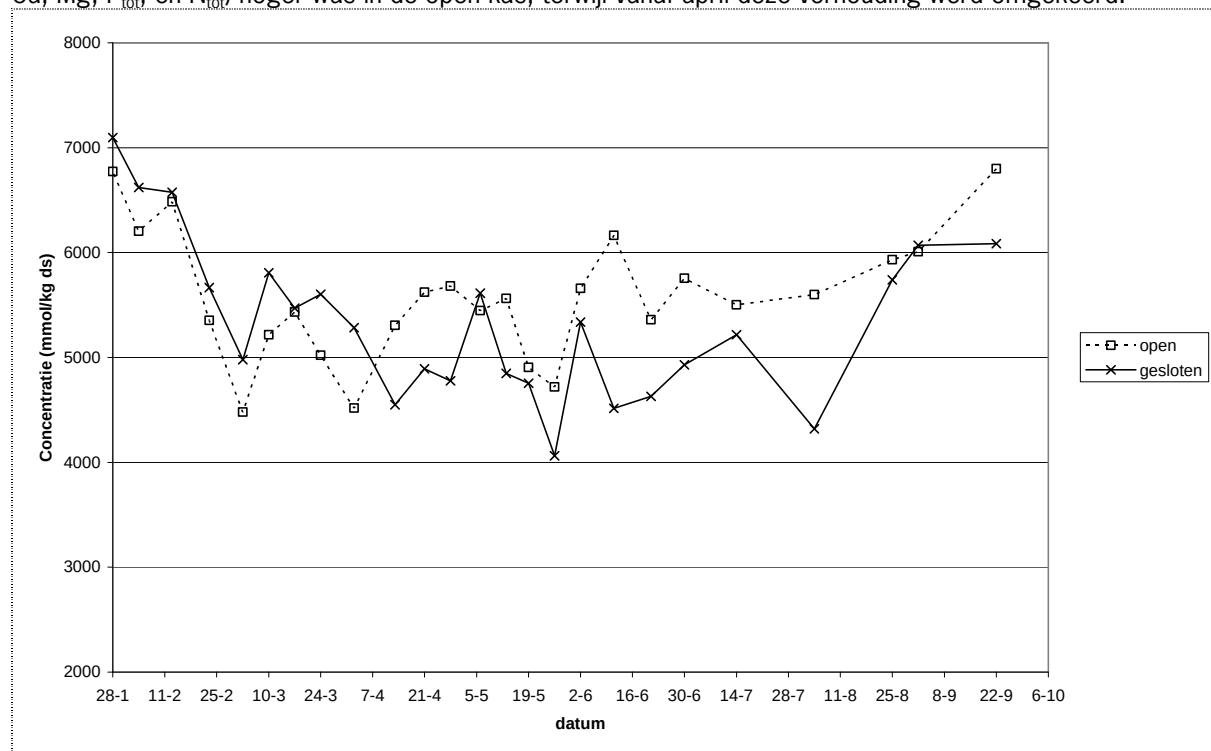
Fosfaat (P) gaf een hogere berekende opnameconcentratie in de gesloten kas aan, maar dit kan worden verklaard door de hoge pH in de gesloten kas. Fosfaat slaat namelijk neer bij een hoge pH, zodat deze minder in het drainwater wordt aangetroffen, maar ook niet door de wortels wordt opgenomen. Voor fosfaat is de schatting van de opnameconcentratie dan ook niet geschikt.

Bij de spore-elementen (Fe, Mn, Zn, B, Cu en Mo) is geen verschil aangetoond tussen de opname in de gesloten kas en de open kas. Over het algemeen was de opnameconcentratie gelijk aan de concentratie van het druppelwater. Uitzonderingen hierop waren de opnameconcentraties van mangaan (Mn) en borium (B). Voor Mn waren deze (mogelijk verkeerd berekend door het neerslaan van Mn) hoger dan de gift en voor B kwam de opnameconcentratie nauwelijks hoger dan $22 \mu\text{mol/l}$, onafhankelijk van de soms veel hogere gift.

Molybdeen (Mo) is slechts in zeer lage concentraties gedoseerd en daardoor in de analyses niet altijd teruggevonden.

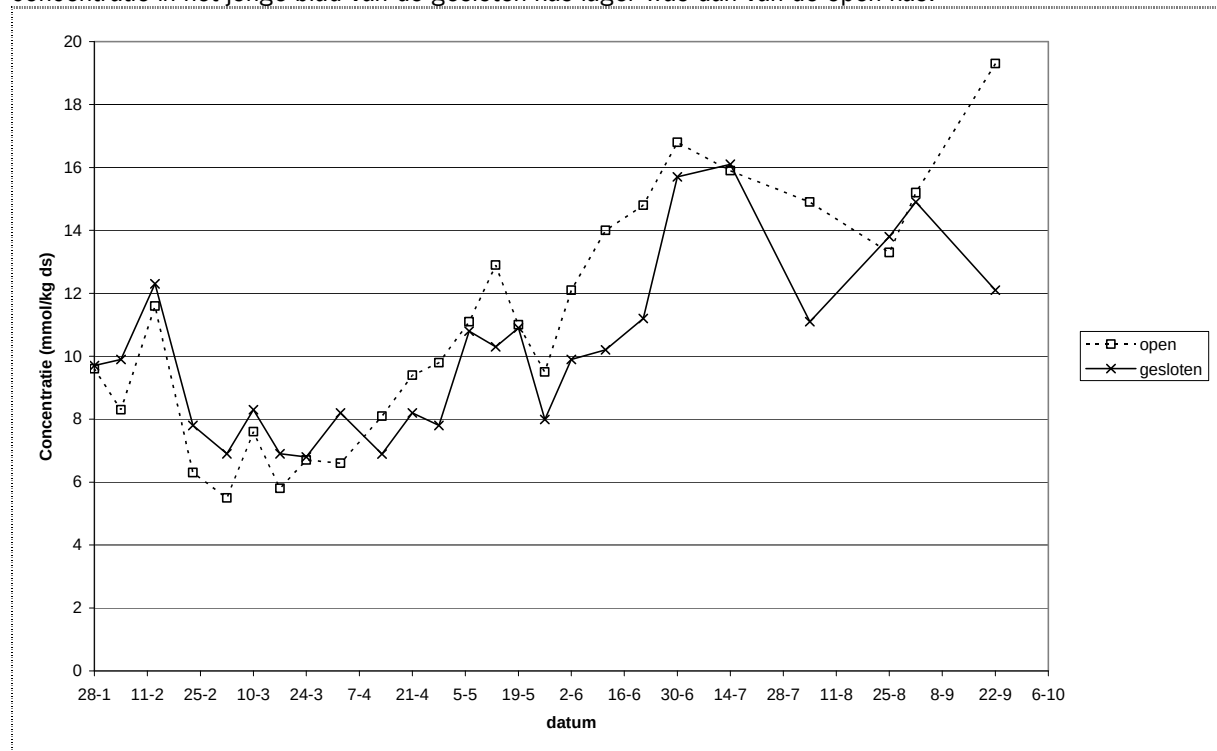
3.3.4 Concentratie in het jonge blad

Per kg drogestof lag de hoeveelheid nutriënten in het jonge blad lager in de gesloten kas dan in de open kas. In Figuur 22 is weergegeven dat in het begin van het seizoen de som van alle hoofdelementen (K, Na, Ca, Mg, P_{tot} , en N_{tot}) hoger was in de open kas, terwijl vanaf april deze verhouding werd omgekeerd.



Figuur 22 - Concentratie aan hoofd-elementen ($K + Na + Ca + Mg + P_{tot} + N_{tot}$) in het jonge blad

De concentratie aan spore-elementen in het jonge blad liep op in de loop van het seizoen. Dit gold voornamelijk voor de open kas (zie Figuur 23). Ook voor de spore-elementen gold dat na april de concentratie in het jonge blad van de gesloten kas lager was dan van de open kas.



Figuur 23 - Concentratie aan spore-elementen ($Fe + Mn + Zn + B$) in het jonge blad

Een van de aandachtspunten tijdens de teelt was de verhouding tussen Calcium (Ca) en Kalium (K). Als in de vruchten te weinig Ca aanwezig is ten opzichte van de K-concentratie dan stijgt het risico op neusrot. In de loop van de teelt daalde de K/Ca-verhouding in het jonge blad. Behalve in de maand februari verschilde de K/Ca-verhouding in het jonge blad nauwelijks tussen de open en de gesloten kas. In Bijlage 1 zijn van de gewasanalyses de nutriënten apart weergegeven.

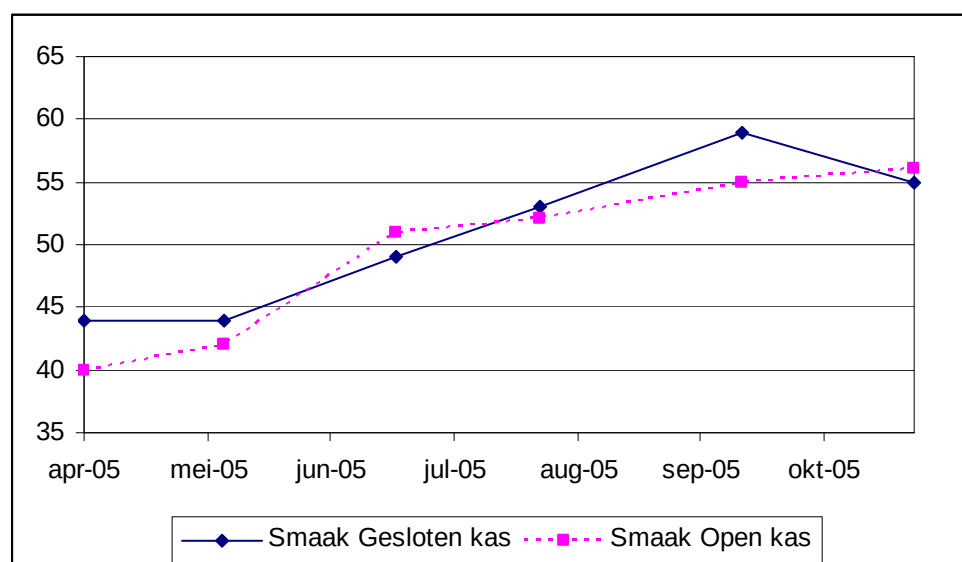
Hoewel in het begin van de teelt bij enkele monsters van jonge vruchten uit de gesloten kas een lagere Ca-concentratie (30 mmol/kg ds) werd gevonden leidde dit niet tot meer neusrot. Mogelijk dat het tijdig invoeren van een lage voornachttemperatuur dit heeft voorkomen.

3.3.5 Smaakmetingen

Zes maal heeft PPO de vruchten uit de open kas en de gesloten kas gemeten op smaak. De smaak wordt door vele factoren bepaald. Met de belangrijkste factoren, zoals de refractie en het percentage sap dat uit de vruchtwand kan worden geperst, kan PPO in met een hiervoor ontwikkeld model een maat voor de smaak bepalen. De resultaten staan in onderstaande tabel en Figuur 24.

Tabel 4 - Refractie R (°Brix), sap uit de vruchtwand geperst %Sap en de door het model berekende smaak van 2 monsters van verschillende oogstdata

Code	13 april	17 mei	28 juni	2 aug.	20 sept.	1 nov.
Smaak						
Gesloten kas	44	44	49	53	59	55
Open kas	40	42	51	52	55	56
Refractie						
Gesloten kas	4.4	4.5	4.9	5.2	5.8	5.5
Open kas	4.0	4.2	5.0	5.3	5.2	5.8
%Sap						
Gesloten kas	25	22	26	27	32	29
Open kas	28	25	33	24	31	29



Figuur 24 - Verloop van de door het model berekende smaak van twee monsters

Gemeten is dat in de loop van het seizoen de smaak steeds beter werd en dat de smaak van de tomaten uit de gesloten kas gemiddeld net iets hoger lag dan die van de vruchten uit de open kas. De verschillen waren hierbij zo klein dat alleen mag worden geconcludeerd dat de teelt in een gesloten kas zeker geen nadelige effecten voor de smaak oplevert.

