



PRAKTIJKONDERZOEK
PLANT & OMGEVING

WAGENINGEN **UR**

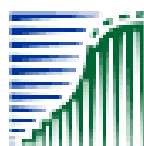
Stralingsafhankelijke temperatuur bij courgette

Jan Janse, Fokke Buwalda, Bert Houter en Marcel Raaphorst

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

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van 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: **Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij**

en



PT projectnummer : 11697
PPO projectnummer : 417.17029

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Business Unit Glastuinbouw

Adres : Kruisbroekweg 5, 2671 KT Naaldwijk

: Postbus 8, 2670 AA Naaldwijk

Tel. : 0174 - 63 67 00

Fax : 0174 - 63 68 35

E-mail : infoglastuinbouw.ppo@wur.nl

Internet : www.ppo.wur.nl

Samenvatting

Met een jaarverbruik van rond de 35 kuub gas per vierkante meter heeft courgette een vrij hoog energiegebruik. In een onderzoek door PPO Glastuinbouw is nagegaan of het mogelijk was om het gasverbruik te verlagen door meer stralingsafhankelijk te stoken dan in de praktijk gebruikelijk is. Tevens was de verwachting dat hiermee mogelijk de hoeveelheid abortie kon worden verminderd en de productie verhoogd.

Het onderzoek is uitgevoerd in vier kasafdelingen. Als referentie diende een afdeling waarin een standaard temperatuur was ingesteld met een geringe momentane stralingsverhoging van maximaal 2 °C per 200 W/m². In een tweede afdeling stond een momentane stralingsverhoging ingesteld van maximaal 6,5 °C per 400 W/m². De basistemperatuur was hierbij 0,5 à 1 °C lager ingesteld dan bij de standaard. In de overige twee kassen werd de temperatuurinstelling automatisch met de klimaatcomputer geregeld aan de hand van de stralingssom van de afgelopen drie dagen. In de ene kas was de invloed van de stralingssom gering en in de andere kas sterk. Bij alle behandelingen werd over een langere periode gestreefd naar een ongeveer gelijke temperatuur. Dit was het geval indien de stralingssom overeenkwam met de gemiddelde straling.

Er is een gewasmodel ontwikkeld dat meerekende met de laatstgenoemde twee behandelingen. Het model berekende de afsplitsing, het zichtbaar worden en de uitgroei van bladeren, het percentage vrouwelijke bloemen, het bloeitijdstip, abortie van bloemen en vruchten en de uitgroei van gezette vruchten. Het model had geen directe invloed op het klimaat. Het kon worden gebruikt als beslissingsondersteunend systeem, waarbij aan de hand van het niveau van de basistemperatuur in de klimaatregelaar het te verwachten teeltverloop in de komende 10 dagen werd voorgerekend. Op grond van deze prognose kon voor de komende week de meest wenselijke instelling voor de regelaar worden bepaald.

In de totale proefperiode van eind januari tot begin juli was de gerealiseerde stralingssom praktisch gelijk aan de gemiddelde stralingssom over een groot aantal jaren. Gemiddeld over de gehele proefperiode was de etmaaltemperatuur bij de vier behandelingen met ruim 18 °C vrijwel gelijk. Toch kwam het voor dat er per week een verschil in gemiddelde etmaaltemperatuur was tussen de behandelingen van 1,5 °C. In vergelijking met de standaard was de nachttemperatuur bij de momentane stralingsverhoging gemiddeld 0,5 °C lager en overdag juist 0,5 °C hoger. Doordat er in deze afdeling overdag minder werd gelucht, kon er een hoger CO₂-gehalte worden gerealiseerd. In het begin van het seizoen was de planttemperatuur bij veel uitstraling 's nachts duidelijk lager dan de kasttemperatuur. Later kon de planttemperatuur bij veel zon echter flink oplopen tot soms meer dan 6 °C boven de ruimtetemperatuur.

In de afdeling waar een forse momentane stralingsverhoging was ingesteld, is over de gehele periode 17% ofwel 2,7 m³/m² aan gas bespaard. Bij de andere modelbehandelingen werd er over de gehele periode echter 6 tot 8% meer gas verbruikt. Dit komt mede doordat de temperatuur geregeld werd op basis van de stralingssom van de drie voorgaande dagen. Er kan dan onvoldoende worden geprofiteerd van de zonnwarmte op dat moment.

De totaalproductie bedroeg bij de standaard 80 stuks/m². Bij de andere behandelingen lag dit 2 tot 5% lager. Vrijwel de gehele teelt kwamen er bij alle behandelingen veel geaborteerde vruchtjes ofwel geeltjes en zwartjes voor. Het percentage geeltjes en zwartjes kwam gemiddeld uit op circa 30%. Hiervan bestond 4/5 deel uit zwartjes en 1/5 deel uit geeltjes. Naast ondermeer de hoge plantdichtheid, kan mogelijk ook de grote hoeveelheid blad het hoge percentage abortie verklaren. Tijdens de teelt liep de LAI namelijk op van ruim 4 half april tot ruim 6 begin juli. In verband met het verbruik van assimilaten lijkt de LAI in deze periode hoger dan gewenst. Halverwege de teelt is de vegetatieve sink of assimilatenvraag ongeveer gelijk aan de generatieve sink, maar tegen het eind van de teelt is de vegetatieve assimilatenvraag 2,3 maal zo groot dan de generatieve assimilatenvraag. Er is berekend dat in deze proef bij courgette 56% van de assimilaten naar de vruchten gaat.

Bijna 77% van de variatie in plantbelasting wordt verklaard uit de draagkracht van het gewas. De draagkracht is hoeveel energievraag van de vruchten dat het gewas aan kan zonder overbelast te raken. Deze waarde wordt berekend uit de verhouding tussen geabsorbeerd licht en de temperatuur. Het ontwikkelde groeimodel gaf de theoretisch te verwachten effecten goed weer. Maar vooral in de tweede

helft van de teelt ontstonden er steeds meer afwijkingen in de uitkomsten van het model door een overschatting van het percentage vrouwelijke bloemen en een onderschatting van de hoeveelheid abortie. Aan de hand van de ervaringen en de verzamelde gegevens in dit onderzoek kan het groeimodel nog relatief eenvoudig geperfectioneerd worden. De toepassingsmogelijkheden van het model en van de beslissingsondersteunende functies zijn niet beperkt tot de twee behandelingen waarmee in deze proef is meegerekend.

De forse momentane stralingsverhoging lijkt zeer geschikt voor praktijktoepassing. Om opbrengstverlies door te hoge temperatuur te voorkomen zal men hiermee echter niet te lang door mogen gaan. Afhankelijk van de weersomstandigheden, zal dit rond begin mei liggen. De energiebesparing neemt dan wel iets af.

Inhoudsopgave

pagina

SAMENVATTING.....	3
1 INLEIDING	6
2 MATERIAAL EN METHODEN	8
2.1 Behandelingen.....	8
2.2 Waarnemingen.....	9
2.3 Overige gegevens.....	9
3 RESULTATEN EN BESPREKING	11
3.1 Klimaat	11
3.2 Energiegebruik	13
3.3 Productie en kwaliteit.....	14
3.4 Gewaswaarnemingen	16
4 BESCHRIJVING VAN HET SIMULATIEMODEL	22
4.1 Inleiding	22
4.2 Beschrijving van het gewasmodel.....	23
4.3 Modelberekeningen in de proef.....	27
4.4 Toepassing van het model bij beslissingsondersteuning	33
4.5 Discussie met betrekking tot model	42
5 DISCUSSIE	44
6 CONCLUSIES	47
LITERATUUR.....	47
BIJLAGEN	

1 Inleiding

Courgette heeft een relatief hoog energieverbruik. Het gasverbruik ligt over een heel jaar genomen rond de $35 \text{ m}^3/\text{m}^2$ (Van Woerden, 2003). De sterke indruk is dat het verbruik duidelijk omlaag kan. Uit onderzoek op het PPO blijkt bijvoorbeeld dat zo'n 10% aan gas kan worden bespaard door het toepassen van een kouval rond zonop (Janse en Berkhout, 2003). Zonder productie- en kwaliteitsverlies blijven de courgetteplanten hierdoor ook veel compacter.

In verschillende periodes komen veel geaborteerde vruchten, zogenaamde 'zwartjes' of 'geeltjes' voor. Uit vooronderzoek bij PPO is gebleken dat dit, evenals bij andere vruchtgroentegewassen zoals paprika, waarschijnlijk het gevolg is van een onbalans tussen assimilatenaanbod en -vraag. Assimilatenaanbod hangt vooral samen met licht, assimilatenvraag met temperatuur en plantbelasting. Een ander probleem bij courgette is dat de verhouding van mannelijke/vrouwelijke bloemen varieert. Zowel teveel als te weinig mannelijke bloemen is ongewenst. Er is sprake van een seizoensgebonden trend, terwijl ook bekend is dat het temperatuurniveau en de plantbelasting invloed hebben (Janse, 2001). Resultaten van vooronderzoek bij PPO geven aan dat ook hier mogelijk sprake is van een samenhang met de balans tussen vraag en aanbod van assimilaten.

Tot nog toe wordt door courgettetelers de stook- en ventilatietemperatuur niet of nauwelijks aangepast aan de instraling. Dit betekent dat warmteoverschotten in de kas direct worden afgelucht. Hierdoor wordt ook onvoldoende geprofiteerd van de beschikbare CO_2 uit rookgassen. De sterke samenhang tussen source / sinkrelaties en abortie bij courgette betekent dat het aanhouden van een vast stooksetpoint onder omstandigheden van geringe lichtbeschikbaarheid, waarschijnlijk leidt tot meer abortie. Bij weinig instraling zou de temperatuur eigenlijk beter naar beneden kunnen worden aangepast. Bij veel instraling daarentegen zou de temperatuur wel zonder bezwaar omhoog kunnen, omdat er dan meer assimilaten beschikbaar zijn (source). Het verlagen van de teelttemperatuur op momenten dat stoken eigenlijk alleen averechts werkt heeft naar verwachting gunstige effecten op zowel de energie-efficiëntie van de teelt als ook op de regelmaat in productie en de kwaliteit. Het toelaten van temperatuurstijging onder omstandigheden met veel instraling zal de productiviteit van het gewas op peil houden. Bij een hogere temperatuur neemt de uitgroeiduur van een courgettewrucht namelijk sterk af.

Door courgettetelers wordt nog niet of nauwelijks temperatuurintegratie toegepast, terwijl uit onderzoek met andere vruchtgroenten bekend is dat dit uit oogpunt van energiebesparing duidelijke perspectieven biedt (Van den Berg et al., 2001).

In onderzoek aan temperatuurintegratie bij paprika (Buwalda et al., 2003) is een concept uitgewerkt en getest, waarbij de temperatuurbehoefte van het gewas in relatie tot de dagelijkse lichtsom centraal werd gesteld. Dit zogenaamde RRT-principe (Ratio of Radiant to Thermal energy) benaderde de vraag uit de praktijk, namelijk welke afwijkingen van de gebruikelijke teeltrecepten met vaste temperatuursetpoints konden worden getolereerd om energie te kunnen besparen, vanuit een andere invalshoek. Uit eerder onderzoek was gebleken dat effecten van temperatuur en temperatuurafwijkingen afhankelijk zijn van het heersende lichtniveau (Buwalda, 1997; Buwalda et al., 2000). In het bijzonder bij een geringe lichtbeschikbaarheid bleken hogere en zelfs gematigde temperaturen al snel averechts te werken, terwijl er bij meer licht geen enkel probleem werd gevonden. Door toepassing van het RRT-principe kon bij paprika een energiebesparing van 15-20% worden bereikt zonder verlies aan productie of kwaliteit. Doordat echter bij paprika de plantbelasting en daarmee de assimilatenbehoefte van het gewas sterke fluctuaties vertoont, bleek het productiepatroon wel minder regelmatig te worden. Om toch een regelmatige productie te behouden zal voor dit gewas meer rekening moeten worden gehouden met het effect van de variaties in plantbelasting op de temperatuurbehoefte. Gezien het bewezen energiebesparingspotentieel van de RRT-benadering is het van belang om de toepasbaarheid van dit concept ook bij andere vruchtgroenten te toetsen. Het is voorstelbaar dat RRT bij gewassen met een wat rustiger productiepatroon zoals courgette wel zonder meer toepasbaar is.

In een onderzoek met courgettes zijn daarom behandelingen met een lichtafhankelijke temperatuurinstelling vergeleken met een standaard temperatuurinstelling. Hiervoor is een eenvoudig groeimodel voor courgette ontwikkeld gebaseerd op het RRT-principe. Van dit model is in de proef gebruik gemaakt bij het bepalen van de temperatuurinstellingen voor de modelbehandelingen.

Het doel van het onderzoek was om met minimaal 5% minder energie een 5% hogere productie en een gelijke of betere kwaliteit van de courgettes te bereiken. Tevens om meer inzicht in de gewenste teelttemperatuur in relatie tot plantbelasting en lichtbeschikbaarheid te verkrijgen.

In dit verslag worden de opzet en resultaten van dit onderzoek beschreven. Daarnaast wordt uitgebreid stil gestaan bij de achtergronden en toepassing van het groeimodel bij courgette.

2 Materiaal en methoden

2.1 Behandelingen

Voor het onderzoek waren vier kasafdelingen beschikbaar. In elke afdeling werd een andere klimaatbehandeling uitgevoerd, namelijk:

- **'Model lichte stralingsinvloed'** (afdeling 1): Vrij geringe aanpassing van de stook- en ventilatietemperatuur op basis van de stralingssom gemiddeld over 3 dagen. Deze aanpassing bedroeg 0,25 °C/100J.
- **'Model sterke stralingsinvloed'** (afdeling 3): Sterke aanpassing van de stook- en ventilatietemperatuur op basis van de stralingssom gemiddeld over 3 dagen. Deze aanpassing was 0,5 °C/100J.
- **'Momentane stralingsverhoging'** (afdeling 5): Forse invloed van de momentane straling op de stook- en/of ventilatietemperatuur. Basistemperatuurinstelling circa 0,5 à 1 °C lager dan de standaard. Stralingsinvloed 100 – 500 W/m² (vanaf begin april 200 – 600 W/m²) + 6,5 °C (vanaf juni + 5,5 °C) op de stook- en ventilatietemperatuur.
- **'Standaard'** (afdeling 7): Praktijkbehandeling met geringe lichtinvloed (nagestreefde etmaaltemperatuur circa 17,5 °C). Beperkte stralingsverhoging op de stook- en ventilatietemperatuur.

Het streven was om bij de eerste drie behandelingen gemiddeld over een langere periode ongeveer dezelfde etmaaltemperatuur te realiseren als bij de standaard. Dit was uiteraard afhankelijk van de gerealiseerde instraling ten opzichte van het meerjarig gemiddelde. Bij de modelbehandelingen werd veelal wekelijks de basistemperatuur bijgesteld aan de hand van de verwachte stralingssom volgens het langjarig gemiddelde en de uitkomsten van het model. Het groeimodel combineert de licht/temperatuurverhouding met de bladafplitsing, het percentage vrouwtjes, de abortie en de geoogste vruchten. Op de achtergronden en toepassing van het model wordt uitgebreid ingegaan in paragraaf 3.6. De klimaatregeling ging uit van een basistemperatuur, die werd verhoogd in evenredigheid met de gemiddelde stralingssom over de voorafgaande 3 etmalen. In de eerste modelbehandeling werd de basistemperatuur verhoogd met 0,25 °C per 100 J/cm² instraling, in de tweede modelbehandeling was de aanpassingsfactor 0,5 °C per 100 J/cm². Om op een vergelijkbaar gemiddeld temperatuurniveau uit te komen moest de basistemperatuur bij de tweede modelbehandeling dus lager worden ingesteld. Afhankelijk van de gerealiseerde stralingssom werd de temperatuurstelling bij de twee modelbehandelingen elk uur automatisch door de klimaatcomputer aangepast. Tot en met maart is rond zonop een kouval toegepast gedurende 3 uur met een streef temperatuur van 12,5°C.

In overleg met de begeleidingsgroep van de proef zijn in de eerste twee weken bij alle behandelingen dezelfde klimaatinstellingen ingesteld. Door vrij hoge temperaturen in te stellen is in deze weken getracht om zo snel mogelijk voldoende bladoppervlak te realiseren om te kunnen profiteren van de instraling. In Bijlage 1 zijn de klimaatinstellingen bij de start van het onderzoek weergegeven. Vanaf week 6 zijn de klimaatbehandelingen ingezet.

2.2 Waarnemingen

Vooraf ten behoeve van het model zijn er veel plantwaarnemingen verricht:

Productie	: dagelijks aantal vruchten en gewicht
Kwaliteit	: dagelijks aantal klasse I en II
Plantbelasting	: aantal vruchten aan de plant vanaf de bloei. Waarnemingen op maandag, woensdag en vrijdag bij 14 planten per behandeling
Uitgroeiduur	: bepaling via labels bij bloei meestal op één dag in de week bij 10 vruchten per behandeling
Bladeren	: aantal zichtbare bladeren per week, waarnemingen op maandag bij 14 planten per behandeling. Als kleinste blad werd een blad genomen met een totale lengte (bladsteel + bladschijf) van circa 10 cm en een oppervlakte van circa 35 m ² .
Bloemen	: aantal mannelijke en vrouwelijke bloemen per week in de bladoksels van de zichtbare bladeren bij 14 planten per behandeling. Waarnemingen op maandag.
Vruchtabortie	: wekelijks bij 14 planten per behandeling aantal vruchtbeginsels die aborteren ofwel geel worden voordat ze gebloeid hebben. Dit zijn 'geeltjes'. Tevens aantal vruchtjes die aborteren ofwel zwart worden enige tijd na de bloei, de zogenaamde 'zwartjes'.
Bladoppervlakte	: meting bladoppervlakte bij 4 planten per behandeling via meting bladlengte- en breedte op 26/2, 3/2, 28/2 en 17/3. Daarnaast bij de destructieve metingen bij 2 planten met behulp van bladoppervlaktemeter op 18/2, 24/4 en 6/7.
Bladsteellengte	: meting bladsteel van circa 2 weken oud blad bij 10 planten per behandeling op 25/2, 17/3, 26/4, 18/5 en 18/6
Potentiële vruchtgroei	: drie à zeven maal per week lengte en diameter van uitgroeïende vrucht meten bij 2 planten per behandeling met één vrucht. Startmetingen op 19/2, 10/4 en 21/6.
Metingen voor groeicurve	: meting lengte, diameter, versgewicht en droge stofgehalte bij 20 vruchten per behandeling in verschillende ontwikkelingsstadia op 16/3, 17/5 en 1/7
Destructieve meting	: plant 'slachten' en vers en droog gewicht meten van mannelijke bloemen, vruchten en vruchtbeginsels aan plant, stengels en bladeren apart. Meting bij 2 planten per behandeling op 18/2, 24/4 en 6/7.