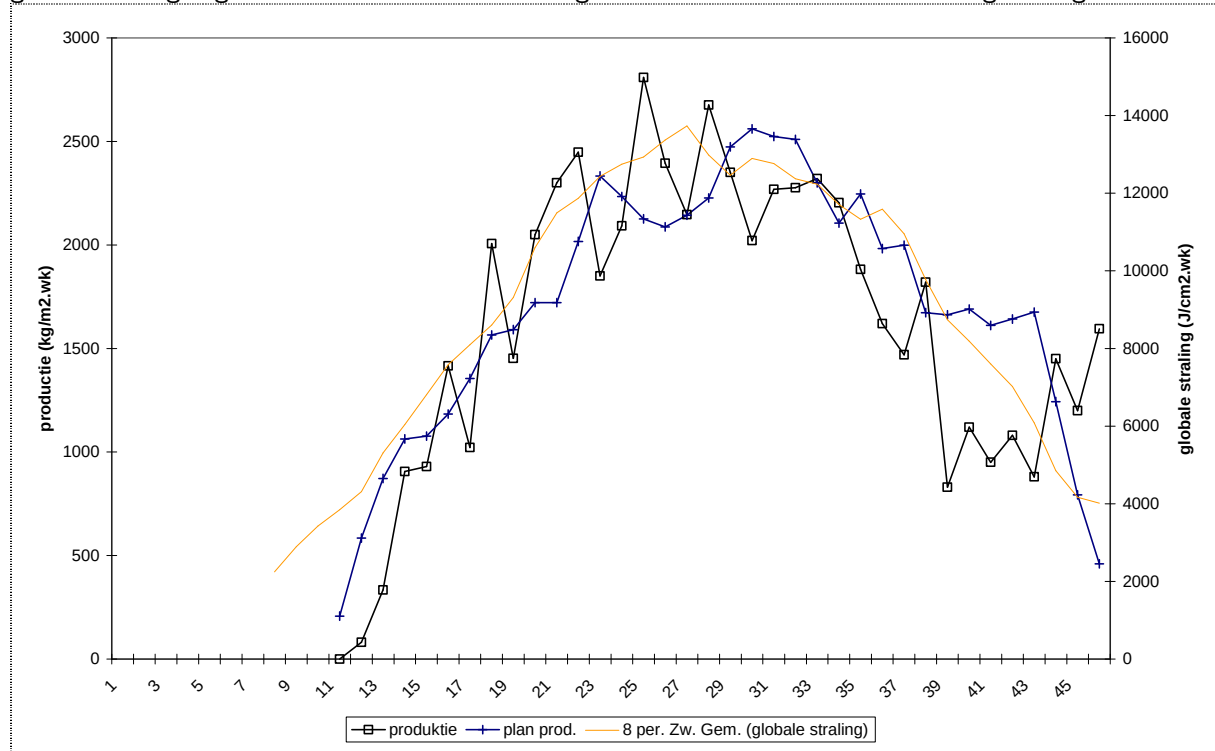
3.4 Productie

3.4.1 Teeltplan

Aan het begin van de teelt is door PPO meerdere teeltplannen opgesteld op basis van een combinatie van de productie bij Themato in 2003 en de productie zoals die in de gesloten kas bij PPO in 2002 is gerealiseerd. De variabelen in dit teeltplan waren het aantal stengels/m², de etmaaltemperatuur en het gewenst aantal vruchten per tros dat werd aangehouden. Van deze teeltplannen leek die van tabel 4 in Bijlage 2 met een geplande productie van ruim 61 kg/m² de meest perspectiefvolle. Hiermee zou een productieverhoging van 20% moeten worden behaald ten opzichte van de productie bij Themato van 2003.

3.4.2 Geplande en gerealiseerde productie

In Figuur 25 is het werkelijke verloop van de productie vergeleken met dit teeltplan en met het 8 weekse zwevende gemiddelde van de globale straling. De vergelijking met een 8 weekse zwevende gemiddelde globale straling is gedaan omdat een tomaat er ongeveer 8 weken over doet van zetting tot oogst.



Figuur 25 - Geplande en gerealiseerde productie in vergelijking met de straling.

Opvallend aan Figuur 25 is dat de gerealiseerde productie in het voorjaar iets voor liep op de planning en in het najaar fors heeft ingeleverd. Ook vergelijking met de 8-weekse gemiddelde globale straling is de gerealiseerde productie in het najaar laag.

De uiteindelijke productie lag in de gesloten kas 10% boven die van de open kas. Onduidelijk is, of de open kas als referentie kan worden gebruikt voor de productiestijging door de gesloten kas. Mogelijk is in de open kas in 2004 meer CO₂ per m² gedoseerd dan in andere jaren. Dit is echter niet gemeten.

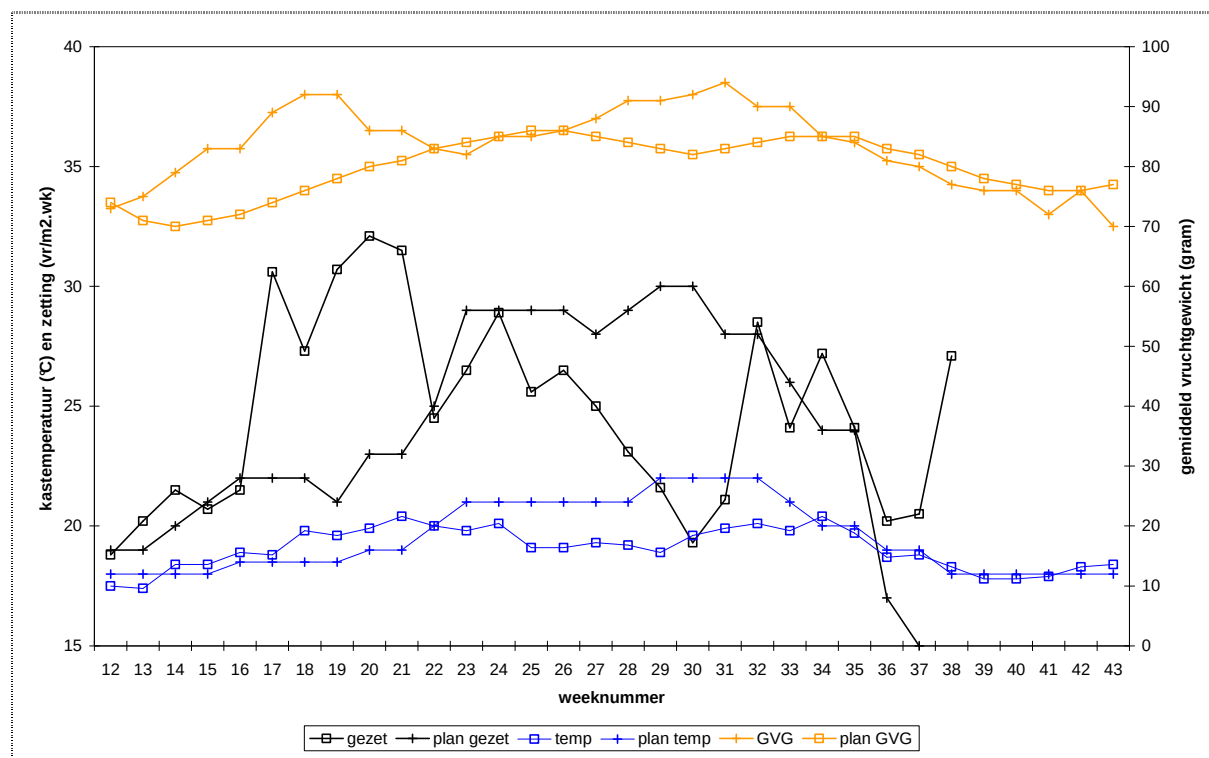
De productie lag 5% onder de planning. De planning was gebaseerd op productiegegevens uit 2003 en 2002. In 2004 bleek de hoeveelheid globale straling 8% lager te liggen dan 2003 en 4% hoger dan 2002.

3.4.3 Geplande en gerealiseerde temperatuur, zetting en vruchtgewicht

De verschillen tussen de geplande en gerealiseerde productie zijn deels te verklaren door de verschillen in de geplande en gerealiseerde kastemperatuur, zetting en gemiddeld vruchtgewicht. Uit Figuur 26 blijkt dat in het voorjaar (wk 12-21) het gemiddeld vruchtgewicht hoger was dan de planning. Mogelijk kwam dit door een tragere afrijping in de gesloten kas waar onderin het gewas een lagere temperatuur heerste dan de gemiddelde kastemperatuur. Mede door het hoge vruchtgewicht werd een hogere temperatuur aangehouden en deze hogere temperatuur droeg bij aan de hoge zetting in het voorjaar. Door de hoge plantbelasting daalde het vruchtgewicht weer.

Mede door de hoge plantbelasting werd in de zomer (wk 23 - 33) een lagere planttemperatuur aangehouden. Deze maatregel werd ook gemotiveerd door het lage CO₂-niveau in week 25 in combinatie met de lage afzetprijs voor tomaat. De lage temperatuur zorgde voor een zeer lage zetting, waardoor met een lagere plantbelasting het vruchtgewicht weer ging stijgen. In week 32 steeg de zetting door de lage plantbelasting. Toen na week 34 de temperatuur weer volgens de planning werd aangehouden kwam de

zetting zelfs boven de planning uit. Deze zetting kwam echter in het relatief donkere najaar niet meer goed tot volle wasdom, wat heeft geleid tot een laag vruchtgewicht.



Figuur 26 - Gerealiseerde en geplande kasttemperatuur, zetting en gemiddeld vruchtgewicht per week

4 Conclusies en aanbevelingen

4.1 Conclusies

De productie in de gesloten kas was 5% lager dan de planning. Oorzaken hiervan kunnen worden gezocht in:

1. de globale straling was in 2004 8% lager dan in 2003 en 4% hoger dan in 2002, de jaren waarop de planning was gebaseerd;
2. een te lage LAI (vanaf juli), ten gevolge van te klein blad;
3. de onregelmatige plantbalans;
4. de lager aangehouden temperatuur dan volgens de planning;
5. het optreden van Botrytis ten gevolge van een ongelijke temperatuurverdeling in het begin van de teelt;
6. perioden met een zeer hoog CO₂-niveau ten gevolge van een lekkende leiding in delen van de gesloten kas met mogelijk NO_x-schade als gevolg;
7. het niet altijd kunnen realiseren van een hoog CO₂-niveau, ten gevolge van storingen en aanpassingen aan het systeem.

De wateropname lag in de gesloten kas ongeveer 15% lager dan in de open kas. De opnameconcentraties van K en NO₃ lagen respectievelijk 18 en 17% hoger in deze periode. De opnameconcentraties van Calcium en Magnesium waren toen ook iets hoger in de gesloten kas. Rekening houdend met de ongeveer 10% hogere drogestofproductie in de gesloten kas was de nutriëntenopname per kg drogestof in de gesloten kas lager dan in de open kas. Mogelijk heeft dit bijgedragen het kleinere blad in de gesloten kas.

Gedurende de zomermaanden was het drogestofgehalte van het jonge blad in de gesloten kas hoger dan in de open kas. In het oude blad is dit niet aangetoond. Mogelijk is het kleinere blad in de gesloten kas veroorzaakt door minder bladstrekking door onvoldoende toevoer van water en nutriënten door een lage mattemperatuur. Deze hypothese wordt ondersteund door de lagere gemeten concentratie aan nutriënten per kg drogestof in het jonge blad van de gesloten kas.

Er is geen verschil in bladgewicht per cm² aangetoond tussen de beide kassen, ondanks de verwachting dat een hoog CO₂-niveau zou leiden tot dikker blad.

Er is geen verschil in smaak aangetoond tussen de tomaten uit de gesloten kas en de open kas. Ook is er geen verschil in de kwaliteit van de vruchten aangetoond.

In de open kas wordt de kastemperatuur vooral bepaald door de buitentemperatuur. De hoogste kastemperaturen kwamen dan ook voor in augustus. In de gesloten kas was het op die momenten mogelijk om de kastemperatuur laag te houden, al was op de momenten met veel instraling de planttemperatuur hoger in de gesloten kas hoger dan de kastemperatuur. Als de globale straling hoger werd dan 200 Watt/m², steeg in de gesloten kas de planttemperatuur boven de kastemperatuur uit. In de open kas is dit verband niet aangetoond.

Bij hoge globale straling en koeling in de gesloten kas werd de verticale temperatuurgradiënt groter dan in de open kas, waar met luchtramen werd gekoeld. Dit kan de volgende gevolgen voor de gesloten kas hebben gehad:

- minder wortelactiviteit door een lagere mattemperatuur;
- een hogere pH in de mat ten gevolge van minder wortelactiviteit (minder CO₂-afgifte in het wortelmilieu);
- een lagere nutriëntenopname ten gevolge van minder wortelactiviteit;
- tragere afrijping door een lage temperatuur onder in het gewas;
- snellere bladafsplitsing, zetting en uitgroei door een hoge temperatuur bovenin het gewas.

Als maatregelen tegen deze hoge verticale temperatuurgradiënt werden een hogere nachttemperatuur of een hogere inblaassnelheid met een hogere inblaasttemperatuur genoemd.

In de gesloten kas kwam veel minder spint en witte vlieg voor en werden hiertegen ook veel minder biologische gewasbeschermingsmiddelen (zowel biologisch als chemisch) gebruikt. Tegen Botrytis en rupsen werden in de gesloten kas juist meer middelen gebruikt. Botrytis kan in de toekomst worden voorkomen door de verbeterde temperatuurverdeling. Rupsen zijn niet 100% te voorkomen als de ramen niet volledig gesloten blijven.

Het condenswater uit de luchtbehandelingskasten had een Cu -concentratie die ruim onder de norm lag. Het condenswater kon onbeperkt worden gemengd met het gietwater.

De CO₂-behoefte was in de gesloten kas ongeveer 65% lager dan in de open kas. Dit percentage zou ongeveer 75% zijn indien de kas volledig gesloten was gebleven.

In het begin van de teelt in een gesloten kas dient de installatie zodanig te zijn ingericht dat storingsvrij kan worden geteeld, dat een goede horizontale temperatuurverdeling wordt gerealiseerd en dat de NO_x-concentratie in de kas kan worden gemonitord.

De productie in de gesloten kas lag 10% hoger dan de productie in de open kas. Dit is minder dan de 20% uit de doelstelling. Er moet dus nog veel worden verbeterd. Van de op pagina 35 genoemde oorzaken zijn vooral oorzaak 2, 3 en 4 punten van aandacht bij de planning van 2005:

2. De LAI zal worden gestimuleerd door het gebruik van geënte planten en het stimuleren van de wortelactiviteit en het verlagen van de verdamping in de avond.
3. De onregelmatige plantbalans zal worden tegengegaan door het aanpassen van de temperatuur (dag en nacht) aan de plantbelasting.
4. Het aanhouden van een lage temperatuur tijdens lage tomatenprijzen om zodoende de oogst uit te stellen is contraproductief gebleken en wordt niet meer toegepast.

Oorzaak 5,6 en 7 zijn veroorzaakt door kinderziekten die in 2005 naar verwachting niet of nauwelijks meer voorkomen. Aangezien in dit onderzoek nauwelijks analyses zijn gedaan naar de nutriëntensamenstelling van de vruchten, is onbekend in hoeverre de lagere nutriëntenopname naast een mogelijke kleiner blad ook direct de productie heeft verkleind.

Met een gesloten kas krijgt de teler veel meer stuurmiddelen ter beschikking. Naast het aanpassen van de kastemperatuur en de relatieve luchtvochtigheid gedurende de teelt verdienen de volgende maatregelen bijzondere aandacht:

<i>Maatregel</i>	<i>Mogelijke effecten</i>
Verhogen inblaasttemperatuur en inblaassnelheid	Verlagen planttemperatuur kop Versnellen afrijping Stimuleren wortelactiviteit
Hogere mattemperatuur	Stimuleren wortelactiviteit
Verdamping in de avond verlagen	Verhogen LAI door celstrekking blad Meer Ca naar de vruchten
Meer stengels aanhouden	Verhogen LAI
Hogere temperatuur overdag	Meer fotosynthese
Etmaaltemperatuur aanpassen aan gezette vruchten	Gelijkmatige plantbalans

4.2 Aanbevelingen

De optimale temperatuur bij veel licht en een hoge CO₂-concentratie voor de productie van een tomatengewas is niet bekend. De optimale temperatuur voor fotosynthese ligt rond de 29°C en deze moet

worden afgewogen tegen de effecten van temperatuur op de plantbalans. Gebruik van groeimodellen kan hierin meer inzicht geven.

Een hogere temperatuur bij een hoge globale straling heeft bovendien het voordeel dat met dezelfde hoeveelheid koelwater meer en hoogwaardiger warmte kan worden geoogst. Dit bespaart koelwater en het opgewarmde water zorgt voor een hogere COP van de warmtepomp wanneer het wordt gebruikt voor verwarming. Dit energie-aspect dient naast de bovenstaande groeimodellen in een bedrijfseconomische evaluatie te worden meegenomen om de ideale teelttemperatuur te bepalen.

Als CO₂ vanuit de WKK wordt gedoseerd, zijn NO_x-metingen van de kasluchtsamenstelling nodig om te bepalen hoeveel er minimaal moet worden geventileerd. Met 1 à 2% raamkier is ontvochtiging te realiseren terwijl het CO₂-niveau op peil kan blijven. Simulatie met klimaatmodellen kan inzicht geven over welke manier het meest efficiënt ontvochtigd kan worden.

Naast de temperatuur heeft ook de verdamping effect op de plantbalans en op de bladstrekking. Het verdient aanbeveling om te onderzoeken hoe de RV moet worden aangepast aan de hoeveelheid luchtbeweging om de beste plantgroei te realiseren.

Mogelijk zorgt de lagere nutriëntenopname per kg drogestof voor kleiner blad of een lagere productie. Maatregelen als een hogere mattemperatuur of enten zouden hierin verbetering kunnen aanbrengen.

Het drogestofgehalte van de bijna volgroeide vruchten leek in de gesloten kas hoger te liggen dan in de open kas, maar het aantal metingen (vijf metingen in beide kassen) van het drogestofgehalte in de vruchten was te klein om een significant verschil aan te tonen. Om aan te kunnen tonen in hoeverre het drogestofgehalte van de vruchten bepalend is voor de productieverhoging zijn meerdere metingen nodig.

De potentiële effecten van een hoger CO₂-niveau, luchtbeweging en een hogere RV op de productie zijn nog niet eenduidig. Het verdient aanbeveling om de verschillende groeimodellen met elkaar te vergelijken en te bepalen of er nog witte vlekken in deze groeimodellen moeten worden opgevuld.

Literatuur

Dieleman J.A. en H.F. de Zwart (2004) Optimaal besturen van temperatuur en CO₂ op basis van fotsynthese en energie. Plant Research International, Wageningen.

Dik, A.J. (1993) Vocht beïnvloedt schimmelgroei. Brochure luchtvochtigheid. Proefstation voor Bloemisterij en Glasgroente, Naaldwijk. pag 60-61.

Enoch, H.Z. en B.A. Kimball (1986) Carbon dioxide enrichment of greenhouse crops. Volume II. Physiology, yield and economics. CRC Press, Boca Raton, Florida.

Goudriaan, J. (1994). Using the expolinear growth equation to analyse resource capture. In: Resource capture by crops. Nottingham University Press, Nottingham UK, pag 99-110

Kreij, C. de, W. Voogt, A.L. van den Bos en R. Baas (1997) Voedingsoplossingen voor de teelt van tomaat in gesloten teeltsystemen. Proefstation voor Bloemisterij en Glasgroente.

Mc Neal, B.L., Oster, J.D., Hatcher, J.T., (1970). Calculation of electrical conductivity from solution composition data as an aid to in-situ estimation of soil salinity. Soil Science, 113 nr 6, 405-410

Nederhoff E.M. (1994) Effects of CO₂ concentration on photosynthesis, transpiration and production of greenhouse fruit vegetable crops. Proefschrift.

Schoonderbeek G.G., A. de Gelder, E.M.B. Heller en J.J.G. Opdam (2003) Telen in een gesloten tuinbouwkas; praktijkexperiment. Ecofys, Utrecht.

Bijlage 1 Gewasmonsters

Hoofdelementen open kas (mmol/kg drogestof)¹

	K	Na	Ca	Mg	P-tot	N-tot
Advies						
<i>Gebrek<</i>	600		200	150	100	1700
<i>richtwaarde min</i>	900		400	150	100	2000
<i>richtwaarde max overmaat></i>	1300	100	800	300	150	3000
Open kas						
22-09-2004	820	38.9	958.7	150.6	203	4628
01-09-2004	788	39.9	808.2	139.7	150	4083
25-08-2004	671	35.2	786.2	144.8	134	4161
04-08-2004	537	37.9	673.1	136.6	152	4063
14-07-2004	622	41	880.2	161	139	3659
30-06-2004	728	33.5	952.9	188.4	180	3672
21-06-2004	569	24.8	786.1	154.6	114	3711
11-06-2004	817	30.6	1029.2	190.6	155	3941
02-06-2004	705	26.6	953.4	204.6	133	3635
26-05-2004	601	25.9	781.9	132.3	100	3077
19-05-2004	700	26.9	726	131.6	114	3206
13-05-2004	726	22.9	787.8	132.6	139	3754
06-05-2004	671	20	860.9	170.2	140	3585
28-04-2004	723	17.9	776.7	156.3	114	3894
21-04-2004	742	19.8	840.8	158.3	129	3733
13-04-2004	617	19.9	786.4	149.3	129	3605
02-04-2004	549	<10	608.5	139.7	142	3068
24-03-2004	650	28.1	556.7	141.4	148	3497
17-03-2004	718	<10	678	169.5	169	3690
10-03-2004	788	<10	678	159.5	160	3422
03-03-2004	649	<10	439	129.7	125	3127
23-02-2004	760	17.9	388.3	157.3	171	3860
13-02-2004	1078	11	435	196.6	219	4545
04-02-2004	936	<10	537	215.6	207	4300
28-01-2004	1064	13.8	676.6	276	245	4498

¹ De waarden die buiten de richtwaarden vallen zijn vet afgedrukt.

Hoofdelementen gesloten kas (mmol/kg drogestof)

	K	Na	Ca	Mg	P-tot	N-tot
Advies						
<i>Gebrek<</i>	600		200	150	100	1700
<i>richtwaarde min</i>	900		400	150	100	2000
<i>richtwaarde max</i>	1300	100	800	300	150	3000
<i>overmaat></i>						
Gesloten kas						
22-09-2004	711	24.8	610.1	155	206	4378
01-09-2004	901	60.1	820.8	150.2	170	3967
25-08-2004	695	56.3	730.2	136.8	160	3962
04-08-2004	498	43.4	591.8	121.3	138	2926
14-07-2004	587	51.4	898	142.3	119	3420
30-06-2004	586	33.4	940.1	152.3	123	3094
21-06-2004	559	29.7	732.2	138.5	86	3083
11-06-2004	593	31.5	751.4	155.4	101	2882
02-06-2004	693	27.4	752.2	149.5	119	3595
26-05-2004	475	18	661.7	119.8	91	2697
19-05-2004	652	23.8	752.2	141.5	110	3076
13-05-2004	608	18.9	670.1	126.6	118	3307
06-05-2004	740	20	889.5	169.9	130	3663
28-04-2004	586	16.8	629.9	108.6	88	3349
21-04-2004	628	19.9	737.5	159.5	110	3237
13-04-2004	480	20	759.4	149.9	100	3039
02-04-2004	678	19.9	668	139.6	179	3598
24-03-2004	757	25.7	738.6	142.4	168	3772
17-03-2004	780	10	540.3	130.1	143	3866
10-03-2004	861	20	751.2	190.3	160	3825
03-03-2004	700	<10	520	149.9	148	3462
23-02-2004	847	16	448.8	181.9	186	3986
13-02-2004	927	13	548	205.6	193	4689
04-02-2004	1058	16	801.5	300.8	240	4204
28-01-2004	1038	17.9	881.4	306	270	4584

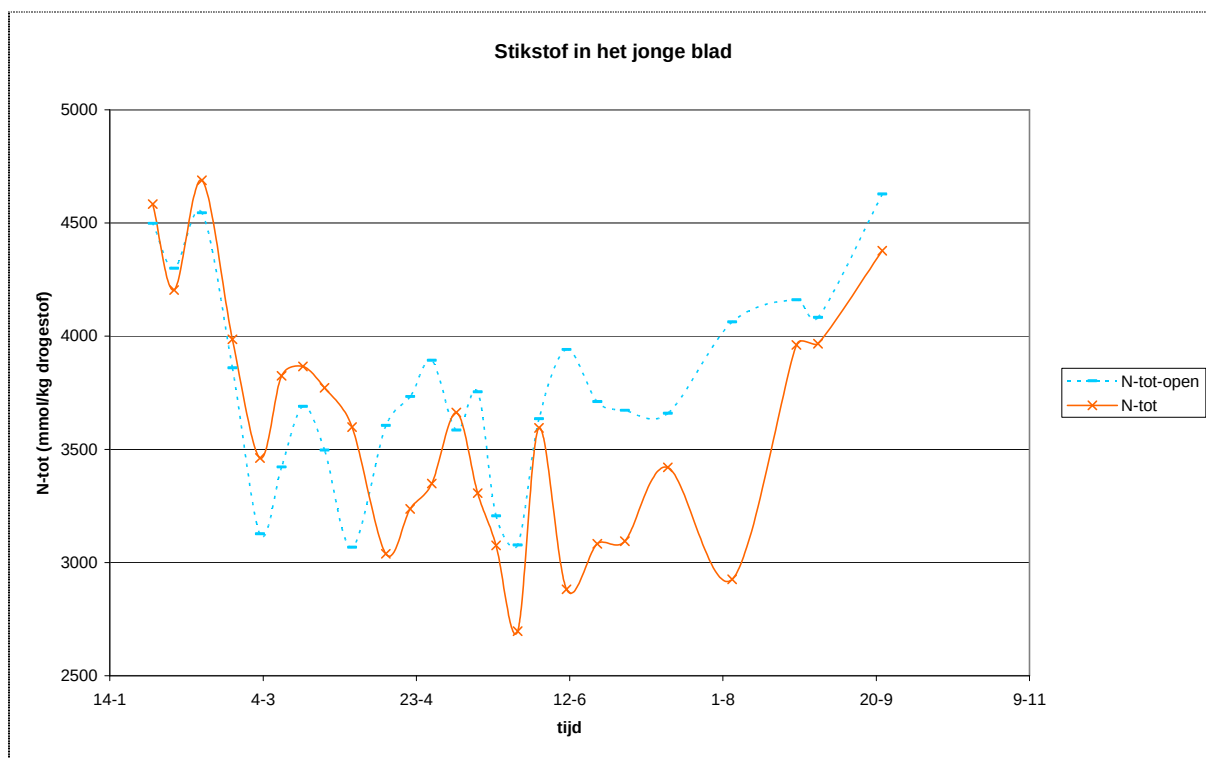
Spore-elementen en drogestofpercentage in open kas²