Van het klimaat werden per 5 minuten de volgende parameters geregistreerd: kasttemperatuur, relatieve luchtvochtigheid, buistemperatuur, CO₂, ventilatie, planttemperatuur, instraling en PAR (=fotosynthetisch actieve straling). De PAR- en de stralingsmeting werden alleen in de behandeling met de grootste temperatuurvariatie uitgevoerd, namelijk bij de behandeling 'momentane stralingsverhoging'. De planttemperatuurmeter werd zodanig gericht dat vooral het bovenste gedeelte van enkele planten, vooral de kop, werd gemeten. De berekening van het energiegebruik gebeurde op basis van het model van Nawrocki (1985), waarin gebruik gemaakt wordt van de gerealiseerde buis- en kasttemperatuur.

2.3 Overige gegevens

Kas	: PPO-kas 210 afdelingen 1, 3, 5 en 7
Groote afdeling	: 58 m ²
Zaaidatum	: 24 december 2003
Plantdatum	: 20 januari 2004
Ras	: Bengal (in proef), langs rand Goldrush (voor bestuiving)

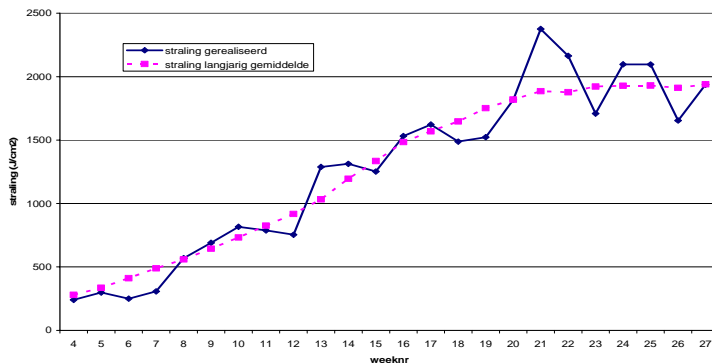
Plantdichtheid	: 1,5 planten/m ² (42 cm)
Aantal planten/veld	: 14
Veldgrootte	: oppervlakte 9,33 m ²
Herhalingen	: één afdeling per behandeling
Luchtbevochtiging	: in eerste teeltweken regelmatig natmaken bevoeiingsmatten op beton
Start klimaatbehandelingen	: week 6
Teeltduur	: tot en met 4 juli 2004

3 Resultaten en bespreking

3.1 Klimaat

In Bijlage 2 zijn de aanpassingen in de klimaatinstellingen tijdens het verloop van het onderzoek weergegeven. In verband met de toenemende instraling is in de loop van het seizoen de basistemperatuur bij de twee modelbehandelingen duidelijk lager ingesteld. Door de invloed van de stralingssom kwam de gerealiseerde temperatuur echter toch rond de kastemperatuur bij de standaard uit.

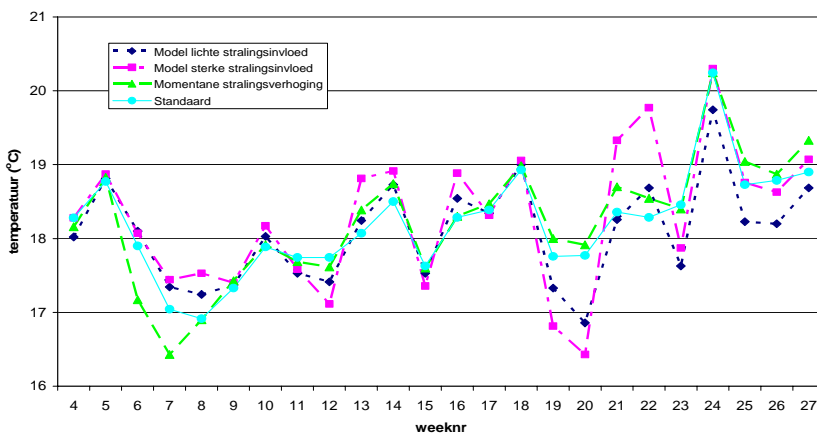
In de volgende figuur is de gerealiseerde stralingssom weergegeven in vergelijking met het langjarig gemiddelde.



Figuur 1 : De gerealiseerde stralingssom per dag in vergelijking met het langjarig gemiddelde per week weergegeven.

In week 6 en 7 is er duidelijk minder instraling geweest dan normaal, terwijl de stralingssom per dag in week 4 en 5 ook onder het gemiddelde lag. Een relatief hoge instraling was er in week 21 en 22. Gemiddeld over de gehele teeltperiode is de gerealiseerde instraling vrijwel gelijk geweest aan het meerjarig gemiddelde. De gerealiseerde stralingssom en stralingssom gemiddeld over een groot aantal jaren was in de betreffende teeltperiode gemiddeld respectievelijk 1274 en 1268 J/cm² per dag.

De gerealiseerde temperatuur per week bij de verschillende klimaatbehandelingen is weergegeven in figuur 2.



Figuur 2: De gemiddelde etmaaltemperatuur per week weergegeven voor de vier klimaatbehandelingen.

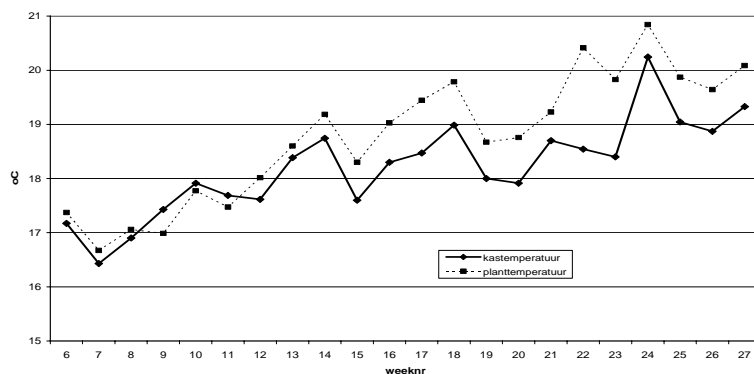
In de eerste twee teeltweken zijn de klimaatbehandelingen gelijk ingesteld. Daarna zijn de instellingen afhankelijk van de verwachte instraling en de uitkomsten van de wekelijkse modelberekening. In sommige weken komen er duidelijke verschillen in gerealiseerde temperatuur voor. Zo is in week 6 tot en met 8 bij de standaard en met name bij de momentane stralingsverhoging de temperatuur duidelijk lager dan bij de modelbehandelingen. In week 19 en 20 liggen de temperaturen van de modelbehandelingen juist duidelijk lager dan van de andere twee behandelingen. In week 20 is het verschil tussen de standaard en de modelbehandeling met sterke stralingsinvloed zelfs 1,5 °C. De fluctuatie in gemiddelde temperatuur per week is bij de standaard het geringst. Deze reageert ook het minst op de instraling.

Tabel 1 : Het gemiddeld gerealiseerde klimaat in de periode dat verschillende klimaatbehandelingen zijn ingesteld van week 6 tot en met 27.

Klimaat-behandeling	Setpoint temperatuur (°C)	Etmaaltemperatuur (°C)	Dagtemperatuur (°C)	Nachttemperatuur (°C)	RV (%)	Ventilatie dag (%)	CO ₂ -gehalte dag (ppm)	Buistemperatuur etmaal (°C)
Model lichte stralingsinvloed	16,9	18,1	19,0	16,4	79,4	42,6	689	32,6
Model sterke stralingsinvloed	16,9	18,3	19,2	16,5	80,3	52,7	665	32,5
Momentane stralingsverhoging	17,2	18,2	19,7	15,8	81,8	25,8	711	29,8
Standaard	17,0	18,2	19,2	16,3	79,3	46,9	678	31,8

- Over de gehele proefperiode is de setpointtemperatuur ofwel de berekende temperatuur iets hoger in de afdeling met de momentane stralingsverhoging.
- De verschillen tussen de behandelingen in gerealiseerde etmaaltemperatuur zijn over de gehele periode gezien zeer gering.
- De gerealiseerde dagtemperatuur ligt duidelijk hoger en de nachttemperatuur duidelijk lager in de afdeling met de momentane stralingsverhoging dan bij de andere behandelingen.
- De RV-versillen zijn gering. Bij de momentane stralingsverhoging ligt deze iets hoger.
- Gemiddeld over de gehele periode is er overdag in de afdeling met momentane stralingsverhoging duidelijk minder geventileerd in vergelijking met de andere afdelingen.
- Het CO₂-gehalte is overdag bij de momentane stralingsverhoging het hoogst. Het verschil met de standaard is gemiddeld ruim 30 ppm. In sommige weken was dit echter zo'n 100 ppm (week 16 en 17). Dit wordt grotendeels veroorzaakt door minder ventileren.
- De gemiddelde buistemperatuur in de afdeling met momentane stralingsverhoging is lager en in de twee modelbehandelingen hoger dan bij de standaard.

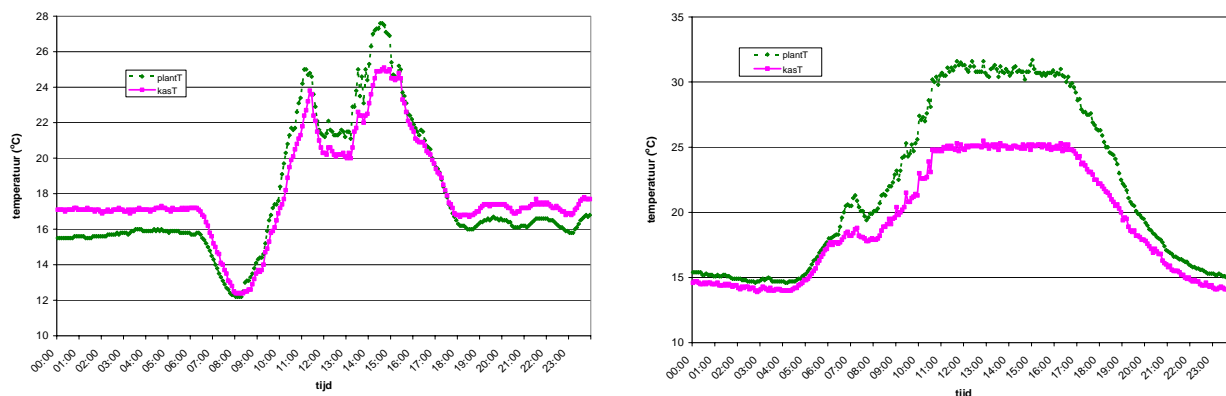
In figuur 3 is de kas- en planttemperatuur gemiddeld per week weergegeven in de afdeling met momentane stralingsverhoging.



Figuur 3 : Gemiddelde kas- en planttemperatuur per week in de afdeling met momentane stralingsverhoging.

In de eerste weken tot en met week 11 ligt de gemiddelde planttemperatuur dichtbij of iets onder de kasttemperatuur. In de weken daarna ligt de planttemperatuur steeds boven de kasttemperatuur. Vooral in week 22 is de planttemperatuur fors hoger, namelijk bijna 2 °C. Gemiddeld over de gehele periode is de kas- en planttemperatuur in deze afdeling respectievelijk 18,2 en 18,8 °C.

In figuur 4 staat het verloop van de kas- en planttemperatuur weergegeven op twee dagen met een verschillende instraling, namelijk 1 maart en 31 mei. De stralingssom op deze data is respectievelijk 929 en 2635 J/cm².



Figuur 4 : Verloop van de kas- en planttemperatuur op respectievelijk 1 en 31 mei 2004.

Op 1 maart ligt de planttemperatuur 's nachts ongeveer 1,5 °C onder de kasttemperatuur, overdag ligt deze erboven. In de figuur is ook goed de kouval rond zonop te zien. De lagere plant- dan kasttemperatuur in de nacht heeft hoogstwaarschijnlijk te maken met een sterke uitstraling naar buiten toe bij heldere hemel. Op 31 mei, dat is een dag met veel instraling, ligt de planttemperatuur steeds boven de ruimtetemperatuur. Vooral overdag bij veel zon ligt deze fors hoger, namelijk circa 6 °C!

3.2 Energiegebruik

Met behulp van een model is het gasverbruik per behandeling uitgerekend. In de volgende tabel is het gasverbruik per week weergegeven en het procentuele verbruik ten opzichte van de standaardafdeling.

Tabel 2 : Het berekende gasverbruik per week in de vier afdelingen vanaf het instellen van de klimaatbehandelingen tot het einde van de proef en het procentuele verschil in gasverbruik ten opzichte van de standaardbehandeling.

Week-nummer	Gasverbruik model lichte stralingsinvloed (m ³ /m ²)	Gasverbruik model sterke stralingsinvloed (m ³ /m ²)	Gasverbruik momentane stralingsverhoging (m ³ /m ²)	Gasverbruik standaard	% verbruik 'model licht' t.o.v. standaard	% verbruik 'model sterk' t.o.v. standaard	% verbruik 'momentaan' t.o.v. standaard
6	1,22	1,11	0,92	1,13	8,6	-1,5	-18,1
7	1,25	1,23	0,97	1,16	7,6	5,5	-16,6
8	1,60	1,70	1,41	1,61	-0,7	5,5	-12,3
9	2,02	2,06	1,88	1,93	4,7	6,7	- 2,4
10	1,47	1,54	1,17	1,35	9,0	14,4	-13,0
11	1,47	1,50	1,24	1,50	-1,8	0,4	-17,2
12	0,90	0,75	0,66	0,84	6,9	-10,8	-21,3
13	1,24	1,31	0,87	1,04	19,5	26,1	-16,5
14	0,68	0,68	0,38	0,49	39,6	39,8	-22,2
15	0,99	0,91	0,63	0,84	18,3	9,1	-24,6
16	0,81	0,81	0,51	0,61	32,7	32,1	-17,0
17	0,59	0,54	0,43	0,52	13,9	2,8	-18,0
18	0,38	0,33	0,21	0,29	31,5	15,8	-26,2
19	0,50	0,34	0,35	0,50	0,4	-31,1	-29,4
20	0,32	0,26	0,25	0,32	0,2	-18,0	-23,9
21	0,32	0,38	0,26	0,33	-1,0	17,2	-21,2
22	0,43	0,48	0,27	0,35	22,6	36,4	-22,6
23	0,23	0,19	0,20	0,27	-12,9	-27,4	-26,4
24	0,17	0,17	0,16	0,20	-14,1	-14,6	-19,5
25	0,22	0,23	0,19	0,25	-9,8	-7,3	-23,8
26	0,21	0,20	0,19	0,25	-15,4	-19,8	-26,1
27	0,19	0,20	0,13	0,20	-5,7	0,4	-34,2
<i>Totaal/gem,</i>	<i>17,2</i>	<i>16,9</i>	<i>13,3</i>	<i>16,0</i>	<i>7,9</i>	<i>6,1</i>	<i>-16,8</i>

- In alle weken is het gasverbruik in de afdeling met de momentane stralingsverhoging lager dan in de standaard. Gemiddeld is er 2,7 m³/m² minder verbruikt. Dat betekent een energiebesparing van bijna 17%.
- In de beide modelafdelingen ligt het verbruik wat hoger dan bij de standaard. Gemiddeld bedraagt het meerverbruik respectievelijk 1,2 en 0,9 m³/m² ofwel circa 8 en 6%.
- In de eerste twee weken, toen de klimaatinstellingen nog niet verschillend waren, bedroeg het berekende gasverbruik in totaal circa 4,4 m³/m². Het totale gasverbruik over de gehele proefperiode kwam bij de standaard daarmee uit op zo'n 20,5 m³/m².

3.3 Productie en kwaliteit

De eerste oogst in de proef vond plaats op 24 februari 2004. In de volgende twee tabellen zijn de vroege en totaalproductie gegeven. Vervolgens is in figuur 5 is de cumulatieve productie in stuks weergegeven.

Tabel 3 : Vroege productie en kwaliteit tot en met week 13 (28 maart 2004).

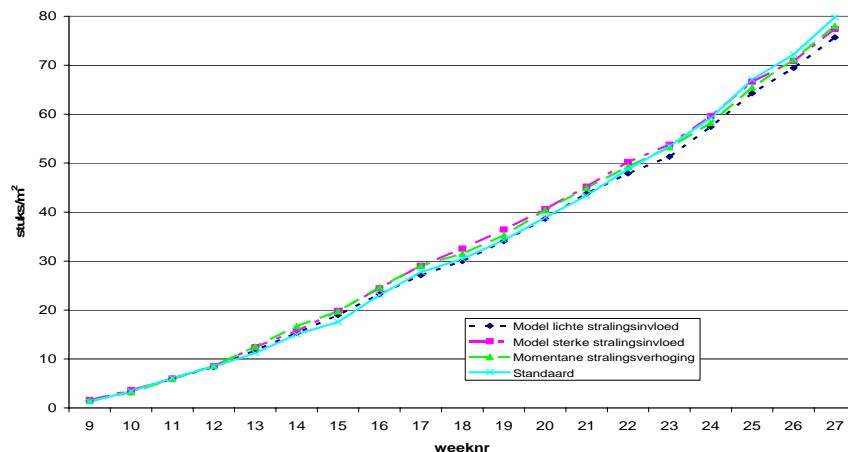
Behandeling	Stuks/m ² klasse I+II	Kg/m ² klasse I+II	Gemiddeld vruchtgewicht (g)	% klasse II
Model lichte stralingsinvloed	11,8	3,4	289	1,8
Model sterke stralingsinvloed	12,4	3,6	290	1,8
Momentane stralingsverhoging	12,5	3,7	300	3,4
Standaard	11,3	3,2	284	4,8
<i>Gemiddeld</i>	<i>12,0</i>	<i>3,5</i>	<i>291</i>	<i>3,0</i>

- De behandeling met momentane stralingsverhoging en de modelbehandeling met sterke stralingsinvloed geven vroeg ongeveer 1 vrucht per vierkante meter meer dan de standaard.
- Deze behandelingen liggen ook qua kilos iets hoger dan de standaard.
- Het gemiddeld vruchtgewicht is het hoogst bij de momentane stralingsverhoging en het laagst bij de standaard.
- Bij de standaard is er vroeg iets meer klasse II geoogst.

Tabel 4 : Totaalproductie en kwaliteit tot en met week 27 (5 juli 2004).