	Fe [mmol/ kg ds]	Mn [mmol/ kg ds]	Zn [mmol/ kg ds]	B [mmol/ kg ds]	Cu [μmol/ kg ds]	DS% [%]
<i>gebrek<</i>		0.5	0.5	3	100	
<i>richtwaarde min</i>	1.5	1	0.6	5	100	
<i>richtwaarde max</i>	2	3	0.7	7	200	
<i>Overmaat></i>		20	5	7		
Open kas						
22-09-2004	2.1	11	0.3	5.9	157	12.8
01-09-2004	1.6	8.8	0.3	4.5	180	13.8
25-08-2004	1.4	7	0.2	4.7	112	14.7
04-08-2004	1.6	8.4	0.2	4.7	140	12.7
14-07-2004	1.5	8.4	0.4	5.6	295	14.3
30-06-2004	2	9.2	0.3	5.3	240	16.1
21-06-2004	2.2	8	0.5	4.1	314	17.2
11-06-2004	1.6	7.2	0.2	5	254	12
02-06-2004	1.7	6.1	0.2	4.1	215	14.2
26-05-2004	1.2	5.3	0.1	2.9	120	14.7
19-05-2004	1.2	6.3	0.2	3.3	97	15.7
13-05-2004	1.7	6.7	0.3	4.2	151	12.6
06-05-2004	2	5.5	0.2	3.4	140	13.8
28-04-2004	1.5	5	0.2	3.1	94	14.1
21-04-2004	1.8	4.4	0.2	3	99	13
13-04-2004	1.7	3.9	<0.1	2.5	139	13.3
02-04-2004	1.2	3	<0.1	2.4	71	14.2
24-03-2004	1.6	2.6	0.2	2.3	79	13.6
17-03-2004	1.4	4	0.2	0.2	82	12.4
10-03-2004	1.6	4.1	0.2	1.7	130	13.2
03-03-2004	1.5	2.5	0.2	1.3	90	12.8
23-02-2004	2	2	0.3	2	113	11.3
13-02-2004	5.2	2	0.3	4.1	166	10
04-02-2004	2.1	1.7	0.3	4.2	134	10.3
28-01-2004	2.4	2.2	0.4	4.6	172	

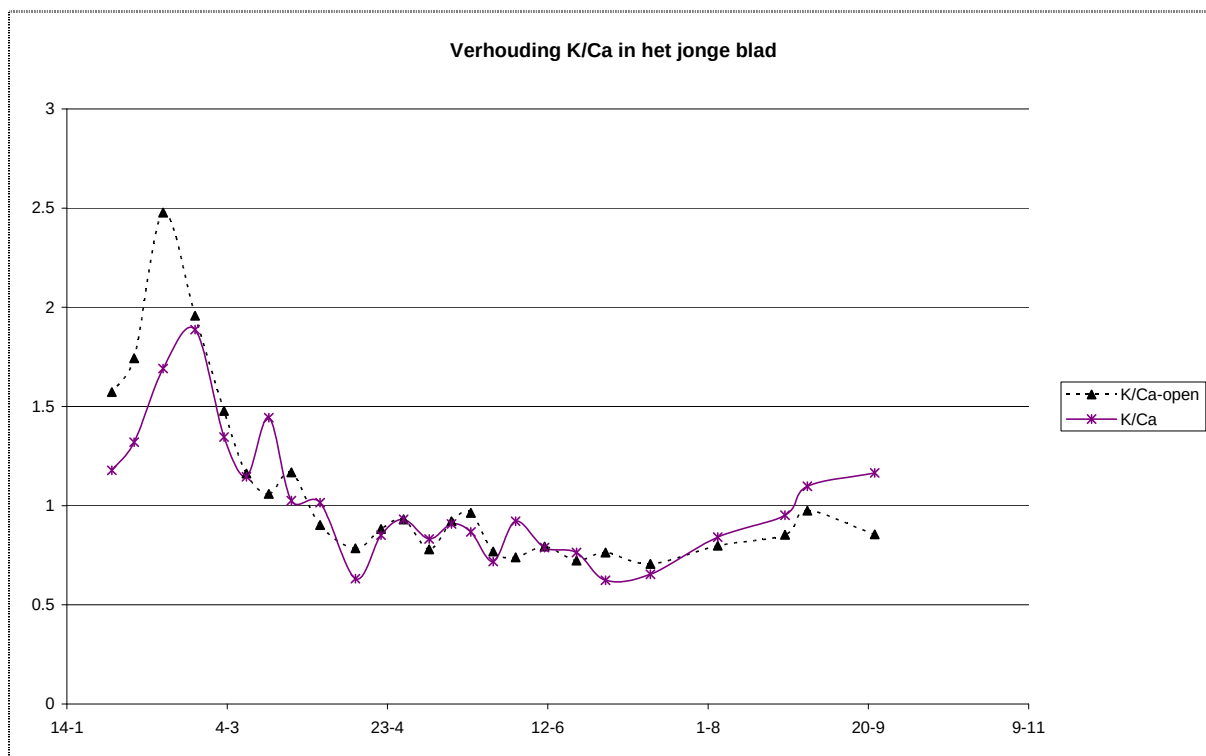
² Molybdeen is gedurende het hele jaar in het blad van beide kassen niet aangetoond (<10 μmol/kg ds)

Spore-elementen en drogestofpercentage in gesloten kas

	Fe [mmol/ kg ds]	Mn [mmol/ kg ds]	Zn [mmol/ kg ds]	B [mmol/ kg ds]	Cu [μmol/ kg ds]	DS% [%]
<i>gebrek<</i>		0.5	0.5	3	100	
<i>richtwaarde min</i>	1.5	1	0.6	5	100	
<i>richtwaarde max</i>	2	3	0.7	7	200	
<i>overmaat></i>		20	5	7		
Gesloten kas						
22-09-2004	1.5	6.6	0.3	3.7	155	14
01-09-2004	1.3	8	0.3	5.3	170	13
25-08-2004	1.1	7.4	0.2	5.1	113	13.3
04-08-2004	1.6	6	0.2	3.3	120	15.5
14-07-2004	2.5	8	0.2	5.4	318	14.3
30-06-2004	2.2	8.9	0.3	4.3	198	17.3
21-06-2004	1.5	5.5	0.2	4	351	18.2
11-06-2004	1.7	5.4	0.2	2.9	248	14.9
02-06-2004	1.5	5.5	0.2	2.7	166	14.3
26-05-2004	1.1	4.4	<0.1	2.4	136	16.4
19-05-2004	1.2	6.3	0.1	3.3	100	14.3
13-05-2004	1.5	5	0.2	3.6	149	14.7
06-05-2004	1.4	5.1	0.2	4.1	140	12.6
28-04-2004	1.3	4.1	0.1	2.3	84	15.7
21-04-2004	2.2	3.4	0.1	2.5	90	14.9
13-04-2004	1.1	3.6	<0.1	2.1	150	15.7
02-04-2004	1.5	3.9	0.1	2.7	78	15.1
24-03-2004	1.3	3	0.2	2.3	85	12
17-03-2004	1.3	3.8	0.2	1.6	93	11.9
10-03-2004	1.8	3.9	0.2	2.4	120	12.2
03-03-2004	1.6	3	0.2	2.1	102	12.6
23-02-2004	2.2	2.4	0.3	2.9	140	10.3
13-02-2004	4	1.8	0.4	6.1	163	10.8
04-02-2004	2.3	1.8	0.5	5.3	136	9.9
28-01-2004	2.6	2.1	0.5	4.5	154	



Figuur 27- Concentratie van N_{tot} in het jong volgroeide blad



Figuur 28 - Verhouding concentratie Kalium en Calcium in het jong volgroeide blad

Bijlage 2: Teeltplan gesloten kas Themato

Uitgangspunten en werkwijze

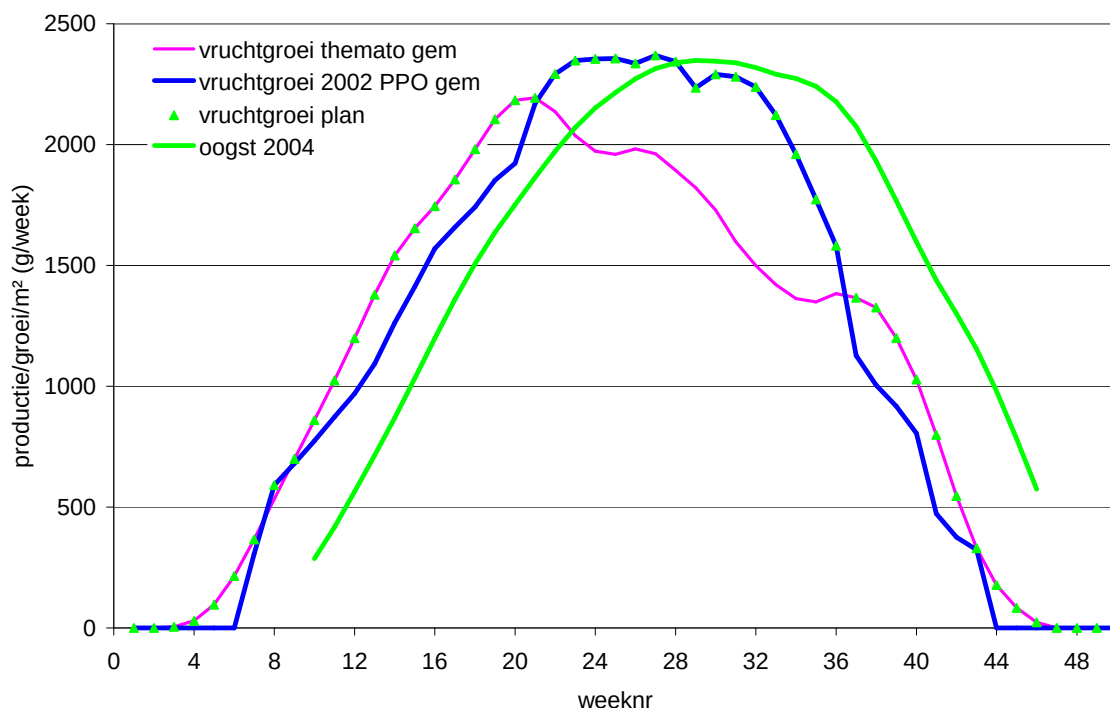
- Op basis van de proefresultaten met de gesloten kas in 2002 en de gerealiseerde productie in de traditionele kas van Themato in 2003 is een jaarplan gemaakt van de verwachte vruchtgroei in een jaar met gemiddelde globale straling (figuur 1)
- De cijfers van PPO hebben betrekking op het ras “Aromata” en zijn gerealiseerd in een kas met naar schatting ca. 5% minder lichtdoorlatenheid van het dek dan de Thematokas in 2004. Voor de berekening is aangenomen dat “Celine” iets minder productief is dan “Aromata” maar dat het productieverschil wordt goedgehaakt door de 7% extra licht (5/70%) in de kas dat voor de plant beschikbaar is.
- Het streefgewicht van de vruchten is 85 gram.
- De stengeldichtheid is niet gevarieerd.
- Op basis van een aantal teeltstrategieën met variatie in teelttemperatuur en aantal vruchten per tros is de verwachte vruchtgroei omgerekend naar oogstbaar product (tabel 2). Vier kansrijke teeltstrategieën zijn meer in detail weergegeven in de tabellen 3 t/m 6.

Conclusie met betrekking tot teeltplan temperatuur en tros lengte:

- Tot week 20 is de tros lengte en de gerealiseerde temperatuur vergelijkbaar met de traditionele teelt. Vanaf dat moment zijn aangepaste temperaturen en/of tros lengtes nodig om voldoende zetting te realiseren.
- Bij een maximale tros lengte van 8.5 vruchten/tros en ongewijzigde temperatuur wordt een vruchtgewicht gerealiseerd van maximaal 85 gram (tabel 4).
- Bij een maximale tros lengte van 8 vruchten/tros en ongewijzigde temperatuur loopt het vruchtgewicht op tot 90 gram en bevindt zich langere periode boven de 85 gram (tabel 3).
- Bij een maximale tros lengte van 8 vruchten/tros en iets hogere temperatuur (max 23°C) loopt het vruchtgewicht vier weken iets op tot 88 gram (tabel 5).
- Bij kortere tros lengten tot 7.5 vruchten/tros is een temperatuur nodig van 24(°C) om voldoende vruchten te kunnen aanmaken(tabel 6).
- De teeltplannen in tabel 4 en 5 bieden het meeste perspectief voor een succesvolle teelt. Indien de trossen sterk genoeg zijn en voldoende lengte bezitten komt teeltplan 4 in aanmerking. Als de trossen korter worden of een hogere teelttemperatuur vanuit technisch oogpunt wenselijk is komt plan 5 in aanmerking.