Behandeling	Stuks/m ² klasse I+II	Kg/m ² klasse I+II	Gemiddeld vruchtgewicht (g)	% klasse II
Model lichte stralingsinvloed	75,7	28,6	374	2,6
Model sterke stralingsinvloed	77,4	28,3	370	4,3
Momentane stralingsverhoging	78,0	28,3	362	5,4
Standaard	79,8	29,9	375	3,4
<i>Gemiddeld</i>	<i>77,7</i>	<i>28,8</i>	<i>370</i>	<i>3,9</i>

- De meeste vruchten zijn geoogst bij de standaard behandeling. Het aantal vruchten bij de modelbehandeling met lichte stralingsinvloed is het laagst.
- Bij de standaard zijn de meeste kilos geoogst.
- Bij de momentane stralingsverhoging zijn de vruchten wat lichter in gewicht.
- Percentage klasse 2 blijkt bij momentane stralingsverhoging iets hoger te liggen dan bij de standaard.



Figuur 5 : Cumulatieve stuksproductie per week bij de vier klimaatbehandelingen.

In de figuur is te zien dat de behandeling met momentane stralingsverhoging qua productie eerst voorloopt op de standaardbehandeling en pas in de laatste maand wat achter gaat lopen.

3.4 Gewaswaarnemingen

3.4.1 Gewasstand

Eind januari stonden de planten wat licht van kleur. De druppel-EC is daarna verhoogd naar 4 mS/cm, waarna het gewas donkerder werd. Eind maart/begin april stond het gewas in de afdeling met momentane stralingsverhoging er het best op. Wel leek het gewas, met name de bladstelen, in deze kas wat slapper. In de beide modelafdelingen stond toen het stevigste en stugste gewas.

Vrijwel de gehele teelt zijn er veel geaborteerde vruchtjes ofwel zwartjes ontstaan (zie paragraaf 3.4.7). Waarschijnlijk mede daardoor groeiden de planten steeds vrij fors. Vanaf begin mei ontstond er vooral op beschadigingen op de bladstelen zeer snel bacterierot, hoogstwaarschijnlijk veroorzaakt door *Erwinia carotovora*. Door de aangetaste bladeren snel te verwijderen werd voorkomen dat de bacterie de stengels aantastte. Er is weinig plantuitval opgetreden. Aan het einde van de proef lag het percentage dode planten bij alle behandelingen rond de 7%.

3.4.2 Aantal bladeren

In de volgende tabel is het aantal gevormde bladeren gegeven per behandeling.

Tabel 5 : het aantal bladeren bij de start, het totaal aantal gevormde bladeren tijdens de proefperiode en het gemiddeld aantal gevormde bladeren per week per behandeling weergegeven.

Behandeling	Aantal bladeren bij start	Totaal aantal bladeren einde proef	Gemiddeld aantal bladeren per week
Model lichte stralingsinvloed	4,4	115,8	4,8
Model sterke stralingsinvloed	4,4	113,1	4,7
Momentane stralingsverhoging	4,4	118,9	5,0
Standaard	4,1	113,5	4,8

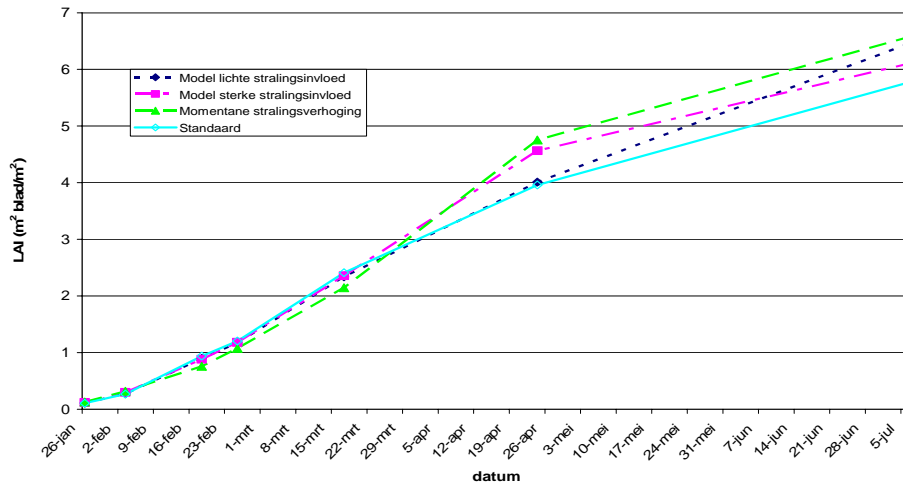
Ondanks een gelijke etmaaltemperatuur heeft de behandeling met de momentane stralingsverhoging ruim vijf bladeren meer aangemaakt dan de standaard.

3.4.3 Bladsteellengte

De bladsteellengte gemiddeld over vijf waarnemingsdata is bij de modelbehandelingen met lichte en sterke stralingsinvloed, de momentane stralingsverhoging en de standaard respectievelijk 49,4 49,9 50,7 en 49,4 cm. De verschillen in bladsteellengte zijn dus gering. Mogelijk zijn de bladstelen iets langer bij de behandeling met momentane stralingsverhoging.

3.4.4 Bladoppervlak

In de volgende figuur is de LAI (Leaf Area Index= oppervlakte blad per m²) op zeven waarnemingsdata weergegeven bij de vier behandelingen. Er stonden 1,5 planten per vierkante meter.

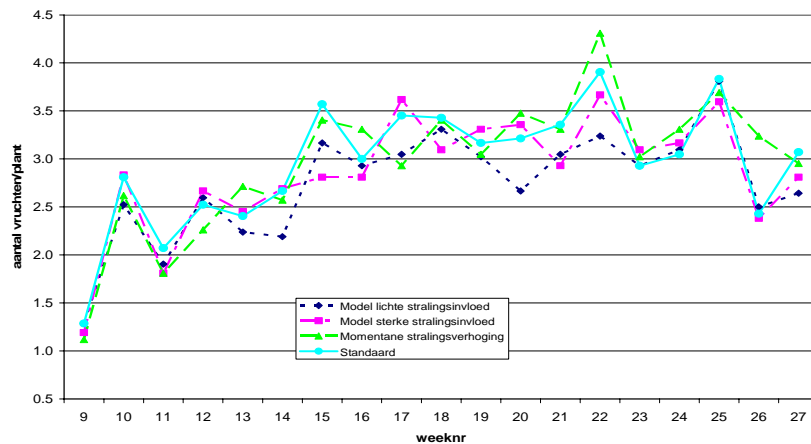


Figuur 6 : Het verloop van de LAI in de tijd bij de vier klimaatbehandelingen.

- De LAI zit half april al gemiddeld op ruim 4 en aan het eind van de teelt op ruim 6. Dat is hoog.
- De verschillen in LAI tussen de behandelingen ontstaan vooral in de tweede helft van de teelt.
- Met name op de laatste twee waarnemingsdata is de LAI bij de standaard wat lager.

3.4.5 Plantbelasting

In de volgende figuur is het verloop van de plantbelasting weergegeven bij de verschillende klimaatbehandelingen.



Figuur 7 : Het verloop van de plantbelasting (aantal vruchten/plant) per week bij de vier klimaatbehandelingen.

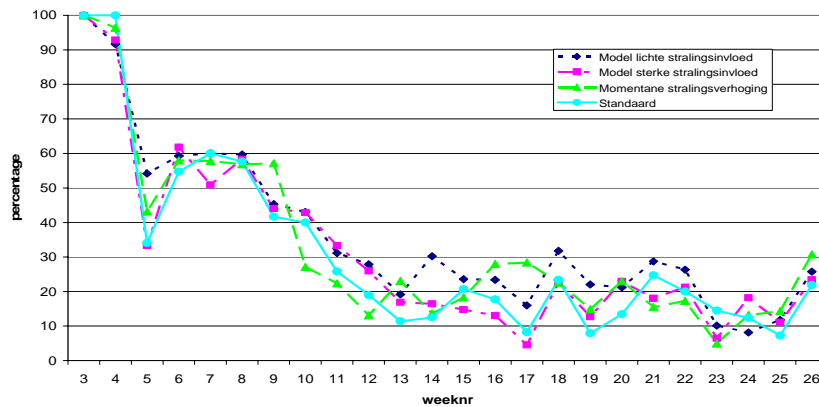
- De plantbelasting is in de eerste zes weken vrij laag en blijft dan lange tijd globaal hangen tussen de 3 en 3,5 vruchten per plant per week. In de laatste twee weken daalt deze weer naar onder de 3 vruchten per plant.
- In de figuur is te zien dat de plantbelasting bij de modelbehandeling lichte stralingsinvloed in veel weken aan de lage kant is.
- De plantbelasting gemiddeld over de gehele waarnemingsperiode is bij model lichte stralingsinvloed, model sterke stralingsinvloed, momentane stralingsverhoging en de standaard respectievelijk 2,1 2,2 2,3 en 2,3 vruchten per plant per week. Omgerekend naar vierkante meter is dit respectievelijk 3,1 3,3 3,4 en 3,4 vruchten per vierkante meter per week.

3.4.6 Mannelijke bloemen

Gemiddeld over de gehele periode bedraagt het percentage mannelijke bloemen bij de modelbehandelingen met lichte en sterke stralingsinvloed, momentane stralingsverhoging en de standaard respectievelijk 33,8

28,9 29,2 en 27,2%. Het percentage mannelijke bloemen lijkt bij de behandeling met lichte stralingsinvloed iets hoger te zijn dan bij de andere behandelingen.

In de volgende figuur is per klimaatbehandeling het percentage mannelijke bloemen per week weergegeven.

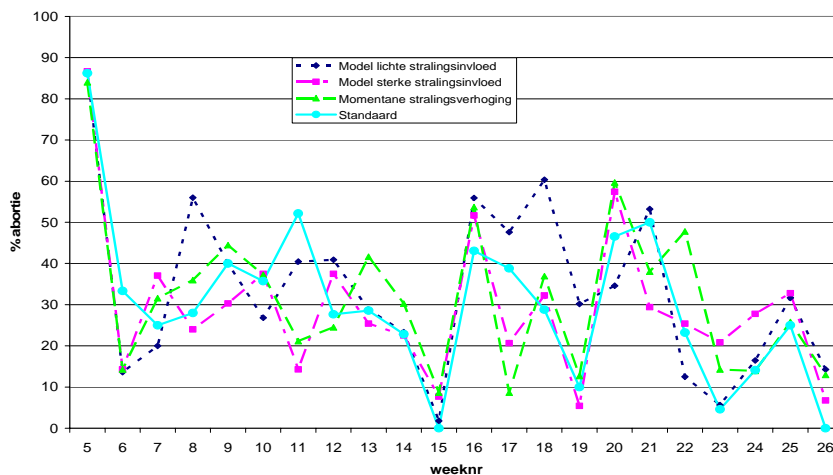


Figuur 8 : Het percentage mannelijke bloemen bij de vier klimaatbehandelingen per week weergegeven.

- In de onderste bladoksels zitten er alleen maar mannelijke bloemen. In week 5 tot en met 10 schommelt het percentage mannelijke bloemen rond de 50%. Daarna ligt het percentage rond de 20.
- In geen enkele week is er voor de bestuiving een tekort aan mannelijke bloemen.
- Van week 14 tot en met week 22 ligt het percentage mannelijke bloemen bij de modelbehandeling met lichte stralingsinvloed meestal iets hoger dan bij de rest.

3.4.7 Abortie

In de volgende figuur is het percentage geaborteerde vruchten, dat is het percentage zwartjes en geeltjes bij elkaar, weergegeven.



Figuur 9 : Het percentage geaborteerde vruchten per week bij de vier klimaatbehandelingen.

- Het percentage geaborteerde vruchten vertoont sterke schommelingen in de tijd. In de bladoksels van de bladeren die zichtbaar worden in week 5, worden de meeste vruchtbeginsels in een vroeg stadium geel, de zogenaamde geeltjes. Dit heeft waarschijnlijk te maken met de lage instraling in combinatie met de relatief hoge kastemperatuur in deze periode.
- Bij alle behandelingen blijft de hoeveelheid abortie later in de tijd echter op een hoog niveau hangen. Alleen in week 15 en in de laatste oogstweken is het percentage geaborteerde vruchten bij alle behandelingen vrij laag. Opvallend is dat in week 17 tot en met 19 er bij de modelbehandeling met lichte stralingsinvloed relatief veel geaborteerde vruchtjes zijn.

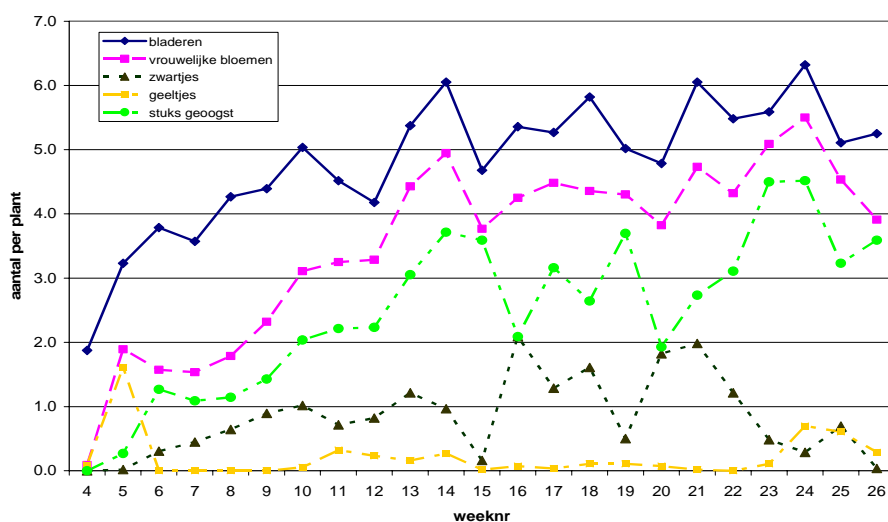
In de volgende tabel is het aantal en percentage geaborteerde vruchtjes gegeven opgesplitst naar de soort abortie.

Tabel 6 : Het totaal aantal en het gemiddeld percentage geeltjes en zwartjes per plant over de gehele proefperiode bij de vier behandelingen.

Behandeling	Totaal aantal zwartjes	Totaal aantal geeltjes	Totaal aantal geaborteerde vruchten	Percentage zwartjes	Percentage geeltjes	Percentage abortie
Model lichte stralingsinvloed	19,9	5,0	24,9	25,6	6,4	32,0
Model sterke stralingsinvloed	17,4	5,4	22,7	21,6	6,7	28,3
Momentane stralingsverhoging	20,4	4,9	25,2	24,2	5,8	30,0
Standaard	19,1	4,2	23,4	23,1	5,1	28,2
<i>Gemiddeld</i>	<i>19,2</i>	<i>4,9</i>	<i>24,1</i>	<i>23,6</i>	<i>6,0</i>	<i>29,6</i>

- In totaal zijn er bij de momentane stralingsverhoging de meeste en bij modelbehandeling sterke stralingsinvloed de minste zwartjes ontstaan.
- Het aantal geeltjes is bij de standaard het laagst.
- Het totaal aantal geaborteerde vruchtjes is het hoogst bij de momentane stralingsverhoging en bij de modelbehandeling met lichte stralingsinvloed.
- Het percentage zwartjes is het hoogst bij de modelbehandeling lichte stralingsinvloed en het laagst bij model sterke stralingsinvloed.
- De modelbehandelingen met lichte en sterke stralingsinvloed hebben het hoogste percentage geeltjes. De standaardbehandeling heeft het laagste percentage geeltjes.
- Gemiddeld zijn er over de gehele periode bijna 30% van de vruchtjes in een eerder of later stadium geaborteerd.

In Bijlage 3 en 4 is in één figuur per behandeling per week het aantal gevormde bladeren, vrouwelijke bloemen, zwartjes, geeltjes en geogste vruchten per plant weergegeven. In de volgende figuur is hetzelfde gedaan, maar dan gemiddeld over alle behandelingen.

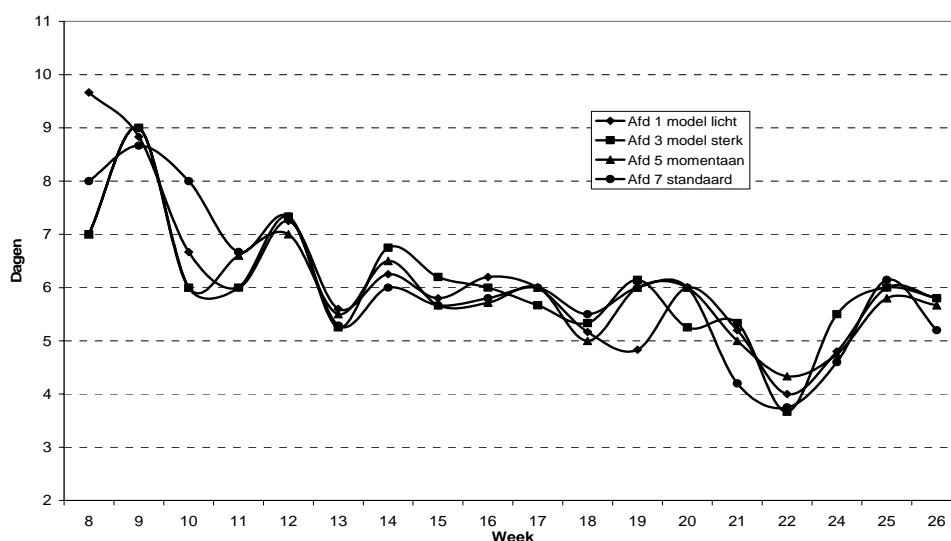


Figuur 10 : Het aantal gevormde bladeren, vrouwelijke bloemen, zwartjes, geeltjes en geogste vruchten per plant gemiddeld over alle klimaatbehandelingen.

- In deze figuur is ook goed te zien dat vrijwel alle vruchtbeginsels die gevormd zijn in week 5 geel worden. Verder in de tijd is het aantal geeltjes vrij laag, alleen in de laatste drie waarnemingsweken neemt dit weer wat toe.
- Het aantal zwartjes vertoont enkele pieken en dalen in de tijd. Het aantal zwartjes is relatief laag bij de vruchtjes die zichtbaar geworden zijn in week 15, 19, 24 en 26.
- Het aantal geogste vruchten per week hangt af van het aantal gevormde bladeren, het aantal vrouwelijke bloemen en de hoeveelheid abortie. Vooral van de vruchtbeginsels die zichtbaar werden in week 23 en 24 zijn er veel goede vruchten geogst, zo'n 4,5 vrucht per plant. Dat is circa 6,8 vruchten per vierkante meter.