Tabel 1: Verwachte productie in gesloten kas bij gemiddelde globale straling.

week	Productie (g/week)	Gemiddeld vruchtgewicht (g/vrucht)	Geoogste vruchten (aantal/m ²)	Uitgroeiduur (dagen)	Etmaal temperatuur (°C)	bloei snelheid	stengels aantal/m ²
1					18.2		
2					18.0	0.91	
3					18.0	0.89	0.8
4					18.0	0.88	2.0
5					18.0	0.88	2.5
6					18.0	0.87	2.5
7					18.0	0.86	2.5
8					18.0	0.86	2.5
9					18.0	0.85	2.9
10	287	76	4	61	18.0	0.85	3.3
11	416	79	5	61	18.0	0.84	3.3
12	564	68	8	61	18.0	0.83	3.3
13	713	72	10	62	18.0	0.83	3.3
14	870	70	12	64	18.0	0.82	3.3
15	1033	65	16	65	18.0	0.81	3.5
16	1198	63	19	65	18.5	0.81	3.8
17	1360	69	20	65	18.5	0.83	3.8
18	1507	70	22	64	18.5	0.83	3.8
19	1636	73	22	64	18.5	0.82	3.8
20	1752	77	23	63	19.0	0.81	3.8
21	1864	85	22	64	19.0	0.83	3.8
22	1972	85	23	64	20.0	0.83	3.8
23	2071	84	25	58	21.0	0.88	3.8
24	2152	84	25	55	21.0	0.92	3.8
25	2215	86	26	55	21.0	0.91	3.8
26	2273	86	26	55	21.0	0.91	3.8
27	2314	86	27	54	21.0	0.90	3.8
28	2338	88	27	53	21.0	0.89	3.8
29	2348	84	28	52	22.0	0.89	3.8
30	2345	85	28	49	22.0	0.93	3.8
31	2338	88	27	49	22.0	0.93	3.8
32	2318	86	27	50	22.0	0.92	3.8
33	2291	89	26	48	21.0	0.91	3.8
34	2273	85	27	48	20.0	0.86	3.8
35	2241	84	27	48	20.0	0.80	3.8
36	2178	84	26	52	19.0	0.80	3.8
37	2075	86	24	55	19.0	0.74	3.8
38	1932	88	22	58	18.0		
39	1767	87	20	58	18.0		
40	1597	84	19	62	18.0		
41	1438	83	17	65	18.0		
42	1300	77	17	67	18.0		
43	1154	74	16	67	18.0		
44	980	79	12	67	17.0		
45	782	72	11	70	17.0		
46	0	0	0	0	17.0		



Figuur 1: Berekende vruchtgroei open kas themato(2003) voor een gemiddeld jaar en de berekende vruchtgroei in de gesloten PPO kas (2002) voor een gemiddeld jaar. Op basis van de “vruchtgroei plan” is een oogstverwachting gemaakt.

Tabel 2: Berekende relaties tussen aantal vruchten, gemiddeld vruchtgewicht, temperatuur en de lengte van de tros van een aantal varianten met als uitgangspunt de verwachte vruchtgroei van tabel/figuur 1.

Variant	b001	b002	b003	b004	b005	b006	B007	b008	b009	b010
Totaalgewicht(g/m ²)	61.0	60.9	60.9	60.9	60.9	61.3	61.3	61.2	60.8	60.8
Aantal(geoogst/m ²)	773	697	727	764	781	741	760	732	743	739
Gvg (g/vrucht)	79	87	84	80	78	83	81	84	82	82
Temperatuur (°C)	18.6	18.6	19.1	19.1	19.0	18.6	18.6	19.2	18.7	19.0
Gem. vruchten/tros	7.6	6.9	6.9	7.2	7.3	7.3	7.4	6.9	7.3	7.1
Kansrijk						X	x		x	X

Tabel 3: Berekend gemiddeld vruchtgewicht per week op basis van maximaal 8 vruchten per tros en een weektemperatuur van maximaal 22 (°C) op basis van de verwachte groei uit tabel 1.(Teeltplan b006)

Week	Stengels /m ²	vruchten /tros	gezet	Tempe- ratuur	Geoogst	Oogst gew	Uitgroei- duur	Gem. vruchtgew.
1				18.2				
2	0.2	5.0	4	18.0				
3	1.2	5.3	9	18.0				
4	2.5	6.0	13	18.0				
5	2.5	7.3	16	18.0				
6	2.5	7.0	15	18.0				
7	2.5	7.0	15	18.0				
8	2.9	7.0	17	18.0				
9	3.3	7.0	20	18.0				
10	3.3	7.0	20	18.0				
11	3.3	7.0	19	18.0	3	207	65	77
12	3.3	7.0	19	18.0	8	584	65	74
13	3.3	7.0	19	18.0	12	872	65	71
14	3.5	7.0	20	18.0	15	1063	65	70
15	3.8	7.0	21	18.0	15	1076	65	71
16	3.8	7.0	22	18.5	16	1183	64	72
17	3.8	7.0	22	18.5	18	1355	64	74
18	3.8	7.0	22	18.5	21	1565	63	76
19	3.8	7.0	21	18.5	20	1591	63	78
20	3.8	7.0	22	19.0	22	1721	63	80
21	3.8	7.0	22	19.0	21	1721	62	81
22	3.8	7.0	23	20.0	24	2018	61	83
23	3.8	8.0	28	21.0	28	2338	59	85
24	3.8	8.0	27	21.0	26	2247	57	86
25	3.8	8.0	27	21.0	25	2152	56	87
26	3.8	8.0	27	21.0	24	2130	55	88
27	3.8	8.0	27	21.0	25	2157	54	88
28	3.8	8.0	27	21.0	25	2170	53	88
29	3.8	8.0	28	22.0	28	2433	51	87
30	3.8	8.0	28	22.0	29	2551	50	87
31	3.8	8.0	28	22.0	29	2523	50	88
32	3.8	8.0	28	22.0	28	2510	50	89
33	3.8	8.0	26	21.0	26	2298	50	90
34	3.8	8.0	24	20.0	23	2102	50	90
35	3.8	8.0	24	20.0	25	2234	51	89
36	3.8	6.0	17	19.0	22	1962	52	88
37				19.0	23	1965	53	85
38				18.0	20	1634	55	83
39				18.0	21	1707	57	80
40				18.0	22	1721	58	78
41				18.0	21	1630	60	77
42				18.0	22	1652	61	77
43				18.0	22	1681	62	77
44				17.0	16	1245	64	78
45				16.0	10	793	67	80
46				16.0	6	460	70	80
totaal		7.2	748	19.0	741	61251	58.4	83

Tabel 4: Berekend gemiddeld vruchtgewicht per week op basis van maximaal 8.5 vruchten per tros en een weektemperatuur van maximaal 22 (°C) op basis van de verwachte groei uit tabel 1.(Teeltplan b007)

Week	Stengels /m ²	Vruchten /tros	gezet	Tempe- ratuur	Geoogst	Oogst- Gew.	Uitgroei- duur	Gem. vruchtg ew.
1				18.2				
2	0.2	5.0	4	18.0				
3	1.2	5.3	9	18.0				
4	2.5	6.0	13	18.0				
5	2.5	7.3	16	18.0				
6	2.5	7.0	15	18.0				
7	2.5	7.0	15	18.0				
8	2.9	7.0	17	18.0				
9	3.3	7.0	20	18.0				
10	3.3	7.0	20	18.0				
11	3.3	7.0	19	18.0	3	207	65	77
12	3.3	7.0	19	18.0	8	584	65	74
13	3.3	7.0	19	18.0	12	872	65	71
14	3.5	7.0	20	18.0	15	1063	65	70
15	3.8	7.0	21	18.0	15	1076	65	71
16	3.8	7.0	22	18.5	16	1183	64	72
17	3.8	7.0	22	18.5	18	1355	64	74
18	3.8	7.0	22	18.5	21	1565	63	76
19	3.8	7.0	21	18.5	20	1591	63	78
20	3.8	7.5	23	19.0	22	1721	63	80
21	3.8	7.5	23	19.0	21	1721	62	81
22	3.8	7.5	25	20.0	24	2017	61	83
23	3.8	8.5	29	21.0	28	2333	59	84
24	3.8	8.5	29	21.0	26	2234	57	85
25	3.8	8.5	29	21.0	25	2126	56	86
26	3.8	8.5	29	21.0	24	2087	55	86
27	3.8	8.5	28	21.0	25	2143	54	85
28	3.8	8.5	29	21.0	27	2227	53	84
29	3.8	8.5	30	22.0	30	2474	51	83
30	3.8	8.5	30	22.0	31	2561	50	82
31	3.8	8.0	28	22.0	31	2524	50	83
32	3.8	8.0	28	22.0	30	2509	50	84
33	3.8	8.0	26	21.0	27	2299	50	85
34	3.8	8.0	24	20.0	25	2106	50	85
35	3.8	8.0	24	20.0	27	2246	51	85
36	3.8	6.0	17	19.0	24	1982	52	83
37				19.0	24	1999	53	82
38				18.0	21	1673	55	80
39				18.0	21	1662	57	78
40				18.0	22	1690	58	77
41				18.0	21	1611	60	76
42				18.0	22	1642	61	76
43				18.0	22	1676	62	77
44				17.0	16	1243	64	78
45				16.0	10	793	67	80
46				16.0	6	460	70	80
Totaal		7.4	767	19.0	760	61255	58.4	81

Tabel 5: Berekend gemiddeld vruchtgewicht per week op basis van maximaal 8 vruchten per tros en een weektemperatuur van maximaal 23(°C) op basis van de verwachte groei uit tabel 1.(Teeltplan b009)

Week	Stengels /m ²	Vruchten /tros	gezet	Tempe- ratuur	Geoogst	Oogst- Gew.	Uitgroei- duur	Gem. vruchtgew.
1				18.2				
2	0.2	5.0	1	18.0				
3	1.2	5.3	6	18.0				
4	2.5	6.0	13	18.0				
5	2.5	7.3	16	18.0				
6	2.5	7.0	15	18.0				
7	2.5	7.0	15	18.0				
8	2.9	7.0	17	18.0				
9	3.3	7.0	20	18.0				
10	3.3	7.0	20	18.0				
11	3.3	7.0	19	18.0	1	51	65	76
12	3.3	7.0	19	18.0	4	325	65	73
13	3.3	7.0	19	18.0	11	801	65	71
14	3.5	7.0	20	18.0	15	1061	65	70
15	3.8	7.0	21	18.0	15	1077	65	71
16	3.8	7.0	22	18.5	16	1186	64	72
17	3.8	7.0	22	18.5	18	1359	64	74
18	3.8	7.0	22	18.5	21	1569	63	76
19	3.8	7.0	21	18.5	20	1593	63	78
20	3.8	7.5	23	19.0	22	1722	63	80
21	3.8	7.5	23	19.0	21	1721	62	81
22	3.8	7.5	25	20.0	24	2017	61	83
23	3.8	8.0	28	21.0	28	2333	59	84
24	3.8	8.0	27	21.0	26	2234	57	85
25	3.8	8.0	27	21.0	25	2126	56	86
26	3.8	8.0	27	21.0	24	2087	55	86
27	3.8	8.0	27	21.0	25	2145	54	85
28	3.8	8.0	27	21.0	27	2236	53	84
29	3.8	8.0	30	23.0	32	2702	51	84
30	3.8	8.0	29	23.0	31	2632	49	84
31	3.8	8.0	29	23.0	30	2524	49	85
32	3.8	8.0	29	23.0	29	2550	48	87
33	3.8	8.0	26	21.0	24	2163	48	88
34	3.8	8.0	24	20.0	23	2037	49	89
35	3.8	7.0	21	20.0	25	2218	50	88
36	3.8	7.0	20	19.0	23	1970	51	86
37				19.0	23	1927	52	84
38				18.0	21	1671	54	82
39				18.0	21	1651	56	79
40				18.0	21	1622	58	78
41				18.0	22	1680	60	77
42				18.0	22	1667	61	77
43				18.0	22	1682	62	78
44				17.0	14	1105	64	80
45				16.0	10	794	67	81
46				16.0	7	540	70	81
totaal		7.3	751	19.0	743	60778	58.1	82