3.4.8 Uitgroeiduur

In de volgende figuur is het verloop van de uitgroeiduur weergegeven voor de verschillende behandelingen.



Figuur 11 : Het verloop van de uitgroeiduur bij de vier klimaatbehandelingen.

- De uitgroeiduur neemt af in de tijd.
- Met zo'n vier dagen is vooral de uitgroeiduur in week 22 erg kort.
- De gemiddelde uitgroeiduur over de gehele periode is bij alle behandelingen circa zes dagen.

3.4.9 Droge stofgehalte

Op 18 februari, 24 april en 6 juli is het versgewicht- en de drogestof van bladeren, stengels en uitgroeïende vruchten bepaald. In de volgende tabel is het drogestofgehalte van de stengels en bladeren op verschillende data vermeld.

Tabel 7: Het droge stofgehalte (% ds) van stengels en bladeren op enkele bepalingen bij de vier behandelingen.

Behandeling	% ds stengel				% ds blad			
	Februari	April	Juli	Gem.	Februari	April ¹⁾	Juli	Gem.
Model lichte stralingsinvloed	4,6	6,7	8,9	6,7	6,5	.	7,8	7,1
Model sterke stralingsinvloed	4,1	6,8	8,5	6,5	6,4	.	7,4	7,0
Momentane stralingsverhoging	3,6	6,4	8,1	6,1	6,2	.	8,0	7,1
Standaard	5,2	6,6	8,4	6,7	6,6	.	7,6	7,1
<i>Gemiddeld</i>	<i>4,4</i>	<i>6,6</i>	<i>8,5</i>	<i>6,5</i>	<i>6,4</i>	.	<i>7,7</i>	<i>7,1</i>

¹⁾ Cijfers onbetrouwbaar in verband met een gecombineerde analyse van goede en min of meer verdroogde bladeren

- Het droge stofgehalte in de stengel is bij de momentane stralingsverhoging steeds wat lager dan bij de andere behandelingen. Procentueel gezien is het 10% lager.
- Het droge stofgehalte van de stengel neemt sterk toe in de tijd: het verdubbelt bijna.
- Gemiddeld is er tussen de behandelingen weinig verschil in droge stofgehalte van de bladeren.
- Het droge stofgehalte in het blad is in juli zo'n 20% hoger dan in februari.

Het percentage droge stof van de oogstbare vruchten is in het begin van het seizoen wat lager dan in de tweede helft van de teelt. Half maart schommelt het droge stofgehalte van de vruchten rond de 4% en in mei en begin juli rond de 5%. In paragraaf 3.8.6 wordt uitgebreider op het droge stofgehalte ingegaan.

Het totale versgewicht per plant van de vegetatieve delen (bladeren en stengels) op 18 februari, 24 april en 6 juli is gemiddeld over alle behandelingen respectievelijk 362, 1662 en 6395 g. Het drooggewicht is respectievelijk 22,6 158 en 669 g per plant.

Uit berekening van de verzamelde gegevens blijkt dat 56% van de geproduceerde droge stof naar de vruchten gaat en de rest naar de vegetatieve delen.

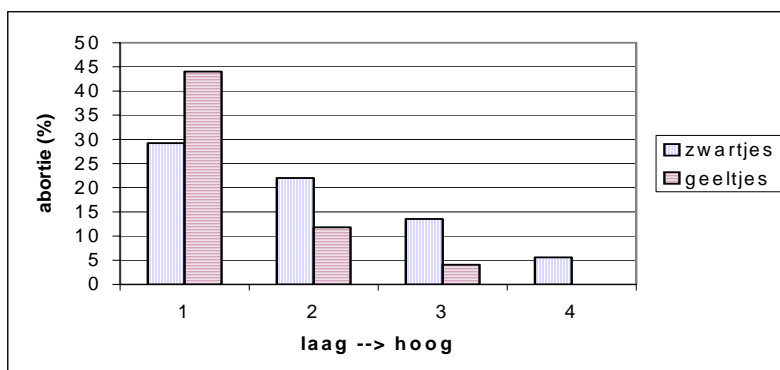
Half april is de vegetatieve assimilatenvraag, dat is de assimilatenbehoefte van groeipunt plus onderhoud vegetatieve delen, even groot als de generatieve vraag van de vruchten. Aan het einde van de teelt blijkt de vegetatieve sink 2,3 keer zo groot te zijn dan de generatieve sink.

4 Beschrijving van het simulatiemodel

4.1 Inleiding

4.1.1 Achtergrond

Courgette is een van de kleinere vruchtgroenten in de Nederlandse glastuinbouw. De courgetteplant heeft van nature een hoog productietempo. Er worden ongeveer vijf bladeren per week afgesplitst. In elk bladoksel wordt een bloem aangelegd. De verhouding tussen mannelijke en vrouwelijke bloemen is variabel en lijkt afhankelijk van source / sinkrelaties. Het begrip 'source' staat hierbij voor de beschikbaarheid van assimilaten, ontstaan uit fotosynthese, terwijl het begrip 'sink' staat voor de vraag naar assimilaten door de verschillende organen van de plant. Uitgroeïende vruchten werken over het algemeen als sterke sinks. El-Keblawy & Lovett-Doust (1996) beschreven dat het voortijdig wegnemen van vruchten het aandeel vrouwelijke bloemen stimuleert. Alleen vrouwelijke bloemen kunnen een vrucht geven, maar er is een minimum aandeel mannelijke bloemen nodig voor de bestuiving. Niet alle bloemen vormen echter een vrucht: ze kunnen ook aborteren. Geaborteerde bloemen worden 'geeltjes' genoemd. Ook bloemen die al een vrucht hebben gevormd kunnen aborteren. Geaborteerde vruchten worden 'zwartjes' genoemd. Ze blijven vrij klein, worden donker en groeien niet door. In een kort vooronderzoek bij PPO is aannemelijk gemaakt dat de processen die leiden tot bloem- en vruchtabortie ook onder invloed staan van source/sinkrelaties in de plant. Zo bleek het verwijderen van blad, waardoor vooral het aanbod van assimilaten afneemt, te leiden tot meer abortie. Werd een deel van de vruchten weggenomen, waardoor de vraag naar assimilaten tijdelijk afneemt, dan aborteerden juist minder bloemen en vruchtjes (figuur 12).



Figuur 12: De invloed van verschillende snoeibehandelingen op abortiepercentages bij courgette. De behandelingen resulteerden in verschillende source / sinkverhoudingen; 1 gaf de laagste verhouding, 4 de hoogste. Bij de planten van behandeling 1 was 80% van het blad verwijderd, bij behandeling 2 was dat 50%, behandeling 3 was standaard, terwijl bij behandeling 4 50% van de vruchten was verwijderd.

Courgetteteelers streven ernaar de hoeveelheid abortie zo laag mogelijk te houden. Bekend is dat een lagere plantdichtheid leidt tot minder abortie. Dit is echter een afweging: minder planten in de kas leidt ook tot een verlaging van het productiepotentieel (Janse, 2000).

In het kader van het energieonderzoek wordt kritisch gekeken naar de teelttemperatuur. Hier is in principe sprake van een vergelijkbare afweging: hoe hoger de temperatuur, des te hoger zal over het algemeen het tempo liggen waarmee bladeren worden afgesplitst, en dus ook hoe meer bloemen zullen worden aangelegd. Het productiepotentieel neemt hierdoor toe. Aan de andere kant zal een verhoging van de temperatuur bij een gegeven lichtbeschikbaarheid leiden tot een lagere source/sink verhouding, en daarmee tot een verminderd aandeel vrouwelijke bloemen en een hoger abortiepercentage (Janse, 2001).

Het derde element in het samenspel van source en sink is de plantbelasting. Als in de voorafgaande weken de source/sinkverhouding hoog is geweest, dan zullen er relatief veel uitgroeiende vruchten aan de plant hangen waardoor de actuele assimilatievraag hoog zal zijn. Hierdoor is er een grotere kans op abortie en aanleg van mannelijke bloemen. Omgekeerd, als er in het recente verleden juist veel mannelijke bloemen uitkwamen of veel abortie heeft plaatsgevonden, dan zal waarschijnlijk momenteel de plantbelasting, en de bijbehorende assimilatievraag, laag zijn. Onder die omstandigheden zijn de voorwaarden voor het ontstaan van vrouwelijke bloemen en het met succes uitgroeien van vruchten gunstig. De teelthistorie heeft dus invloed op de actuele toestand van het gewas, en de actuele toestand is weer bepalend voor de reactie van het gewas op de actuele teeltcondities.

Het hier beschreven model is ontwikkeld om inzicht te geven in dit complex van relaties, en om de teler te helpen bij het kiezen van de meest geschikte teelttemperatuur. Het model werd ontwikkeld en gecalibreerd op basis van gegevens afkomstig uit een temperatuurproef in 2003 met courgette cv 'Bengal' en 'Goldrush' (Janse en Berkhout, 2003), en toegepast om mee te rekenen in een proef met 'Bengal' in 2004.

4.1.2 Toepassing van het model in experimentele temperatuurbehandelingen

In het teeltseizoen 2004 is onderzoek uitgevoerd met als doel om de effecten van verschillende temperatuurbehandelingen op de productie van courgette en het energiegebruik te evalueren. Het productieverloop in een afdeling met temperatuurinstellingen conform praktijk ('standaard') werd vergeleken met dat in een afdeling waar de temperatuurstreefwaarde werd opgehoogd in evenredigheid met de momentane instraling, en met het verloop in twee afdelingen waar de temperatuur evenredig was met de stralingssom over de afgelopen drie etmalen. Bij die benadering werd in de ene afdeling een rustige evenredigheidsfactor ingesteld, in de andere een wat steilere factor. Bij deze lichtafhankelijke regeling werd een basistemperatuur in acht genomen (de theoretische temperatuurstreefwaarde in het geval dat het in de voorafgaande 3 dagen absoluut donker zou zijn geweest). Het model liet een gesimuleerde reconstructie zien van het teeltverloop tot aan de huidige dag, op basis van de uitgangstoestand van het gewas en het gerealiseerde klimaat. De resultaten werden uitgezet tegen de achtergrond van geregistreerde gewastellingen (wekelijks aantal bladeren, mannelijke en vrouwelijke bloemen, geeltjes, zwartjes, geoogste vruchten). Vervolgens werd 10 dagen vooruit gerekend op basis van de gemiddelde lichtverwachting, en werd voor verschillende instellingen van de basistemperatuur het verwachte gedrag van het gewas weergegeven. Het model werkte dus als een beslissingsondersteunend systeem: de keuze van de in te stellen basistemperaturen werd aan de proefleider overgelaten. Deze kon zijn keuze baseren op het weergegeven verband tussen het niveau van de basistemperatuur en de te verwachten gewasreacties. Er was geen directe koppeling tussen het model en de klimaatregelaar.

In paragraaf 4.2 wordt het gewasmodel beschreven, in onderdeel 4.3 wordt bekeken hoe goed het model het verloop van de teelt in de 2004-proef kon narekenen, in paragraaf 4.4 worden de uitwerking naar prognose voor de komende week beschreven. In hoofdstuk 4.5 volgt dan nog een discussie met betrekking tot het model.

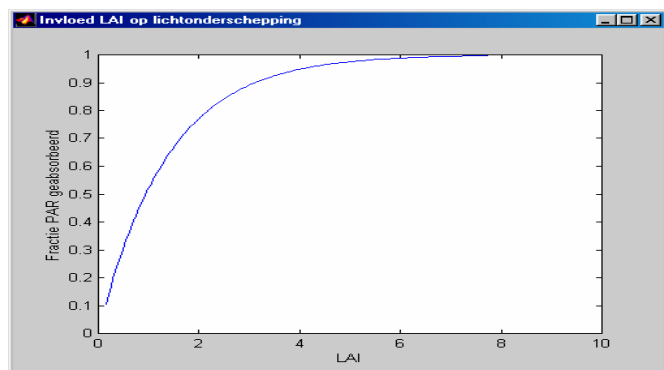
4.2 Beschrijving van het gewasmodel

Het model maakt in stappen van één dag een inschatting van de assimilatie, de gewasontwikkeling en de vruchtbelasting. De toestand van het gewas wordt in het model beschreven op basis van afzonderlijke bladeren met de daarbij behorende bloemknop, die mannelijk of vrouwelijk kan zijn. Vrouwelijke bloemen kunnen een vrucht vormen of aborteren als knop of jonge vrucht. Het model beschrijft de volgende processen:

4.2.1 Lichtabsorptie

De dagelijkse stralingssom, gemeten op de weertoren, wordt omgerekend naar PAR-licht (fotosynthetisch actieve straling) in de kas door rekening te houden met de kastransmissie en de hoeveelheid PAR in de globale straling. Vervolgens wordt de LAI (m^2 bladoppervlak per m^2 teeltoppervlak) berekend aan de hand

van de plantdichtheid, het aantal bladeren aan de plant en het ontwikkelingsstadium van de bladeren. De hoeveelheid geabsorbeerd licht is afhankelijk van het stralingsniveau in de kas en de LAI volgens een verzadigingsfunctie (figuur 13). De kastransmissie was ingesteld op 65%, de PAR-fractie in de globale straling op 45%.



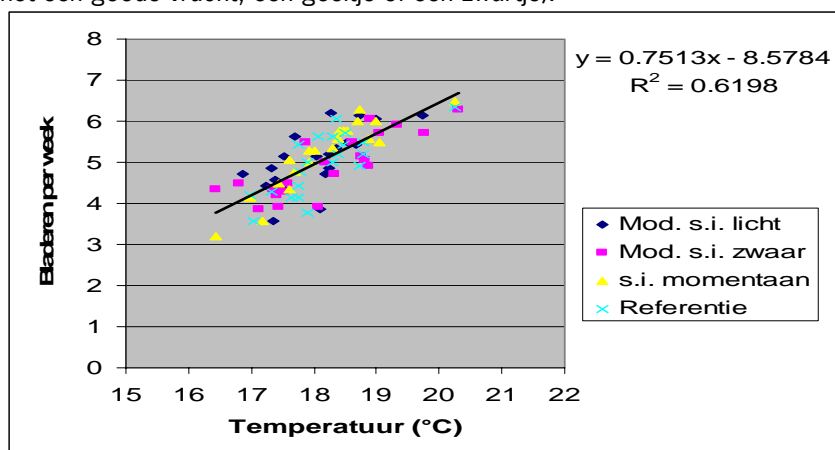
Figuur 13: De fractie geabsorbeerd licht is afhankelijk van de LAI volgens een verzadigingsfunctie.

4.2.2 Bladafsplitsing, zichtbaar worden van het blad en bladuitgroei

De bladafsplitsing is gemodelleerd als een functie van de temperatuursom in graaddagen. Telkens zodra de temperatuursom een bepaalde grenswaarde overschreed werd een nieuw blad afgesplitst. Er is een drempeltemperatuur waaronder de afsplitsing stilstaat. Alleen het deel van de gemiddelde etmaaltemperatuur boven deze drempelwaarde telt mee bij het berekenen van de temperatuursom (Summerfield et al., 1991).

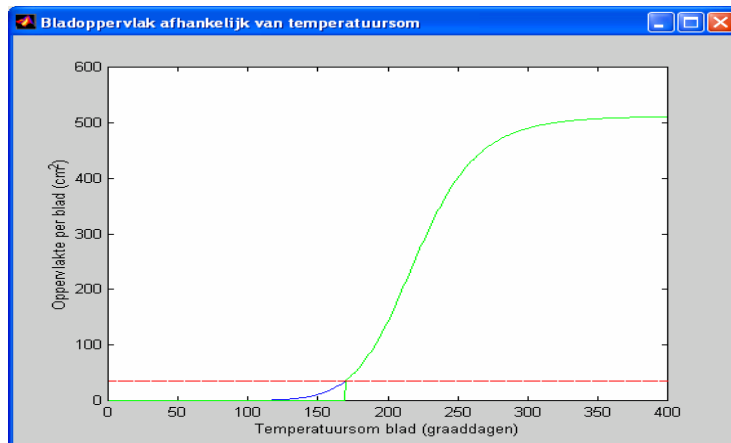
In figuur 14 staan de uitslagen van de wekelijkse blad tellingen (aantal nieuwe bladeren per week) uitgezet tegen het temperatuurniveau (°C). De regressielijn geeft het verband weer. Uit die regressievergelijking zijn de parameterwaarden voor de drempeltemperatuur ($8,5784 / 0,7513 = 11,42$ °C) en voor de temperatuursom per bladafsplitsing ($7 / 0,7513 = 9,32$ graaddagen) af te leiden.

Een probleem bij het calibreren van de relatie tussen bladafsplitsingssnelheid en temperatuurniveau is het feit dat er relatief veel tijd verloopt tussen de aanleg van een blad en het zichtbaar worden. Steeds werd op maandag het aantal nieuw verschenen bladeren geteld, waarbij alleen bladeren met een oppervlakte groter dan circa 35 cm² werden meegeteld. Er zal dus over het algemeen ook nog een aantal dagen verlopen tussen het moment dat een blad de grens van 35 cm² is gepasseerd en de eerstvolgende dag waarop de bladeren werden geteld. In het gewasmodel werd daarom van individuele bladeren een demografie bijgehouden. Per blad werd op dezelfde wijze het lot van de bijbehorende bloemknop bijgehouden (wordt het een goede vrucht, een geeltje of een zwartje).



Figuur 14: Relatie tussen het aantal nieuw verschenen bladeren per m² per week en het gemiddelde temperatuurniveau in de kas (°C).

Ook de uitgroei van de bladeren werd in het model beschreven met behulp van een graaddagenfunctie. De relatie tussen het oppervlak per blad (cm^2) en de temperatuursom (graaddagen) was gemodelleerd als een Gompertzfunctie: het jonge blad groeit langzaam, het uitgroeitempo neemt geleidelijk toe tot een maximum, om vervolgens weer geleidelijk af te nemen, en zo uiteindelijk de maximale oppervlakte te bereiken (figuur 15).

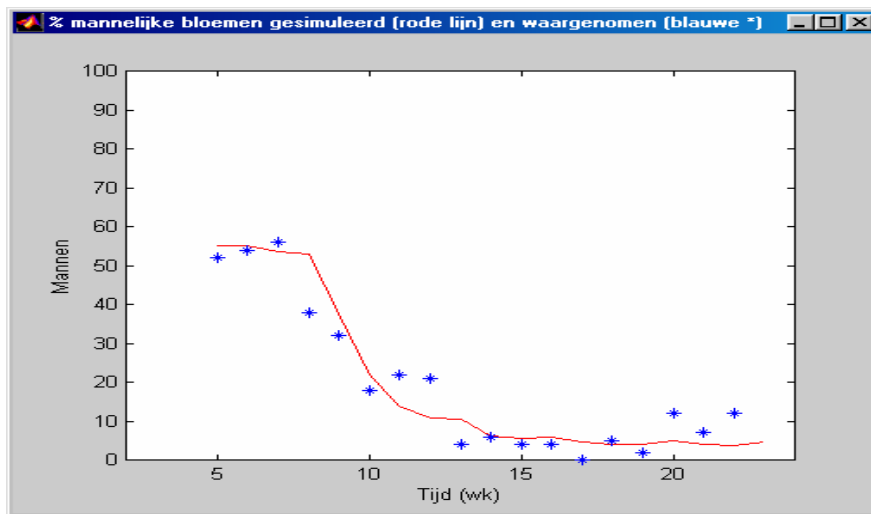


Figuur 15: Relatie tussen fysiologische leeftijd van het blad (uitgedrukt in graaddagen) en de bladoppervlakte (cm^2). De rode lijn geeft de zichtbaarheidsgrens aan: alleen bladeren groter dan 35 cm^2 werden meegeteld bij de wekelijkse registratie.

Het maximum werd in dit model gesteld op 512 cm^2 per blad; het punt waar de uitgroei-curve het steilst is op 220 graaddagen. Het aantal graaddagen tussen het afsplitsen van een blad, het moment van zichtbaar worden en de verdere uitgroei, en de bijbehorende drempelwaarde van de temperatuur, waren lastige parameters om te schatten omdat daar geen directe waarnemingen van beschikbaar waren.

4.2.3 Bepaling van de sexe-ratio van de bloemen

De verhouding tussen vrouwelijke en mannelijke bloemen is gemodelleerd als een Gomperts-functie van de gemiddelde licht / temperatuurverhouding over de voorafgaande 3 dagen (Ratio of Radiant to Thermal energy; RRT). Voor het licht is in de berekening de geabsorbeerde hoeveelheid PAR-licht gebruikt ($\text{mol PAR m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). Het geslacht van de bloemen wordt bepaald op de dag dat het bijbehorende blad is gevormd, maar wordt pas geregistreerd op de eerstvolgende teldag nadat het bijbehorende blad de minimale grootte van 35 cm^2 heeft bereikt. Ook in dit geval is er dus sprake van een aanzienlijk tijdsverloop tussen het moment van ontstaan en het tijdstip van registratie. In het demografische systeem van het model werden daarom het moment van ontstaan, het moment van zichtbaar worden en het moment van registratie op de eerstvolgende teldag apart bijgehouden. Anders dan bij een bepaald bladoksel van een levende plant, waar een bloem ofwel mannelijk of vrouwelijk kan zijn, werd in het model gerekend met een sexeverhouding per bladoksel. In het geval dat bijvoorbeeld in een bepaald oksel 75% vrouwelijke bloemen waren aangelegd, zal bloemabortie leiden tot de het ontstaan van 0,75 geeltjes. Figuur 16 laat zien hoe de sexeverhouding veranderde in de loop van een proef in 2003 met courgette cv Bengal (Janse en Berkhout, 2003).

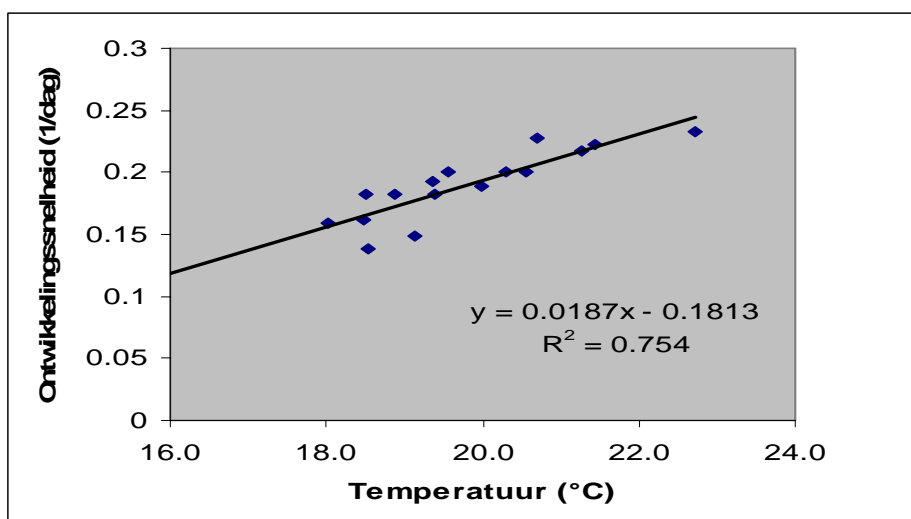


Figuur 16: Verloop van de het percentage mannelijke bloemen in een teeltproef met cv Bengal in 2003. Blauwe sterretjes vertegenwoordigen waargenomen percentages per week, de rode lijn geeft het gesimuleerde verloop weer.

4.2.4 Overige ontwikkelingsfuncties

Het moment van bloei werd beschreven als een graaddagenfunctie die begint te tellen vanaf het moment van bladafplitsing. Zodra het benodigde aantal graaddagen was bereikt kwam de knop in bloei. Op een vergelijkbare wijze werd de vruchtuitgroei beschreven met behulp van een graaddagenfunctie die begint te tellen vanaf het moment van bloei (figuur 17).

De parameters zijn: drempeltemperatuur = $0,1813 / 0,0187 = 9,70$ °C; temperatuursom per vrucht = $1 / 0,0187 = 53,48$ graaddagen. Zodra de vruchten een bepaalde temperatuursom hebben bereikt zijn ze oogstbaar. Het model gaat er van uit dat er dagelijks wordt geoogst. Alle vruchten die op het oogsttijdstip meer graaddagen hebben geaccumuleerd dan de temperatuursom voor oogstbare vruchten worden dan van de plant verwijderd. Het aantal geoogste vruchten per week wordt op de eerstvolgende teldag geregistreerd. Het aantal graaddagen tussen het ontstaan van de knop en het moment van in bloei komen, en de bijbehorende drempelwaarde van de temperatuur, waren lastige parameters om te schatten omdat daar geen directe waarnemingen van beschikbaar waren.



Figuur 17: Verband tussen de gemiddelde weektemperatuur en de ontwikkelingssnelheid van de vruchten (1/dag). De ontwikkelingssnelheid werd berekend als 1/uitgroeiduur (d).

4.2.5 Geeltjes en zwartjes: regulatie van bloem- en vruchtabortie

De kans dat een bloem of vrucht aborteert wordt verondersteld afhankelijk te zijn van de fysiologische leeftijd, de hoeveelheid assimilaten die de plant beschikbaar heeft de competitie met bestaande vruchten en hormoon-effecten (Lieth et al., 1986). Over het algemeen zijn bloemen en vruchten vooral in een jong stadium gevoelig voor abortie. In het courgettemodel werden de abortieprocessen als volgt beschreven: een jong vruchtje moet voldoende 'zetkracht' verzamelen om zich verder te kunnen ontwikkelen. Aan het einde van de periode waarin de vrucht gevoelig is voor abortie werd getoetst of die vrucht voldoende zetkracht heeft, zo niet dan volgde abortie, indien wel, dan ging de ontwikkeling tot vrucht gewoon door.

Abortie van bloemen is op een zelfde manier beschreven. Bloemknoppen konden op deze manier geeltjes worden vanaf het moment van zichtbaar worden van het blad (oppervlakte > 35 cm²). Uitgroeende vruchten konden zwartjes worden vanaf het moment van bloei. Het verzamelen van 'zetkracht' werd als volgt berekend: dagelijks werd de draagkracht van het gewas (de hoeveelheid vruchtbelasting die het gewas op die dag aan kan) berekend met behulp van een eenvoudige lineaire functie van RRT (de verhouding geabsorbeerd licht / temperatuur). Het verschil tussen de belastbaarheid en de actuele plantbelasting bepaalde de zetkracht. Per rekenslag van het model werd dit dagelijkse portie zetkracht bij de reeds verzamelde hoeveelheid opgeteld. Tegelijkertijd werd de verzamelde zetkracht dagelijks met een bepaald percentage verminderd. De plantbelasting per vrucht werd berekend aan de hand van het aantal graaddagen dat die vrucht heeft verzameld vanaf het moment van bloei; de totale plantbelasting is de som van de belasting per afzonderlijke vrucht. Het is gebruikelijk om voor een schatting van de belasting de gesommeerde potentiële groei te berekenen, waarbij de potentiële groei een Richards-functie is van het ontwikkelingsstadium. In dit bijzondere geval lijkt dat niet nodig, omdat de vruchten helemaal in het begin van hun normale groeicurve al worden geoogst, waardoor aangenomen kan worden dat de afwijking van een lineair verband nog verwaarloosbaar zal zijn.

4.2.6 Startcondities

Aan het begin van het experiment is er al een plant aanwezig met een bepaalde voorgeschiedenis. Op grond van schattingen en reconstructies is een startmatrix ingevuld waarmee het model begint te rekenen. Dit is beslist een gevoelig punt van het model, omdat de teeltcondities bij de leverancier van het uitgangsmateriaal onbekend zijn. Ook lijkt het erop dat de ontwikkeling bij een jonge plant iets anders verloopt dan later in de teelt. Zo worden in de eerste 6 bladoksels geen vrouwelijke bloemknoppen aangelegd, en is het tempo van bladafplitsing lager. Bij het berekenen van het verband tussen temperatuurniveau en bladafplitsingssnelheid (figuur 14) zijn de eerste twee waargenomen bladeren weggelaten omdat deze sterk afwijkende waarden opleverden. Pas na een week of vijf is het gedrag van het gewas vooral bepaald door de teeltcondities in de kas en wordt de voorgeschiedenis bij het opkweekbedrijf verwaarloosbaar. Er werd een apart submodel ontwikkeld dat op basis van gegeven aannamen een startmatrix samenstelde. Zodra de parameterisering van het gewasmodel zelf redelijk goed was kon dit submodel proefondervindelijk worden gecalibreerd door vooral te letten op de voorspellingen in de eerste vijf weken. Uiteindelijk zijn de volgende instellingen gekozen:

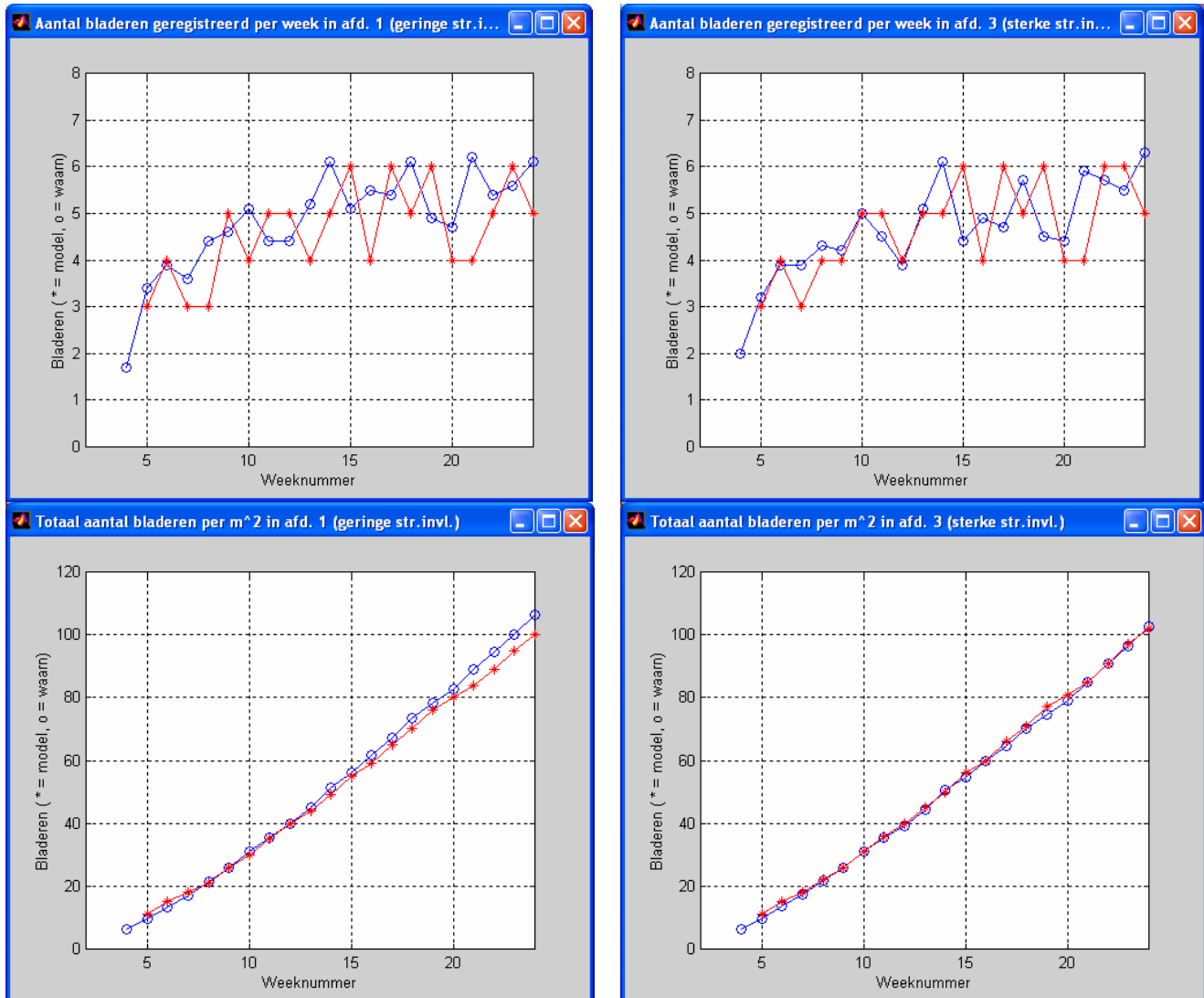
- Temperatuur tijdens opweekfase: 20°C.
- Vertraging van de ontwikkelingssnelheid tijdens de opweek: geen.
- Aantal bladeren dat al is afgesplitst op het moment van uitplanten in de kas: 20.
- Percentage vrouwelijke bloemen in oksels van de startplant: 40%.
- Aantal van de oudste bladeren waarin geen knop is aangelegd: 6.

4.3 Modelberekeningen in de proef

Wekelijks werden gegevens in de proef van het courgettegewas en klimaat geregistreerd. Deze gegevens werden opgeslagen in tekstfiles die door het model konden worden ingelezen. Op elk gewenst moment kon het model het verloop van de teelt narekenen tot aan de laatst bekende gegevens, opgeslagen in de tekstfiles.

4.3.1 Bladafplitsing

Figuur 18 geeft de geregistreerde en berekende bladafplitsing per week weer.

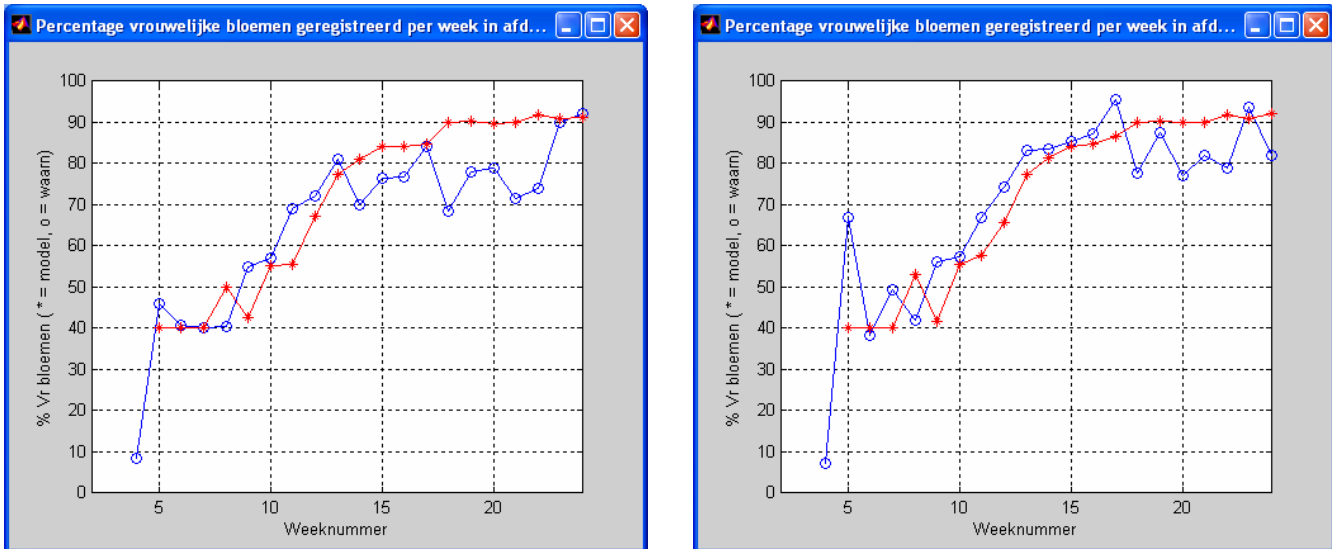


Figuur 18: Bladafplitsingstempo (bladeren/m²/week; boven) en cumulatief aantal bladeren per m² (onder) in afdeling 1 (lichte stralingsinvloed; links) en afdeling 3 (sterke stralingsinvloed; rechts). De lijn met bolletjes geeft de registratiegegevens weer, de lijn met sterretjes de resultaten van modelberekeningen. De plantdichtheid bedroeg 1.5 planten m².

Door de gekozen opzet gaf het model het aantal nieuwe bladeren per week dat verder was uitgegroeid dan 35 cm² weer als gehele getallen. Om die reden klopten de berekende getallen nooit helemaal met de registratiegegevens, die met een precisie van één decimaal werden berekend als het gemiddelde van waarnemingen gedaan aan meerdere planten. Toch lijken de berekeningen over het algemeen behoorlijk goed te kloppen. Dit wordt bevestigd door te kijken naar de cumulatieve gegevens. In afdeling 1 met de lichte stralingsinvloed ontstond in de loop van de teelt een onderschatting van het afgesplitste aantal bladeren, in afdeling 3 met de sterke stralingsinvloed was dat niet het geval. Omdat het verband tussen bladafplitsing en temperatuur over het algemeen erg constant is, moet de oorzaak mogelijk in eerste instantie in de temperatuurmeting worden gezocht en niet in de calibratie van het model. Bij controle van de metr werden echter geen afwijkende waarden geconstateerd.