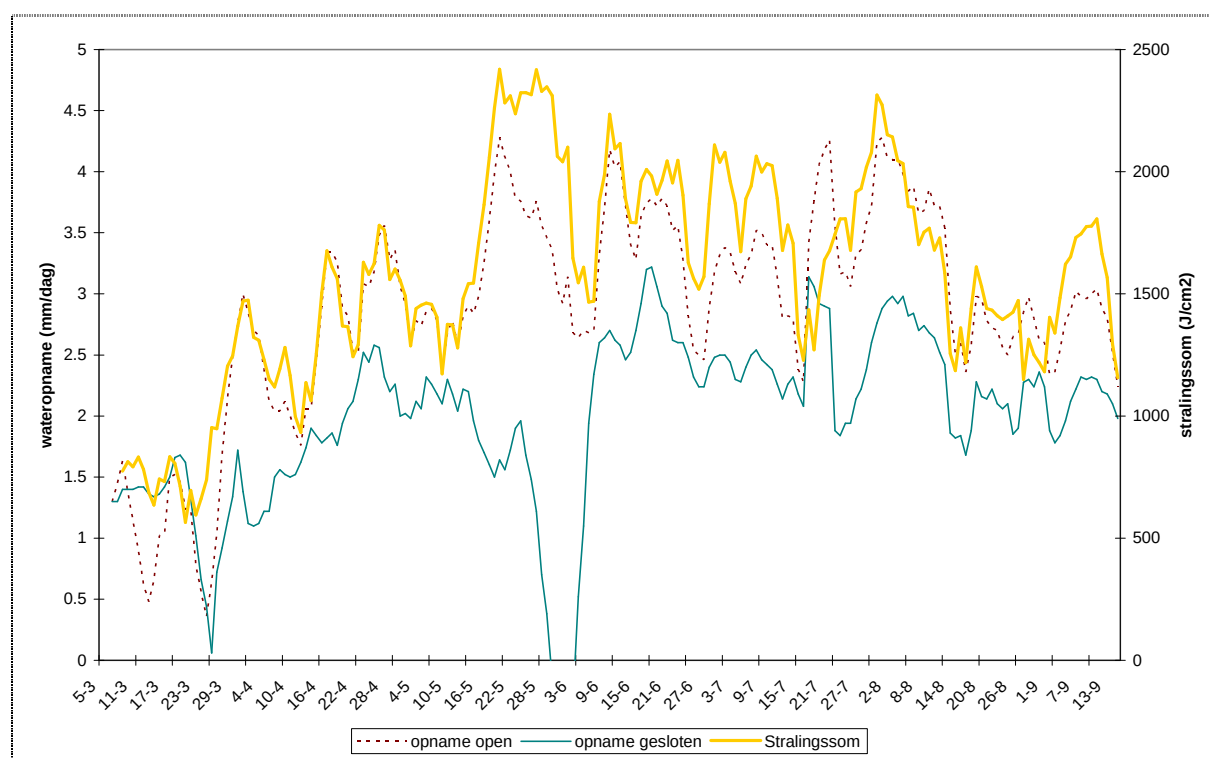
Tabel 6: Berekend gemiddeld vruchtgewicht per week op basis van maximaal 7.5 vruchten per tros en een weektemperatuur van maximaal 25(°C) op basis van de verwachte groei uit tabel 1.(Teeltplan b010)

Week	Stengels /m²	Vruchten /tros	gezet	Tempe- ratuur	Geoogst	Oogst- Gew.	Uitgroe- duur	Gem. vruchtgew.
1				18.2				
2	0.2	5.0	1	18.0				
3	1.2	5.3	6	18.0				
4	2.5	6.0	13	18.0				
5	2.5	7.3	16	18.0				
6	2.5	7.0	15	18.0				
7	2.5	7.0	15	18.0				
8	2.9	7.0	17	18.0				
9	3.3	7.0	20	18.0				
10	3.3	7.0	20	18.0				
11	3.3	7.0	19	18.0	1	51	65	76
12	3.3	7.0	19	18.0	4	325	65	73
13	3.3	7.0	19	18.0	11	801	65	71
14	3.5	7.0	20	18.0	15	1061	65	70
15	3.8	7.0	21	18.0	15	1077	65	71
16	3.8	7.0	22	18.5	16	1186	64	72
17	3.8	7.0	22	18.5	18	1358	64	74
18	3.8	7.0	22	18.5	21	1567	63	76
19	3.8	7.0	21	18.5	20	1590	63	78
20	3.8	7.5	23	19.0	22	1716	63	79
21	3.8	7.5	23	19.0	21	1710	62	81
22	3.8	7.5	25	20.5	26	2093	60	82
23	3.8	7.5	27	21.5	29	2411	58	83
24	3.8	7.5	26	21.5	26	2195	56	83
25	3.8	7.5	26	21.5	25	2107	55	83
26	3.8	7.5	29	24.0	30	2464	53	82
27	3.8	7.5	29	24.0	31	2517	50	81
28	3.8	7.5	29	24.0	31	2490	48	81
29	3.8	7.5	29	24.0	30	2405	46	81
30	3.8	7.5	29	24.0	29	2397	45	83
31	3.8	7.5	29	24.0	30	2526	45	85
32	3.8	7.5	28	24.0	30	2604	44	87
33	3.8	7.5	26	22.0	25	2197	44	88
34	3.8	7.5	23	20.0	21	1863	46	89
35	3.8	7.0	21	20.0	23	2064	48	89
36	3.8	7.0	19	19.0	21	1852	49	88
37				19.0	21	1841	51	87
38				18.0	20	1697	53	85
39				18.0	20	1622	55	83
40				18.0	20	1644	57	82
41				18.0	20	1626	59	82
42				18.0	19	1594	61	82
43				18.0	20	1692	62	84
44				17.0	14	1193	64	87
45				16.0	10	869	67	90
46				16.0	4	349	69	91
totaal		7.1	750	19.4	739	60754	56.8	82

Bijlage 3 Berekening van de wateropname

Wateropname

De wateropname, zoals berekend als het verschil tussen de gemeten watergift en het gemeten drainvolume, was in de gesloten kas beduidend lager dan in de open kas. In onderstaande Figuur 29 is dit verschil voor beide kassen weergegeven en vergeleken met de stralingssom. Hierbij dient te worden opgemerkt dat onder andere van eind mei tot begin juni storingen optraden. Deze storingen hadden betrekking op beide kassen. Volgens de meetcijfers is in de gesloten kas 25% minder water door het gewas opgenomen, maar dit percentage moet vanwege de opgetreden storingen in twijfel worden getrokken. Hier wordt in de volgende paragraaf op ingegaan.

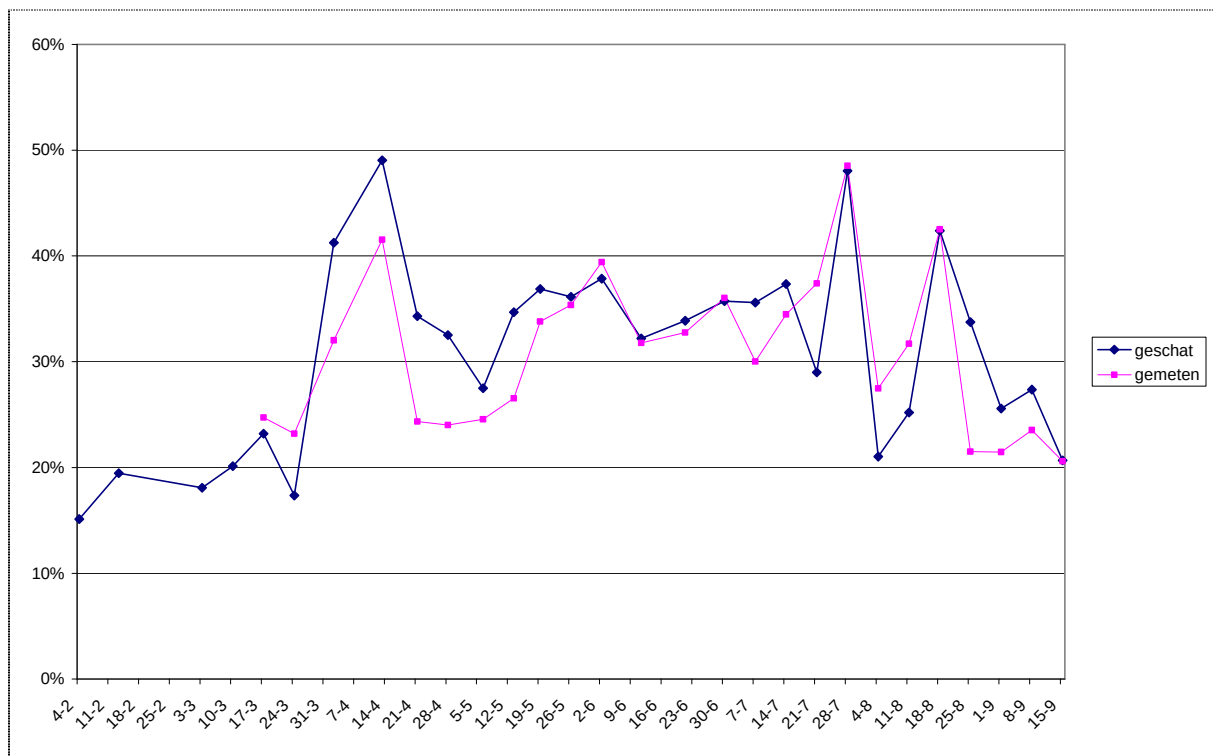


Figuur 29 - Gemeten verschil tussen de gemeten watergift en het drainvolume in vergelijking met de stralingssom.

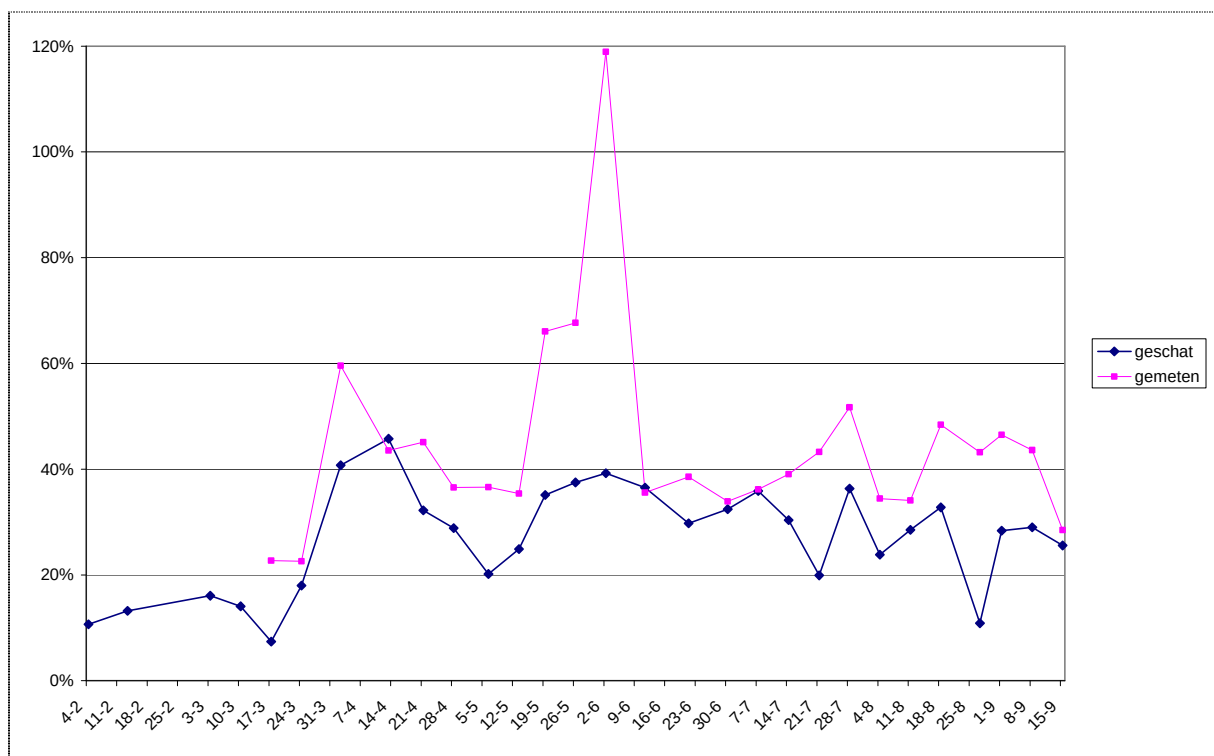
De verdeling van de watergift over het etmaal is in de gesloten kas anders dan in de open kas. Overdag verdampte het gewas minder door de relatief hoge RV en 's nachts was de wateropname juist hoger door de actieve ontvochtiging in combinatie met de luchtbeweging in de gesloten kas.

Correctie op drainpercentage

Aangezien de opnameconcentratie van natrium (Na) bij tomaat zeer laag is (± 0.05 mmol/l) ging vrijwel alle natrium uit het druppelwater naar de drain. De concentratie van Na in de gift en in de drain is bekend, dus kan het drainpercentage worden geschat. In Figuur 30 en Figuur 31 is deze schatting voor zowel de gesloten kas als de open kas vergeleken met de gemeten drainpercentages. Opvallend is dat in de open kas de schatting redelijk overeen komt met de gemeten waarden. Alleen in het voorjaar is de schatting hoger en in het najaar is de schatting lager dan de meting. In de gesloten kas is een grote afwijking te zien van 19 mei tot en met 2 juni, en daarbuiten is de schatting ook vrijwel overal lager dan de metingen.



Figuur 30 – Geschat en gemeten drainpercentage in de open kas



Figuur 31 – Geschat en gemeten drainpercentage in de gesloten kas

Gecorrigeerde wateropname

Het feit dat in de gesloten kas het geschatte drainpercentage vrijwel het hele jaar lager was dan het gemeten drainpercentage is waarschijnlijk veroorzaakt door afwijking van de meting. De meting in de gesloten kas kan hoger zijn geweest door een te hoog afgestelde meter van het drainwater of een te laag afgestelde meter van het druppelwater. Ook kan er regenwater in de drainput van de gesloten kas zijn gelopen, waardoor het aantal liters drain te hoog werd gemeten. Indien de druppelwatermeter te weinig heeft gemeten moet de gemeten wateropname meer naar boven worden bijgesteld dan als de drainwatermeter te veel heeft gemeten. Dit wordt hieronder met een voorbeeld uitgelegd.

$$\text{Drain\%}_{\text{oud}} = \text{Drain} / \text{Gift}$$

$$\text{Wateropname}_{\text{oud}} = \text{Gift} - \text{Drain}$$

$$\text{Wateropname}_{\text{oud}} = \text{Drain} / \text{Drain\%}_{\text{oud}} - \text{Drain}$$

$$\text{Wateropname}_{\text{oud}} = \text{Gift} - \text{Gift} * \text{Drain\%}_{\text{oud}}$$

$$\text{Bijstelling} = \text{Drain\%}_{\text{nieuw}} / \text{Drain\%}_{\text{oud}}$$

Voorbeeld: In de periode van 27 augustus tot en met 1 september was de gemiddelde gemeten gift in de gesloten kas 4,15 l/m² en de gemiddelde gemeten drain 1,93 l/m². Het drainpercentage komt hiermee op 1,93/4,15 = 47% en de wateropname op 4,15 - 1,93 = 2,22 l/m². Volgens de wateranalyses (Na-gehalte) van het druppelwater en het drainwater op 1 september zou deze slechts 28% moeten zijn. De bijstelling van het drainpercentage is dan 28%/47% = 60%

Bijstelling wateropname bij afwijking druppelwatermeting:

$$\text{Wateropname}_{\text{nieuw}} = \text{Drain} / (\text{Drain\%}_{\text{oud}} * \text{Bijstelling}) - \text{Drain}$$

$$= 1,93 / (47\% * 60\%) - 1,93 = 4,91 \text{ l/m}^2$$

Dit betekent een verhoging van de wateropname met (4,91 - 2,22)/2,22 = 122% in deze periode.

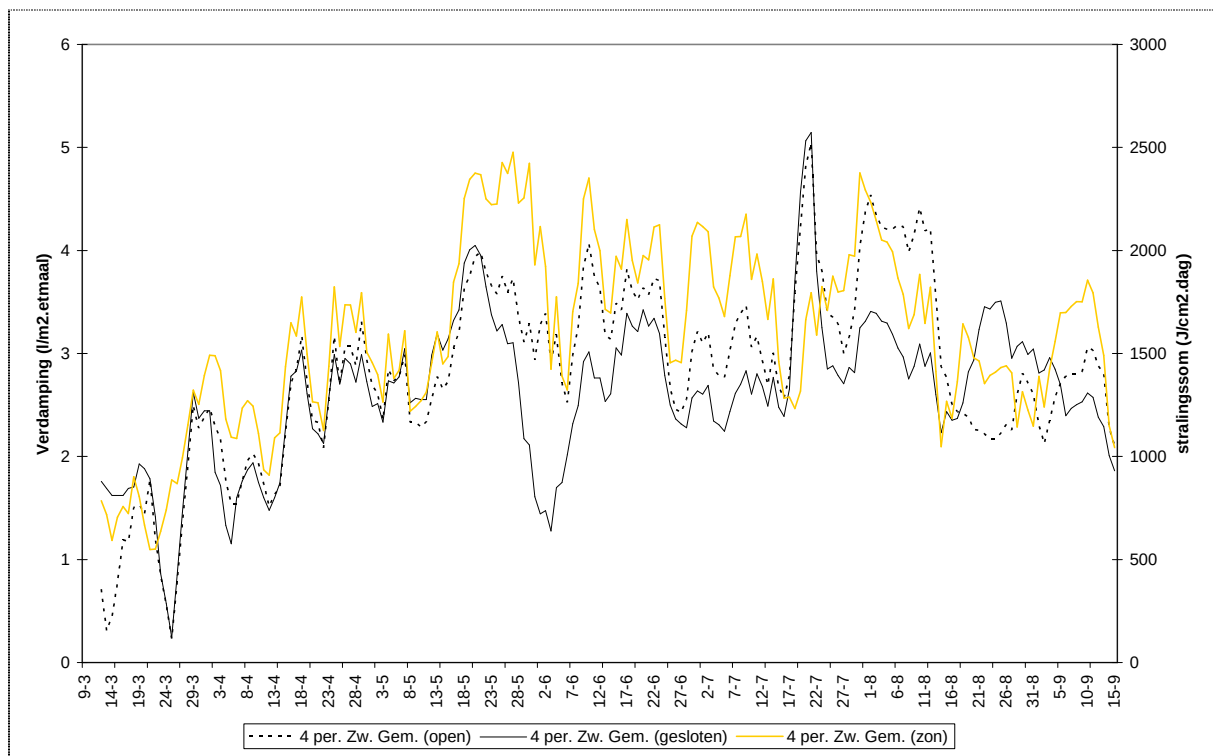
Bijstelling wateropname bij afwijking drainwatermeting:

$$\text{Wateropname}_{\text{nieuw}} = \text{Gift} - (\text{Gift} * \text{Drain\%}_{\text{oud}} * \text{Bijstelling})$$

$$= 4,15 - (4,15 * 47\% * 60\%) = 3,0 \text{ l/m}^2$$

Dit betekent een verhoging van de wateropname met (3,0 - 2,22)/2,22 = 35% in deze periode.

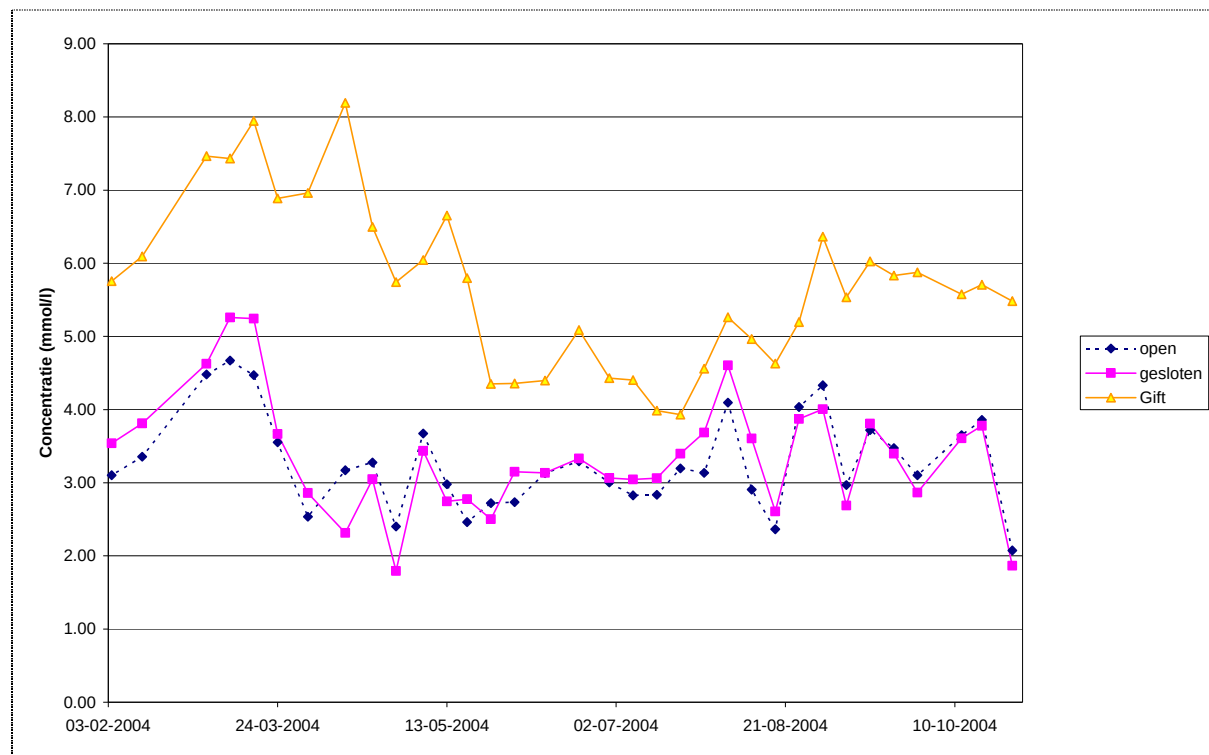
Als voorzichtigheidshalve aangenomen wordt dat niet de druppelwatermeting maar de drainwatermeting is afgeweken komt de geschatte wateropname in de gesloten kas en de open kas er als volgt uit te zien.



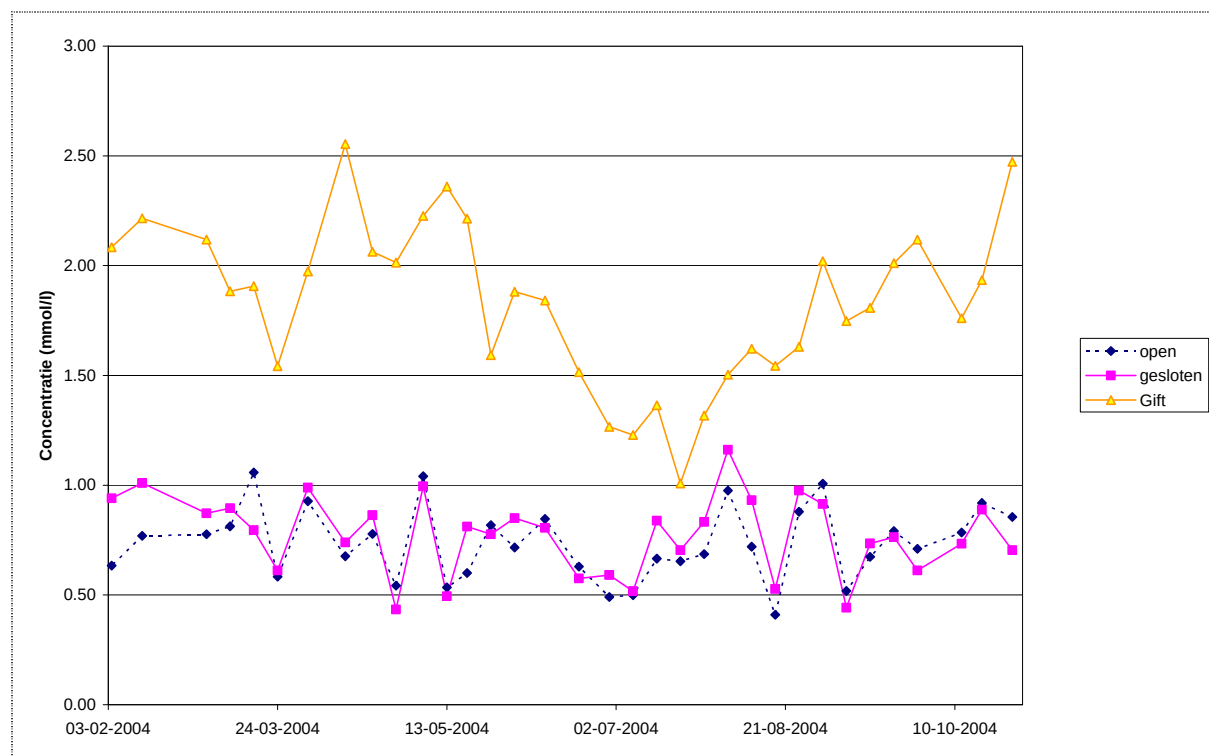
Figuur 32 - Wateropname berekend aan de hand van de gemeten watergift en het geschatte drainpercentage en de globale straling (zon)

Uit Figuur 32 blijkt dat de wateropname in de gesloten kas weliswaar lager was dan in de open kas, maar minder dan 25% lager zoals bepaald in Figuur 29. Tot half mei was de wateropname in beide kassen vrijwel gelijk. Daarna was de wateropname in de gesloten kas 15% lager dan in de open kas tot half augustus. Uitzonderlijke perioden waren rond eind mei, waarbij de wateropname in de gesloten kas erg laag was, en op 18 en 19 juli, waarbij de gemeten watergift in beide kassen uitzonderlijk hoog was.