4.3.2 Geslachtsverhouding van de bloemen

In figuur 19 staat het verloop van het percentage vrouwelijke bloemen per afdeling weergegeven.

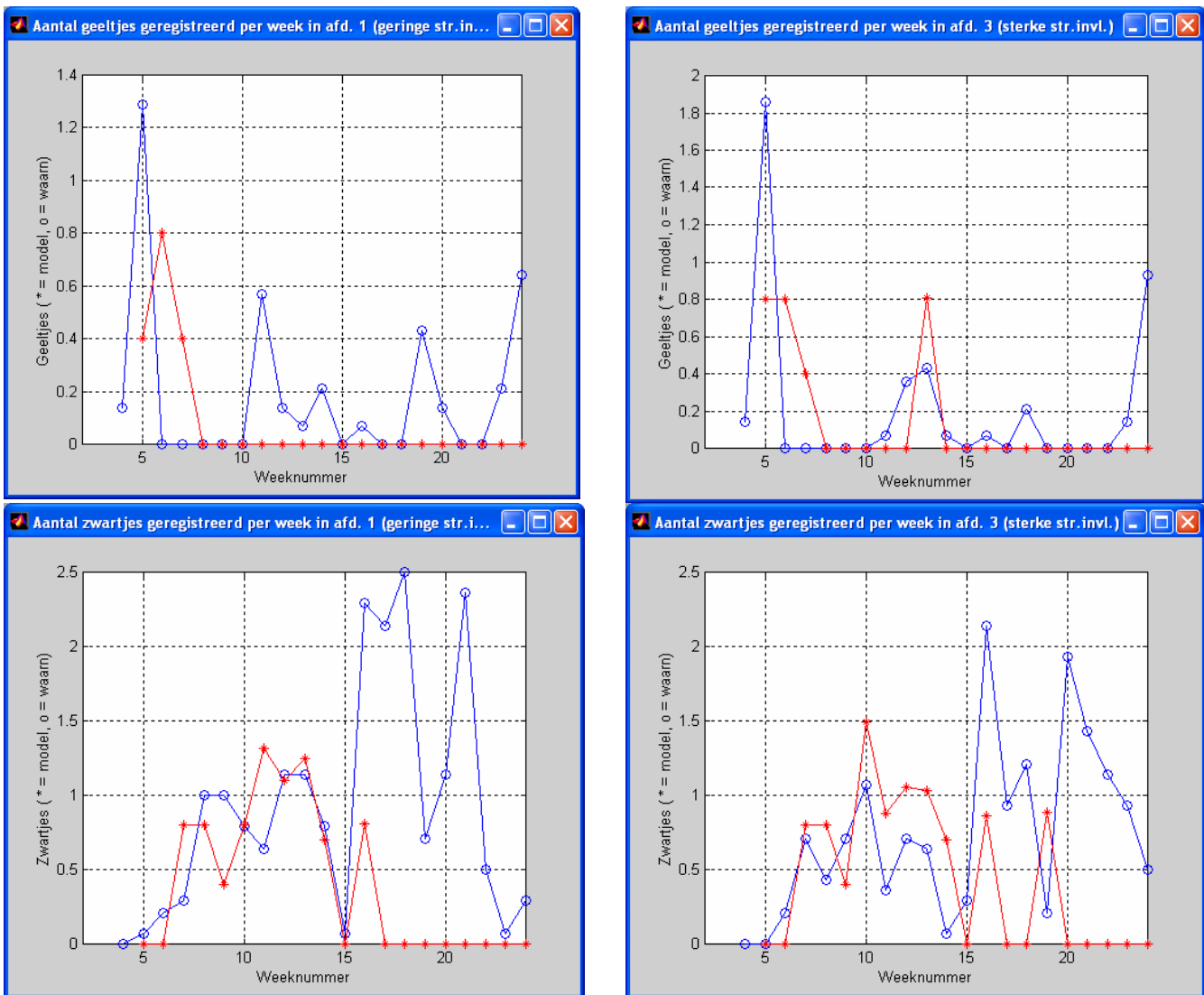


Figuur 19: Verloop van het percentage vrouwelijke bloemen in afdeling 1 (lichte stralingsinvloed; links) en afdeling 3 (sterke stralingsinvloed; rechts). De lijn met bolletjes geeft de registratiegegevens weer, de lijn met sterretjes de resultaten van modelberekeningen.

De algemene trend blijkt door het model behoorlijk goed te worden gevolgd. In afdeling 3 is in week 5 een hoger percentage vrouwelijke bloemen geregistreerd dan verwacht, in afdeling 1 klopte de telling wel met de verwachting. De vrouwelijke bloemen die zichtbaar worden in de periode van week 4 t/m 7 zijn nog aangelegd in de opwekfase en daar kan het model niet zuiver aan rekenen. Er wordt daarom voor die periode met een vaste verwachtingswaarde gewerkt. Op advies van de onderzoeker is het percentage vrouwelijke bloemen in deze periode op 40% ingesteld. In de periode week 18 t/m 22 heeft het model het percentage vrouwelijke bloemen overschat. Ook op andere onderdelen bleek de berekening in die periode niet zuiver (zie volgende paragrafen), wat suggereert dat er een gemeenschappelijke oorzaak is aan te wijzen; waarschijnlijk heeft het model in de tweede helft van de teelt de source/sinkverhouding niet helemaal correct berekend. In paragraaf 4.5 wordt hier nader op ingegaan.

4.3.3 Abortie van bloemen en vruchten

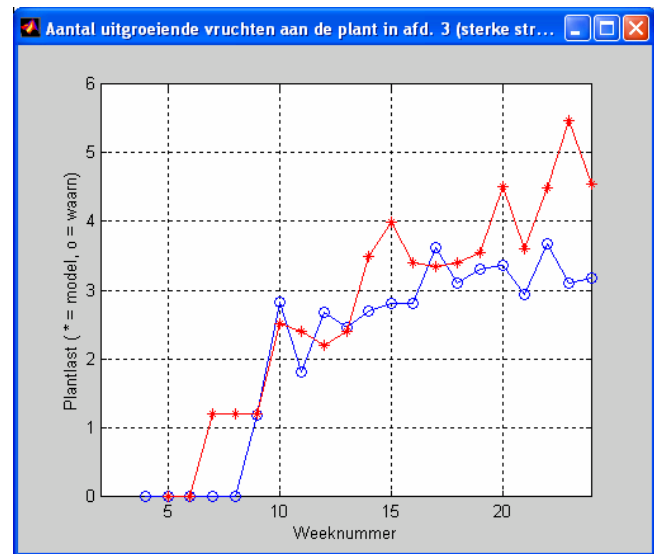
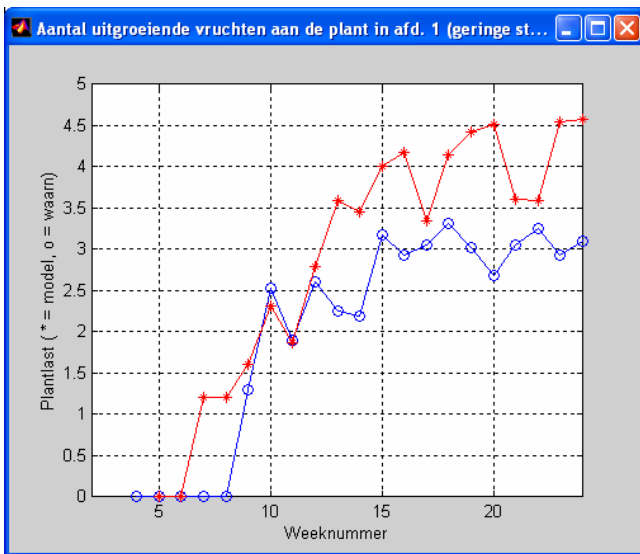
Figuur 20 geeft per afdeling het verloop van het wekelijkse aantal getelde geeltjes en zwartjes per m² weer. De simulatie van het aantal geeltjes in afdeling 3 klopt redelijk wat betreft de inschatting van bloemabortie in het begin van de teelt en rond week 13, maar de waargenomen abortie aan het eind van de teelt werd niet goed gesimuleerd. In afdeling 1 miste het model ook de bloemabortie rond week 13. De simulatie van het aantal zwartjes per week klopte in het begin van de teelt aanzienlijk beter, maar in de tweede helft van de teelt miste het model de aanzienlijke golven van vruchtabortie rond week 17 en week 21. Abortieprocessen hebben een alles-of-niets karakter; zoals ze in dit model zijn ingebouwd kan een klein verschil in 'zetkracht' zorgen dat een vrucht net wel of net niet aborteert. Op deze manier worden kleine calibratieproblemen uitvergroot. Het feit dat de abortie in de tweede helft van de teelt systematisch werd onderschat klopt met de overschatting van het aantal vrouwelijke bloemen en wijst op een te hoog berekende source/sinkverhouding.



Figuur 20: Verloop van het aantal geeltjes per m² (boven) en zwartjes (onder) in afdeling 1 (lichte stralingsinvloed; links) en afdeling 3 (sterke stralingsinvloed; rechts) per week. De lijn met bolletjes geeft de registratiegegevens weer, de lijn met sterretjes de resultaten van modelberekeningen.

4.3.4 Aantal uitgroeiende vruchten

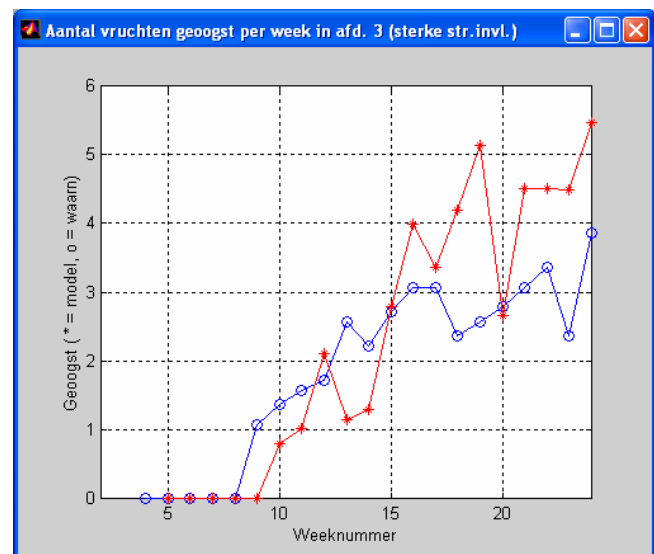
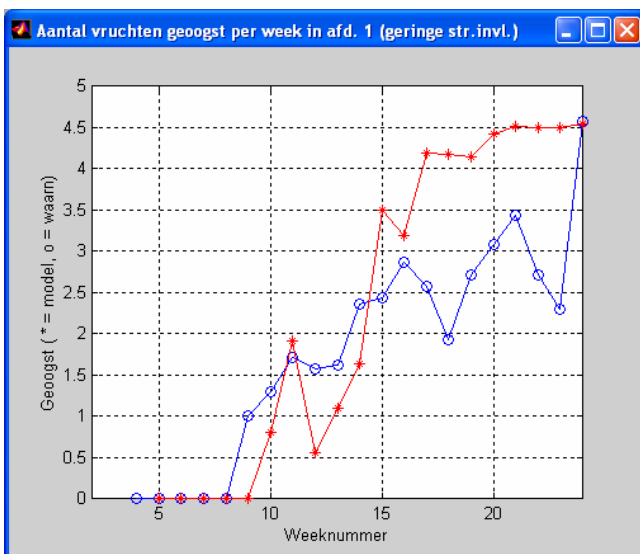
In de loop van de teelt is wekelijks het aantal uitgroeiende vruchten aan de plant geteld. Ook het simulatiemodel leverde deze informatie. Het verloop is weergegeven in figuur 21. In het begin van de teelt lijkt het erop dat het model verwachtte dat de uitgroeiende vruchten al in een eerder stadium worden geteld dan in werkelijkheid gebeurde. In de tweede helft van de teelt was er sprake van een overschatting. Dit wordt gedeeltelijk veroorzaakt door een overschatting van het percentage vrouwelijke bloemen in die periode, gedeeltelijk doordat de abortie van bloemen werd onderschat. Verder zal ook in deze periode nog meegespeeld hebben dat vruchten die volgens het model al wel waren aangelegd nog niet meteen werden meegeteld.



Figuur 21: Verloop van het aantal uitgroeiende vruchten per m² in afdeling 1 (lichte stralingsinvloed; links) en afdeling 3 (sterke stralingsinvloed; rechts) per week. De lijn met bolletjes geeft de registratiegegevens weer, de lijn met sterretjes de resultaten van modelberekeningen.

4.3.5 Aantal geoogste vruchten

In figuur 22 staat het verloop van het aantal geoogste vruchten in de tijd weergegeven.

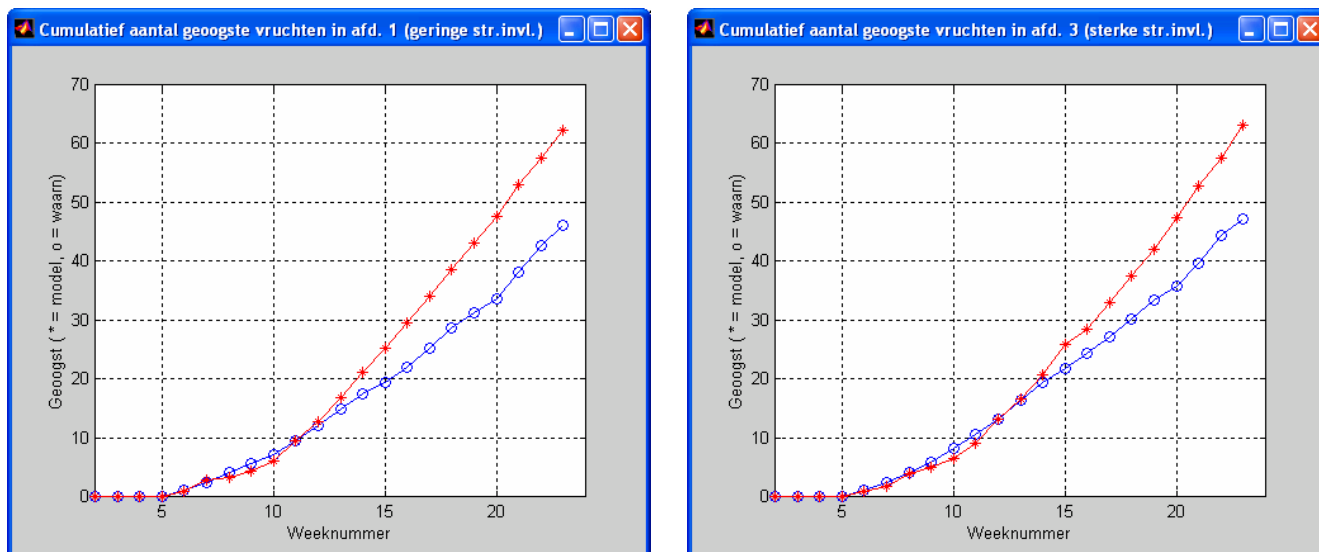


Figuur 22: Verloop van het aantal geoogste vruchten per m² in afdeling 1 (lichte stralingsinvloed; links) en afdeling 3 (sterke stralingsinvloed; rechts) per week. De lijn met bolletjes geeft de registratiegegevens weer, de lijn met sterretjes de resultaten van modelberekeningen.

Duidelijk is dat het model in de tweede helft van de teelt meer te oogsten vruchten verwachtte dan in werkelijkheid is geregistreerd. Dit is vooral het gevolg van een onderschatting van de bloem- en vruchtabortie in deze periode. In afdeling 3 kloppen de berekeningen beter omdat in dat geval de abortie minder werd onderschat. Ook in dit geval geldt dat de overschatting van het aandeel vrouwelijke bloemen mee heeft gespeeld.

Worden de gegevens cumulatief uitgezet (figuur 23), dan blijken de productiecijfers tot en met ongeveer week 14 redelijk goed te kloppen, maar in de periode daarna wordt de overschatting door het model

systematisch groter.

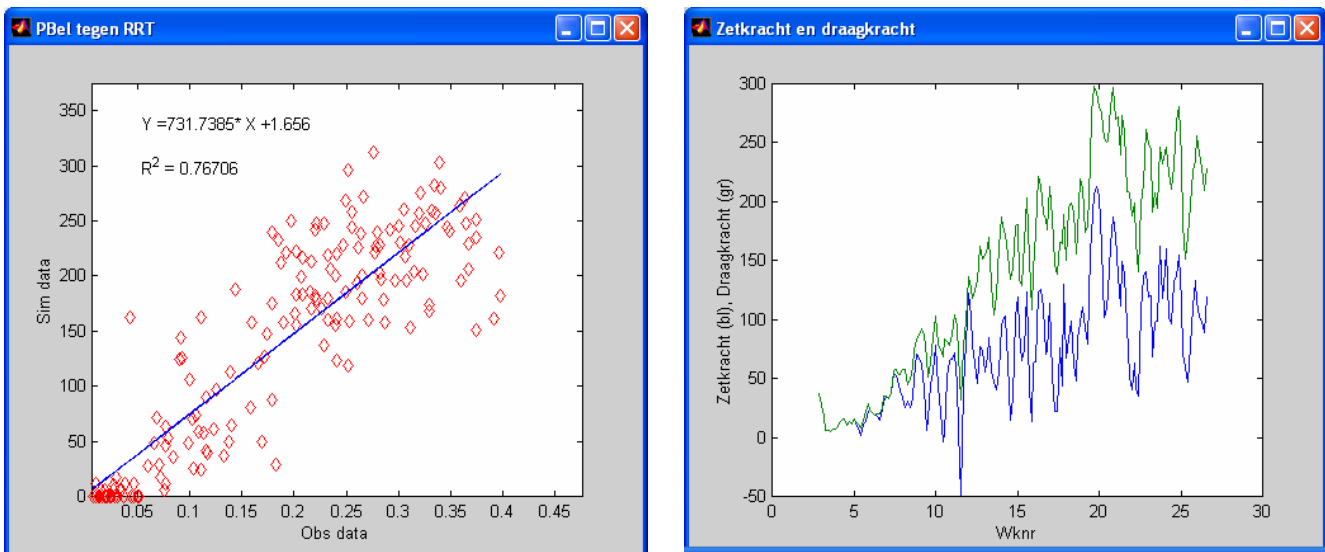


Figuur 23: Cumulatieve weergave van het aantal geogste vruchten per m² in afdeling 1 (lichte stralingsinvloed; links) en afdeling 3 (sterke stralingsinvloed; rechts). De lijn met bolletjes geeft de registratiegegevens weer, de lijn met sterretjes de resultaten van modelberekeningen.

4.3.6 Berekeningen op de achtergrond

Bij veel vruchtgroentegewassen is de regulatie van bloem- en vruchtabortie een belangrijk mechanisme om de aanmaak en verwerking van assimilaten op elkaar af te stemmen. Bij veel gewassen is dat zo geregeld dat er eigenlijk doorlopend een overmaat aan jonge vruchtjes worden aangelegd, maar dat afhankelijk van de teeltomstandigheden een gedeelte daarvan in een vroeg stadium aborteert. Dit voorkomt enerzijds dat de plant te weinig vruchten voortbrengt (in de natuur heeft verliest een planttype dat te weinig zaad maakt over de generaties de concurrentiestrijd met soortgenoten die meer zaad produceren), anderzijds voorkomt het dat de plant overbelast raakt (door overbelasting minder of minder sterk zaad produceren heeft in de natuur ook een nadelig effect op het concurrentievermogen). In de plantenveredeling is van deze natuurlijke eigenschappen dankbaar gebruik gemaakt omdat ze ervoor zorgen dat moderne vruchtgroenterassen daardoor over een ingebouwd mechanisme beschikken dat de verdeling van biomassa naar de vruchten optimaliseert. Een goed inzicht in deze afstemmingsmechanismen kan een teler helpen om onder wisselende omstandigheden het gewas in balans te houden en zo een hoge productie van goede kwaliteit te realiseren. Vooral een temperatuurstrategie die goed is afgestemd op variabele lichtcondities lijkt in dit verband een kansrijke optie.

In de linker grafiek van figuur 24 geeft de blauwe lijn de berekende draagcapaciteit van het gewas weer, dus hoeveel energievraag van de vruchten het gewas aankan zonder overbelast te raken. Deze waarde wordt berekend uit de verhouding tussen geabsorbeerd licht en de temperatuur. De circeltjes geven de plantbelasting aan zoals die door het model wordt berekend uit het aantal vruchten en de fysiologische leeftijd per vrucht. Het blijkt dat bijna 77% van de variatie die in de loop van de teelt optreedt wordt verklaard door deze relatie. In de rechter grafiek van figuur 24 wordt het verloop van deze draagkracht in de tijd weergegeven (groene lijn). De blauwe lijn in deze grafiek geeft het verloop van de 'zetkracht' weer; bloemen en jonge vruchtjes moeten op tijd voldoende 'zetkracht' verzamelen om niet te aborteren. Lage waarden voor deze 'zetkracht', zoals bijvoorbeeld rond week 12, vielen inderdaad samen met het optreden van relatief veel abortie.

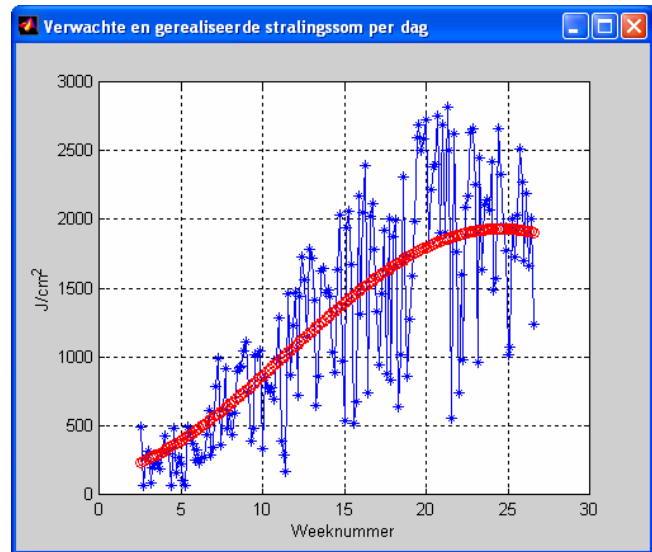
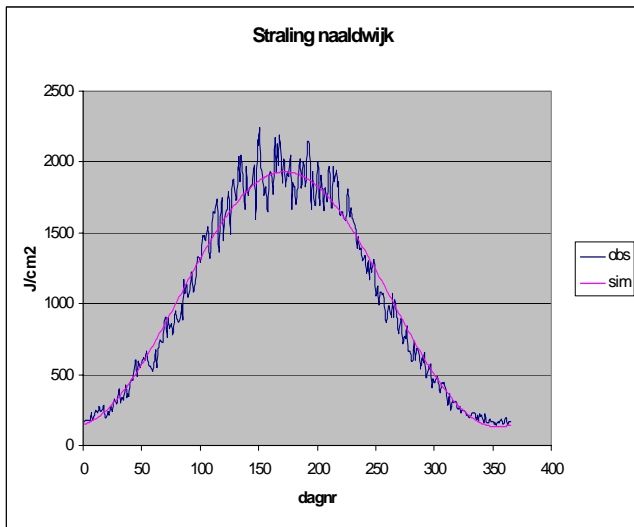


Figuur 24: Grafiek links: berekende draagcapaciteit van het gewas (blauwe lijn) en berekende plantbelasting (circeltjes). Grafiek rechts: het verloop van de berekende draagcapaciteit van het gewas in de tijd (groene lijn) en de berekende 'zetkracht' (blauwe lijn). De grafieken zijn berekend voor de teelt in afdeling 3.

4.4 Toepassing van het model bij beslissingsondersteuning

Het model was bedoeld om de proefleider te assisteren bij het kiezen van de meest geschikte instellingen voor de klimaatregeling in afdeling 1 en 3. De klimaatregeling ging uit van een basistemperatuur, die werd verhoogd in evenredigheid met de gemiddelde stralingssom over de voorafgaande 3 etmalen. In afdeling 1 werd de basistemperatuur verhoogd met 0,25 °C per 100 J/cm² instraling, in afdeling 3 was de aanpassingsfactor 0,5 °C per 100 J/cm². Om op een vergelijkbaar gemiddeld temperatuurniveau uit te komen moest de basistemperatuur in afdeling 3 dus lager worden ingesteld. Een getallenvoorbeeld: ingestelde basistemperatuur in afdeling 1 en 3 respectievelijk 15,5 en 13 °C, bij een stralingssom van 1000 J/cm² bedraagt de verhoging dan respectievelijk 2,5 en 5 °C, zodat beide afdelingen op 18 °C uitkomen.

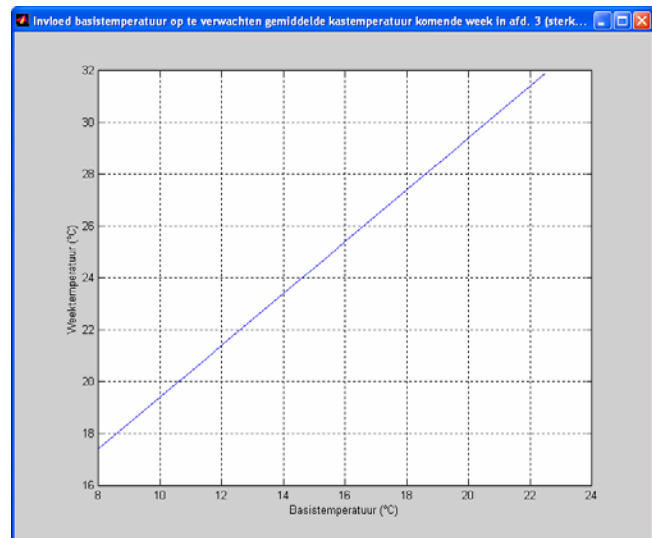
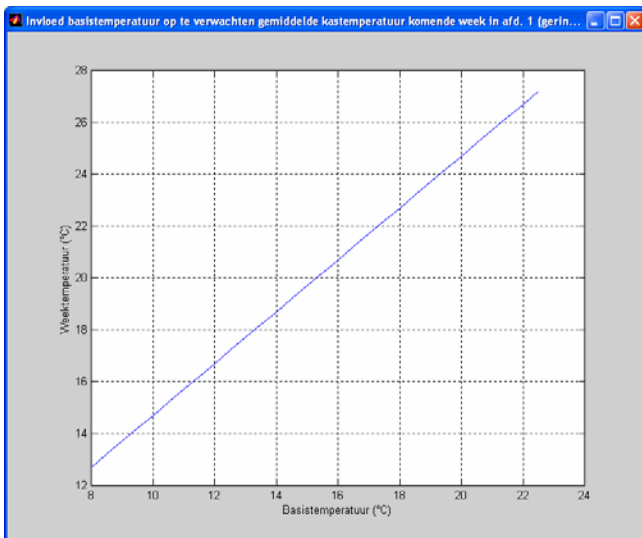
Het beslissingsondersteunende gedeelte van het model rekende vanaf de dag van de laatst ingevoerde registratiegegevens en de berekende toestand van het gewas op dat moment het verwachte verloop van de teelt door voor de eerstvolgende 10 dagen op basis van de gemiddelde lichtverwachting (zie figuur 25). Om een meer realistische voorspelling te krijgen werd aan de reeks van verwachte lichtsommen wat willekeurige variatie toegevoegd. Deze variatie werd berekend op een manier dat de gemiddelde lichtsom over de hele periode wel precies met de verwachting in overeenstemming was. Deze berekening werd 30 maal herhaald, met telkens een andere instelling voor de basistemperatuur. Zo ontstond een reeks van scenario's die te verwachten waren bij een gekozen basistemperatuur van 8 8,5 9 22,5°C. De resultaten werden in grafieken uitgezet tegen de reeks van 30 basistemperaturen.



Figuur 25: Grafiek links: geregistreerde stralingssom bij PPO Naaldwijk in het jaar 2002 (paarse lijn) en een sinusfunctie die op deze gegevens werd gefit (roze lijn). Grafiek rechts: verloop van de dagelijkse stralingssom tijdens de proef in 2004 (blauw lijn met sterretjes). De rode bolletjeslijn geeft de verwachte straling op grond van de gefitte functie uit de linkergrafiek aan.

4.4.1 Verwachte en gerealiseerde kasttemperatuur

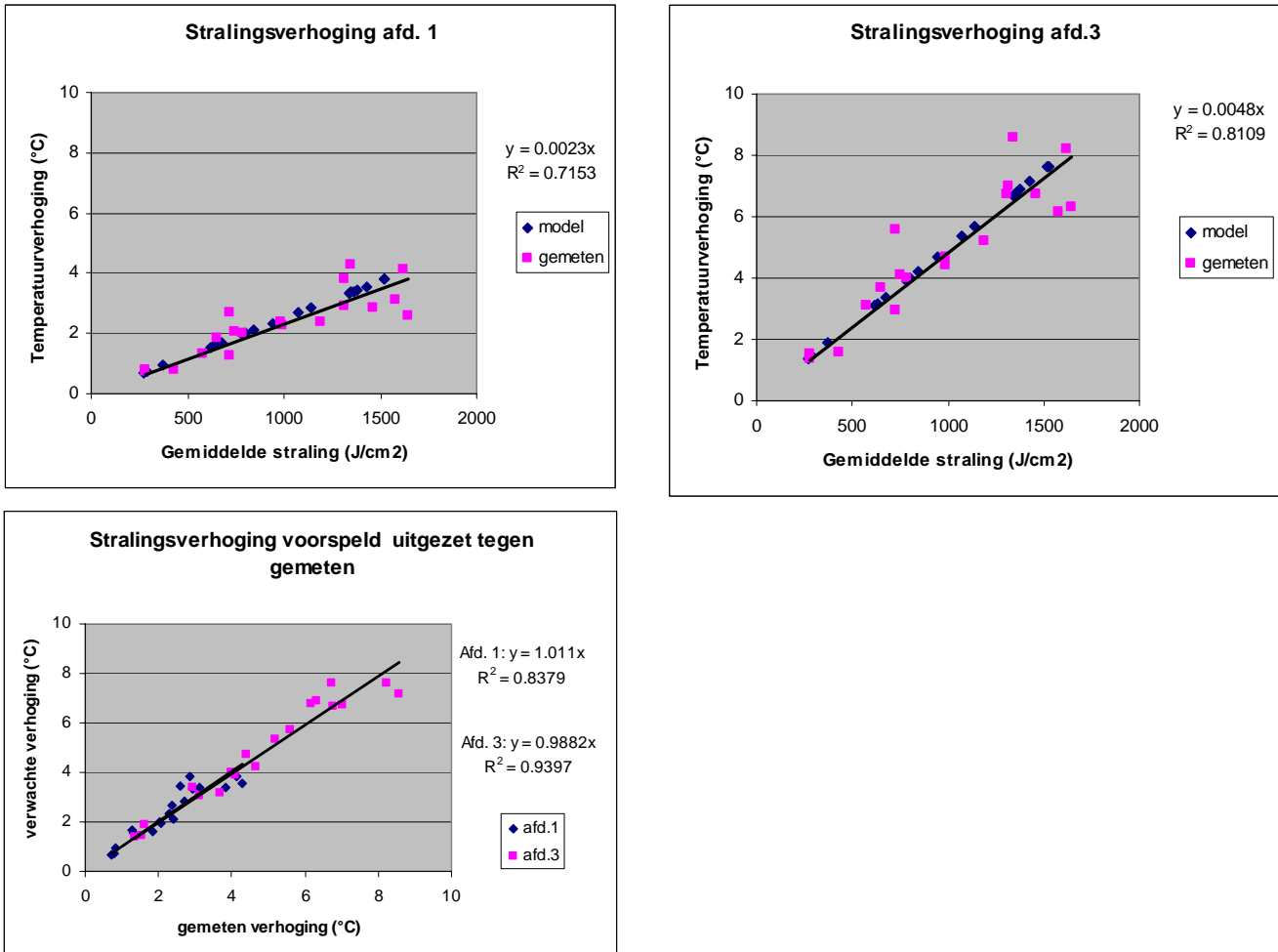
In figuur 26 staat het effect van de gekozen instelling van de basistemperatuur op de verwachte gemiddelde kasttemperatuur weergegeven voor de komende periode van 10 dagen, zoals berekend in week 26.



Figuur 26: Invloed van de ingestelde basistemperatuur op het verwachte gemiddelde temperatuurniveau (°C) over de komende 10 dagen in afdeling 1 (lichte stralingsinvloed; links) en afdeling 3 (sterke stralingsinvloed; rechts), zoals berekend door het beslissingsondersteunende gedeelte van het model.

In de figuren lijken de lijnen ongeveer parallel te lopen, maar voor afdeling 3 is de schaal van de Y-as aanzienlijk langer. De grafiek loopt in afdeling 3 dus steiler dan in afdeling 1, wat overeen komt met het verschil in de ingestelde evenredigheidsfactor voor de stralingsinvloed. Worden de verwachte en gerealiseerde waarden van de stralingsafhankelijke temperatuurverhoging tegen elkaar uitgezet (figuur 27),

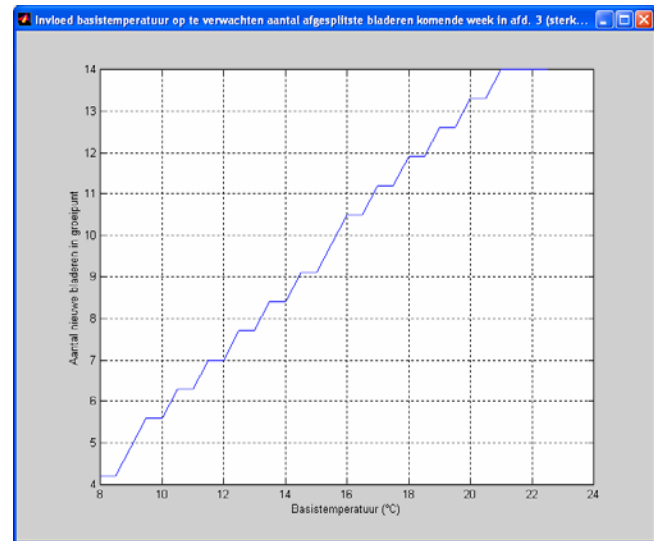
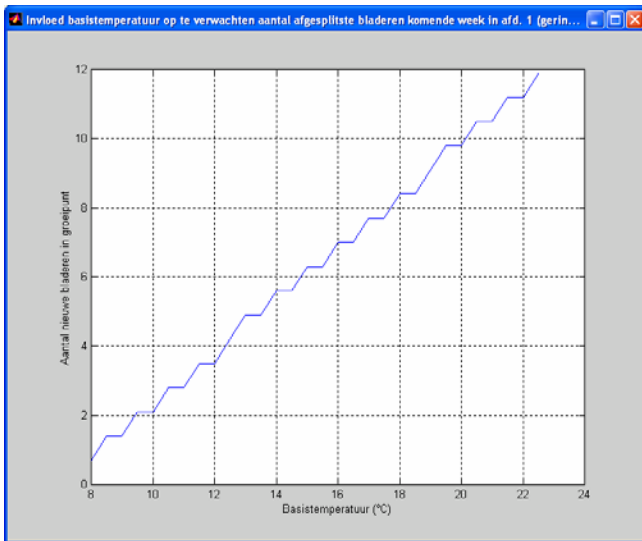
dan blijkt een goede overeenstemming te bestaan. De gefitte regressielijnen blijken een hellingshoek van respectievelijk 0,0023 en 0,0048 te hebben, wat behoorlijk goed klopt met de ingestelde waarden van 2,5 en 5°C temperatuurverhoging per 1000 J cm⁻². Verwachting en realisatie op weekbasis waren daarom ook goed met elkaar in overeenstemming, wat blijkt uit de sterke correlatie met een vrijwel 1:1 verband als de verwachte en gerealiseerde temperatuurgemiddelden tegen elkaar werden uitgezet (figuur 27, linksonder).



Figuur 27: Invloed van de gemiddelde straling per week (J cm⁻²) op de temperatuurverhoging boven de basistemperatuur (°C) zoals door het model berekend (ruitjes) en gerealiseerd in afdeling 1 (lichte stralingsinvloed; linksboven) en afdeling 3 (sterke stralingsinvloed; rechtsboven). Linksonder staat de voorspelde temperatuurverhoging uitgezet tegen de gemeten verhoging (°C), voor afd. 1 (ruitjes) en afd. 3 (vierkantjes). De regressievergelijkingen rechts in elke grafiek geven het werkelijke verband weer.

4.4.2 Aantal afgesplitste bladeren

Figuur 28 geeft het aantal afgesplitste bladeren weer dat het model verwachtte voor de komende 10 dagen vanaf week 26, afhankelijk van de keuze van de ingestelde basistemperatuur.