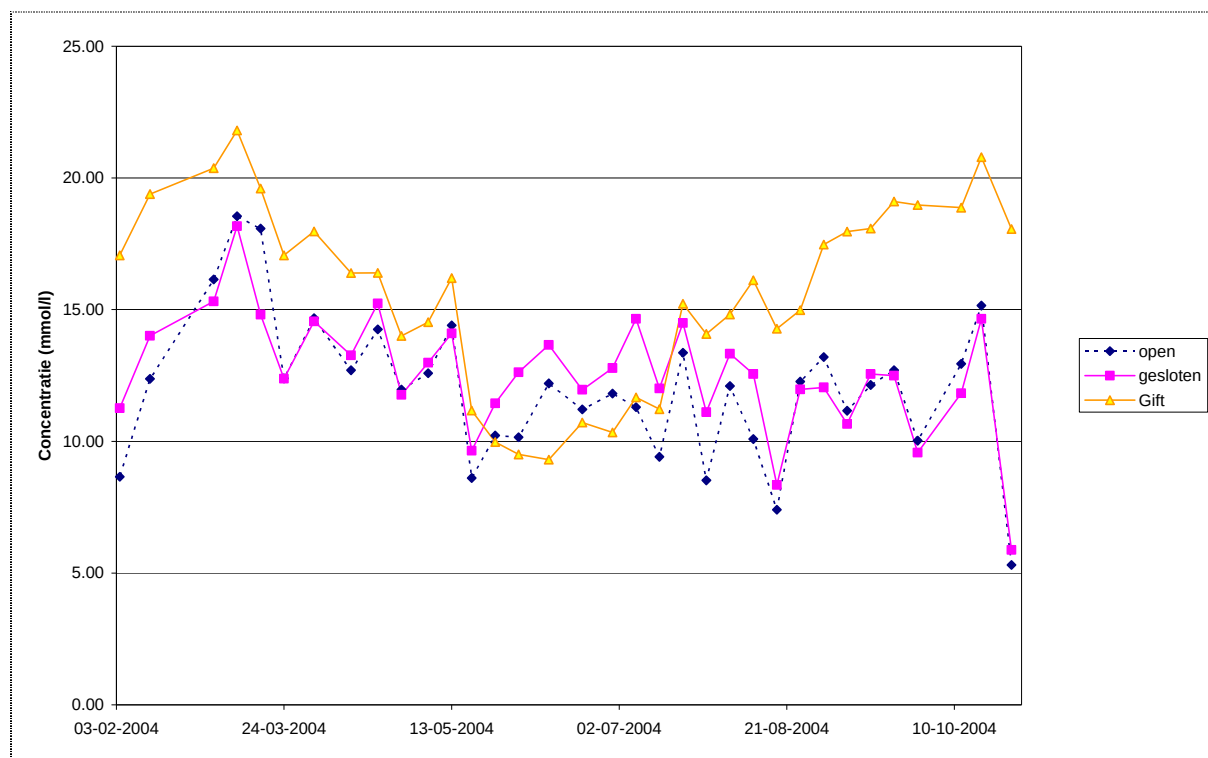
Bijlage 4 Opnameconcentraties



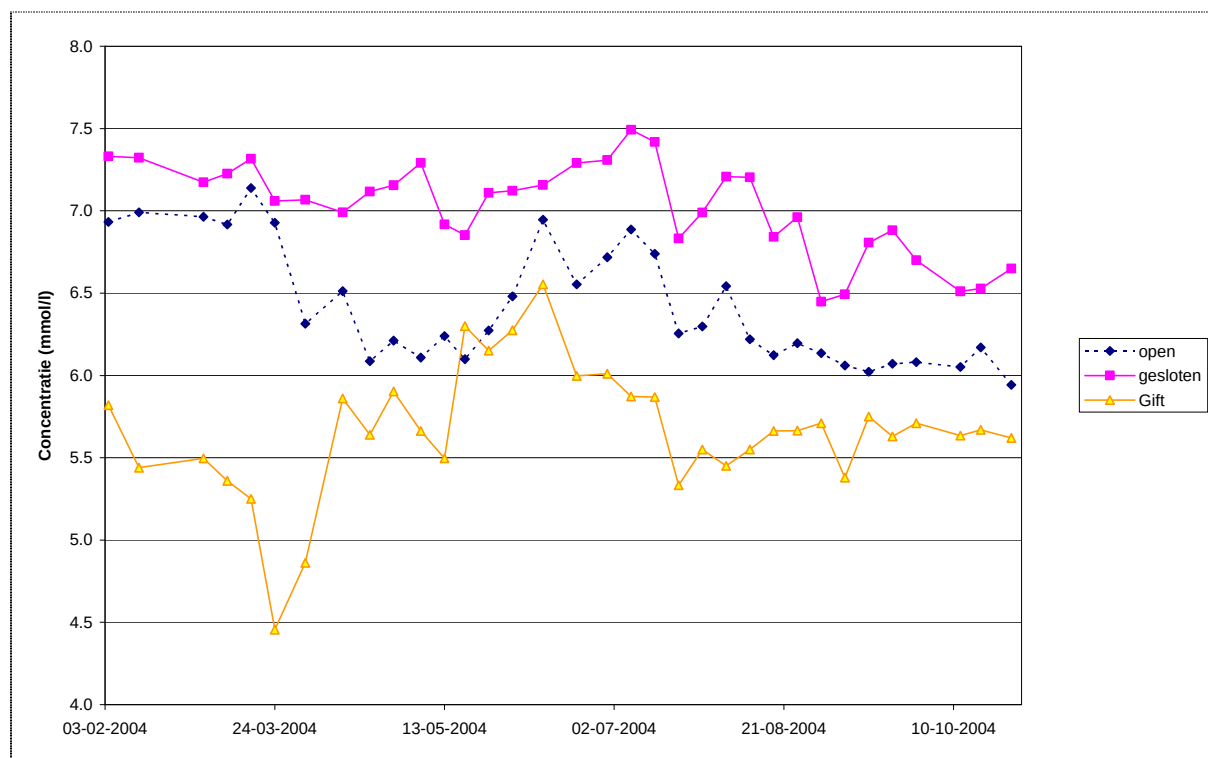
Figuur 33 - Ca-concentratie in het door de wortels opgenomen water in vergelijking met de Ca-concentratie van de gift.



Figuur 34 - Mg-concentratie in het door de wortels opgenomen water in vergelijking met de Mg-concentratie van de gift.



Figuur 35 - NO_3 -concentratie in het door de wortels opgenomen water in vergelijking met de NO_3 -concentratie van de gift.



Figuur 36 - pH in het mat- of drainwater in vergelijking met de pH van de gift.

Bijlage 5: Invloed van RV op het gewas

Voor de gesloten kas geldt:

Luchtbeweging, warme lucht, hoog vochtdeficit en instraling zorgen voor een toename van de gewasverdamping
Koude lucht en klein vochtdeficit remmen de verdamping.

Omdat de lucht in de gesloten afdeling constant in beweging is kan uit teeltechnisch oogpunt bij een hogere RV geteelt worden. Waar de grens ligt hangt voor een groot deel af de planttemperatuur. Om enig inzicht te hebben volgt hieronder een beknopt overzicht van de bevindingen van een aantal onderzoekers.

Effecten Relatieve luchtvochtigheid (proefschrift Sjaak Bakker)

Range vochtdeficit

dag: 0.63 - 1.06 kpa

nacht: 0.33 - 0.69 kpa

invloed hoge RV:

Korte termijn:

Huidmondjesweerstand neemt af, meer fotosynthese

Lange termijn:

Meer bladoppervlak, bladeren strekken meer (totdat Ca-gebrek optreedt)

Minder wortels

Meer en langere huidmondjes

Geen invloed op de verdeling van assimilaten binnen de plant naar stengel/blad/vrucht

Ca-gehalte in plant meest bepalend voor de gevolgen van hoge RV

Meer opname bij groter aandeel van Ca in voedingsoplossing

Meer opname bij lagere EC

Ca-opname blad neemt af bij hogere RV

Ca-opname vrucht neemt toe bij hogere RV

Ca-gebrek in kop: afsterving van groeipunt

Ca-gebrek in jong blad: misvormingen, bladrandjes en minder bladstrekking

Gewenste concentratie afhankelijk van gewasstadium (diverse bronnen):

	Gebrek	gezond	
Blad:	106-250	384-555	mmol/kg ds
5 ^e blad van top	55		mmol/kg ds
Blad	250		mmol/kg ds
Kop	50 - 100		mmol/kg ds

Conclusie:

1. Een hoge relatieve luchtvochtigheid mag niet ten koste gaan van de Ca-opname door het gewas, een hoog Ca-gehalte in de voedingsoplossing verminderd het Ca-gebrek in de plant. Ca-gebrek geeft bladmisvormingen en een kleiner bladoppervlak.
2. Het afgelopen jaar was het Ca-gehalte in het blad altijd ruim voldoende (590-940 mmol/kg ds)
3. Hoge RV is positief voor de assimilatie en bevordert de strekking van het blad.
4. Als het bladoppervlak te klein wordt moet een zo hoog mogelijke RV worden nagestreefd.
5. Als het gewas te weelderig wordt en/of te veel blad maakt moet de RV worden verlaagd.

Ruud Kaarsemaker

26 oktober 2004

Bijlage 6: Invloed CO₂ en temperatuur op fotosynthese

De fotosyntheseverhoging door het CO₂-niveau is op globale wijze berekend in Tabel 5. Voor zowel de open als de gesloten kas is aangegeven hoe vaak (in uren en in hoeveelheid globale straling van maart tot en met oktober) het CO₂-niveau onder een bepaald niveau heeft gelegen. Uitgaande van de CO₂-regel van Nederhoff [Nederhoff, 1994] is per CO₂-niveau bepaald hoeveel productieverlies een 100 ppm lager niveau zou opleveren. Hier is het aandeel in de lichtsom vermenigvuldigd met de CO₂-invloed op de productie. De sommatie van alle productieverliezen is een schatting van het productieverlies door CO₂-niveaus lager dan 1000 ppm. Dit komt voor de open kas neer op 22,3% en voor de gesloten kas op 3,0%. Op basis van deze berekening zou in de gesloten kas een 19,3% hogere productie moeten zijn behaald dan in de open kas. Deze berekening is veel hoger dan de berekening voor de proef bij PPO in 2002 [Schoonderbeek et. al., 2003].

N.B.: De berekeningen in Tabel 5 zijn slechts gebaseerd op vuistregels welke onder andere omstandigheden zijn opgesteld. Ze kunnen een overschatting zijn van het werkelijke productieverlies. Er is alleen rekening gehouden met de factoren CO₂ en licht, en niet met de plantbalans, de nutriëntenopname, ziekten en plagen en het eventuele optreden van gewenning aan de hoge CO₂-niveaus. Ook de invloed van temperatuur op situaties met veel licht en veel CO₂ is niet meegenomen. De temperatuur kan volgens oud onderzoek [Enoch, et.al 1986] bij deze omstandigheden grote invloed hebben op de fotosynthese. Ook uit recent onderzoek van PRI en A&F [Dieleman et al., 2004] bleek dat de bladfotosynthese bij 700 Watt globale straling op het gewas en 1100 ppm bij een kastemperatuur van 15°C tot 30°C bij paprika steeg van 25 tot 55 µmol CO₂/m².s. Bij 600 ppm of bij 120 Watt globale straling op het gewas was deze productiestijging door temperatuursverhoging nauwelijks waarneembaar. Mogelijk dat bij veel licht in de gesloten kas, indien de plantbalans dit toelaat, een hogere temperatuur moet worden aangehouden om meer fotosynthese en meer productie te verkrijgen.

Tabel 5 - Aantal uren en hoeveelheid zonlicht dat de CO₂-concentratie onder een bepaald niveau lag en het productieverlies veroorzaakt door dit lagere niveau.

		Open kas				Gesloten kas			
CO ₂ -niveau (ppm)	CO ₂ -invloed	Aantal uren	Lichtsom (J/cm ²)	Aandeel lichtsom	Productieverlies	Aantal uren	Lichtsom (J/cm ²)	Aandeel lichtsom	Productieverlies
Totaal		3389	928478			3389	928478		
1000	1,7%	2885	315994	95%	1,61%	1327	167321	50%	0,85%
900	2,1%	2692	308321	92%	1,94%	718	82363	25%	0,52%
800	2,7%	2534	300448	90%	2,43%	417	41581	12%	0,34%
700	3,7%	2359	290021	87%	3,17%	296	30589	9%	0,33%
600	5,1%	2082	271327	81%	4,14%	215	23927	7%	0,37%
500	7,7%	1669	232014	69%	5,34%	134	15771	5%	0,36%
400	13,1%	597	92323	28%	3,60%	33	4756	1%	0,19%
300	27,1%	13	3751	0%	0,11%	5	2465	0%	0,07%
Totaal					22,34%				3,02%