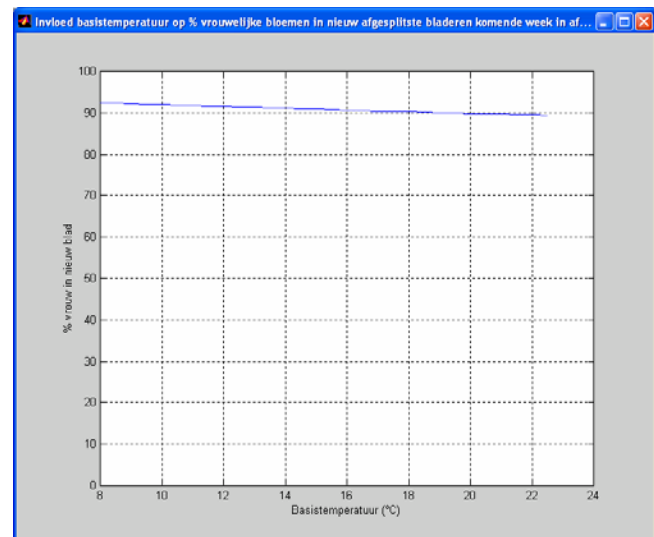
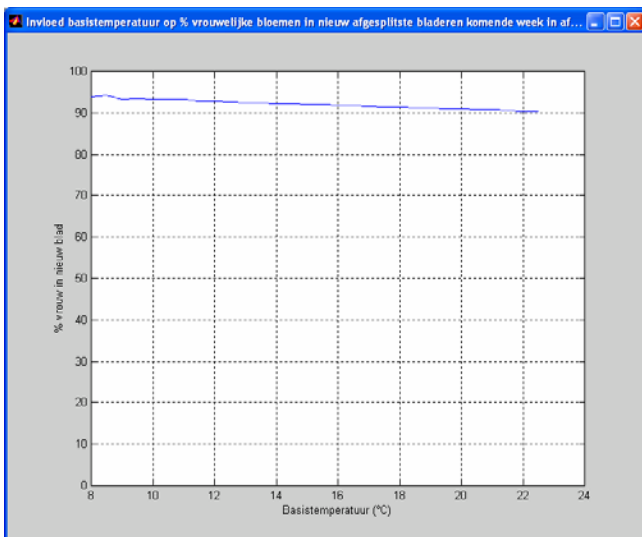
Figuur 28: Invloed van de ingestelde basistemperatuur op het verwachte aantal afgesplitste bladeren in de komende periode van 10 dagen in afdeling 1 (geringe stralingsinvloed; links) en afdeling 3 (sterkere stralingsinvloed; rechts), zoals berekend door het beslissingsondersteunende gedeelte van het model.

Het gaat in deze figuren om het aantal afgesplitste bladeren in de groeppunt, niet om het aantal dat zichtbaar wordt (oppervlakte > 35 cm²). De onderliggende relatie tussen bladafsplijtingstempo en temperatuur bleek goed te kloppen (figuur 14).

Als alleen naar deze grafieken werd gekeken dan zou de suggestie kunnen zijn: hoe hoger de ingestelde basistemperatuur, hoe meer bladeren, hoe meer aangelegde bloemen, hoe beter. Deze verwachting moet echter worden afgewogen tegen de verhoogde abortiepercentages en het lagere aandeel vrouwelijke bloemen bij hogere temperaturen.

4.4.3 Percentage vrouwelijke bloemen

Figuur 29 geeft de verwachte fractie vrouwelijke bloemen weer voor de komende 10 dagen vanaf week 26, afhankelijk van de keuze van de ingestelde basistemperatuur.



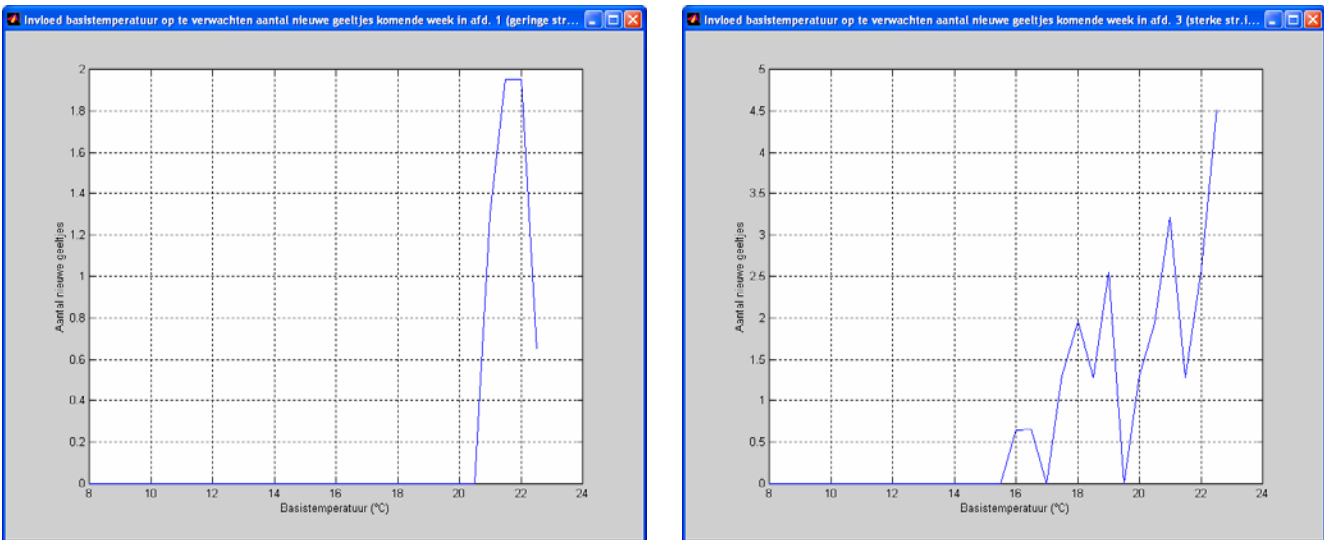
Figuur 29: Invloed van de ingestelde basistemperatuur op het te verwachten % vrouwelijke bloemen bij de bloemen die in de komende periode van 10 dagen worden aangelegd in afdeling 1 (lichte stralingsinvloed; links) en afdeling 3 (sterke stralingsinvloed; rechts), zoals berekend door het beslissingsondersteunende gedeelte van het model.

Bij de hoge verwachte lichtsommen in deze tijd van het jaar had de temperatuur niet veel invloed meer op

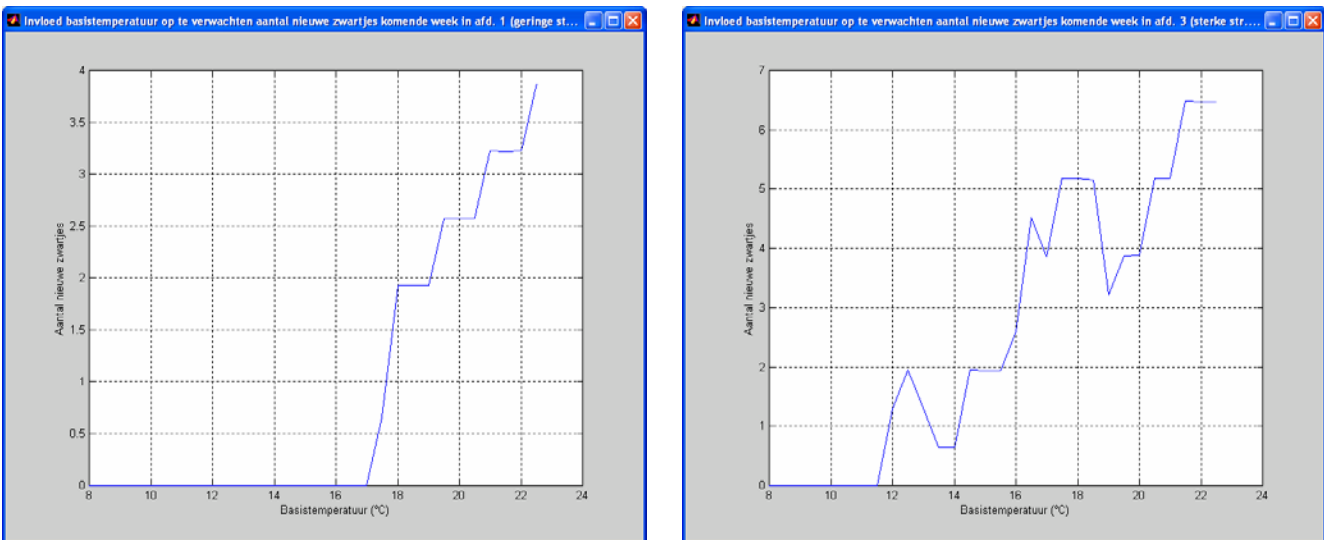
de sexeverhouding van de bloemen, wat in overeenstemming is met de ervaring in de praktijk. Alleen in het begin van de teelt, wanneer de dagelijkse lichtsommen lager liggen en ook de LAI nog te laag is om al het licht te onderscheppen, is er een duidelijke invloed van temperatuur op de sexeverhouding te verwachten.

4.4.4 Verwachte abortie

Figuur 30 geeft de verwachte bloemabortie weer voor de komende 10 dagen vanaf week 26, afhankelijk van de keuze van de ingestelde basistemperatuur. In figuur 31 staat de verwachte vruchtabortie.



Figuur 30: Invloed van de ingestelde basistemperatuur op het te verwachten aantal bloemen dat zal aborteren in de komende periode van 10 dagen in afdeling 1 (lichte stralingsinvloed; links) en afdeling 3 (sterke stralingsinvloed; rechts), zoals berekend door het beslissingsondersteunende gedeelte van het model.



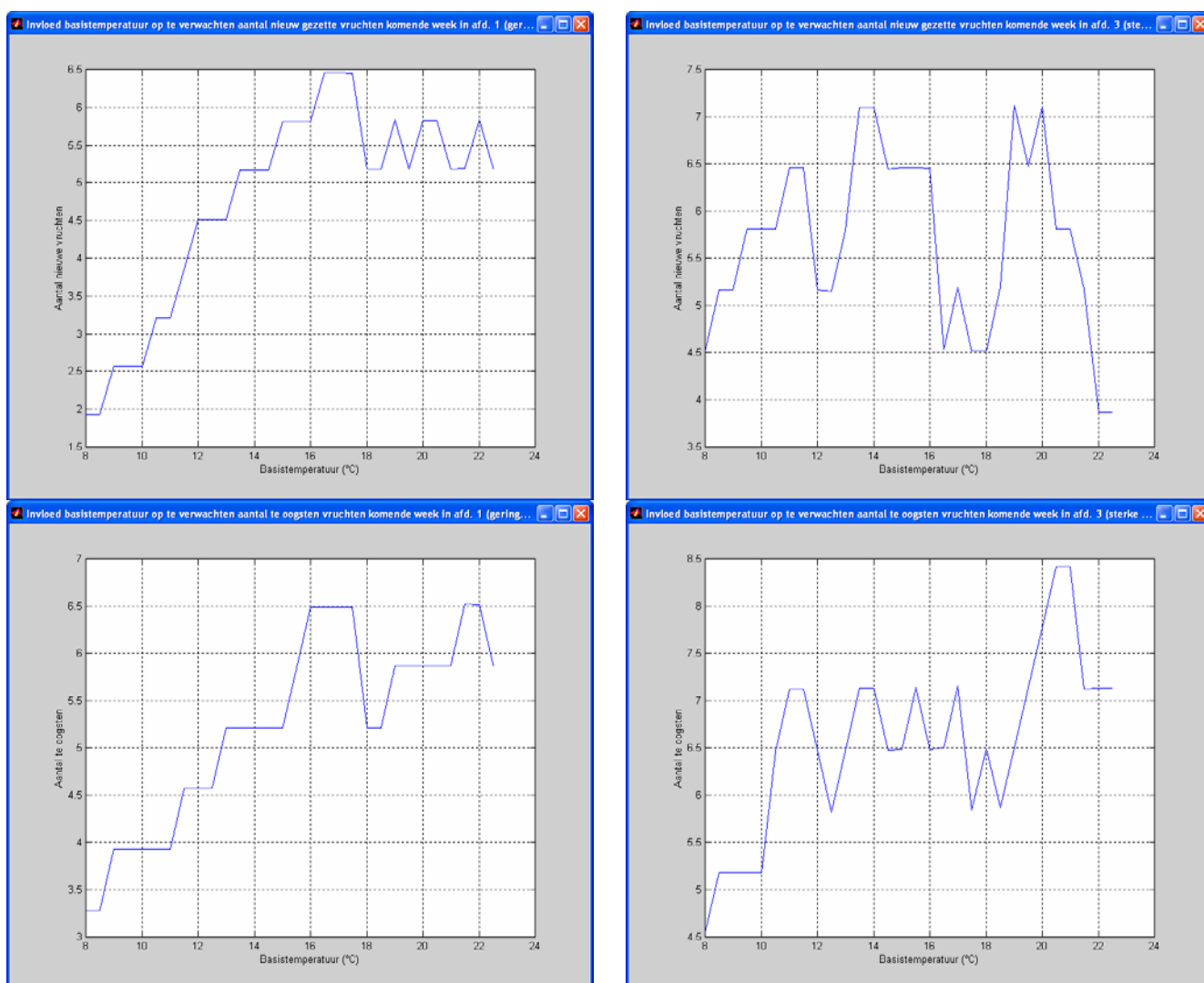
Figuur 31: Invloed van de ingestelde basistemperatuur op het te verwachten aantal vruchten dat zal aborteren in de komende periode van 10 dagen in afdeling 1 (lichte stralingsinvloed; links) en afdeling 3 (sterke stralingsinvloed; rechts), zoals berekend door het beslissingsondersteunende gedeelte van het model.

Hoewel de calibratie van de abortiefuncties in de tweede helft van de teelt niet helemaal meer klopten (zie paragraaf 4.3.3), liet het model toch het te verwachten effect van temperatuurverhoging duidelijk zien: boven een bepaalde drempelwaarde steeds meer abortie. De relatie tussen abortie en temperatuur in de grafieken was niet altijd een eenvoudige rechte lijn. Dit werd veroorzaakt door allerlei dynamische effecten

die op konden treden in de demografie van de individuele bloemknoppen en vruchten, en door de invloed van de willekeurige variatie die door het model aan de dagelijkse lichtverwachting werd toegevoegd met als doel om meer realistische voorspellingen te krijgen. Een bloemknop of vrucht is maar gedurende een korte periode gevoelig voor abortie. Als er op een bepaalde dag met relatief weinig licht net geen knop of vrucht aanwezig is die zich in de gevoelige periode bevindt, zal er dus ook geen abortie plaatsvinden. Het stadium waarin de knoppen zich op een bepaalde dag bevinden is afhankelijk van de temperatuurafhankelijke afsplitsingssnelheid van de bladeren en van de ontwikkelingssnelheid van de bloemknoppen en vruchten zelf. Verder geldt uiteraard dat een knop die eenmaal een geeltje is geworden, later niet als vrucht nog een zwartje kan worden. Dit laatste effect verklaart bijvoorbeeld het relatief geringe aantal zwartjes bij een basistemperatuur van 19 °C in afdeling 3.

4.4.5 Aantal vruchten

In figuur 32 staat het effect van de gekozen basistemperatuur op het verwachte aantal nieuw gevormde vruchten (boven) en het aantal te oogsten vruchten (onder) voor de komende periode van 10 dagen.



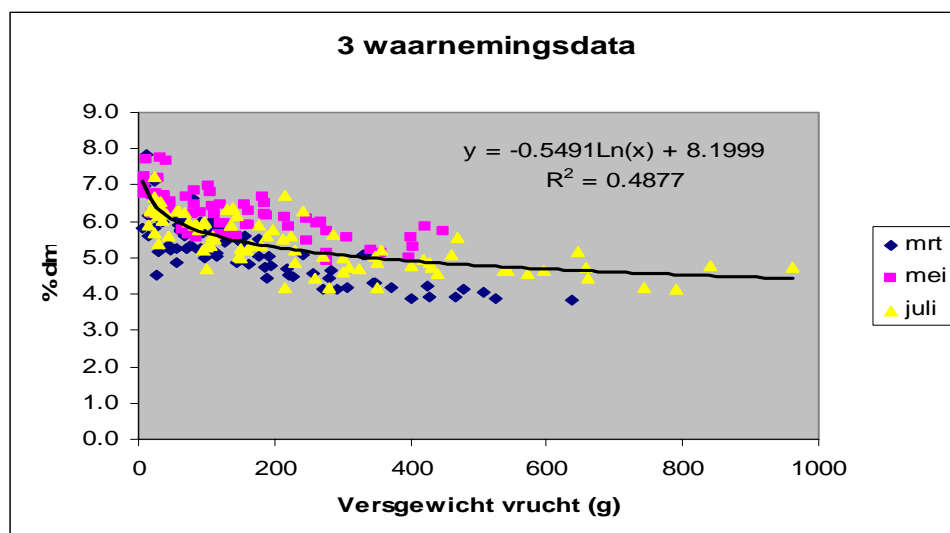
Figuur 32: Invloed van de ingestelde basistemperatuur op het te verwachten aantal nieuw gevormde vruchten (boven) en het aantal te oogsten vruchten (onder) in de komende periode van 10 dagen in afdeling 1 (lichte stralingsinvloed; links) en afdeling 3 (sterke stralingsinvloed; rechts), zoals berekend door het beslissingsondersteunende gedeelte van het model.

Het aantal nieuwe vruchten geeft in feite de succesvolle vruchtzetting weer, en wordt bepaald door het

aantal vrouwelijke bloemen dat in die periode verschijnt en verminderd met de hoeveelheid bloemen en vruchten die aborteren. Over het algemeen kwam uit deze grafieken een redelijk duidelijk temperatuuroptimum naar voren zoals in figuur 31 linksboven. Dit optimum werd aan de lage temperatuurkant bepaald door teeltsnelheid, aan het hoge kant door abortieprocessen. De grafiek verschilt iets van die van de te oogsten vruchten omdat de oogst ten opzichte van de zetting enkele dagen in de tijd naar achteren is verschoven. Verder ligt het optimum van het aantal te oogsten vruchten iets meer naar rechts verschoven. Dit is echter een korte termijn effect, dat wordt veroorzaakt doordat bestaande vruchten alleen in een jong stadium gevoelig zijn voor abortie. Zijn ze dat stadium eenmaal gepasseerd, dan berekende het model dat ze bij hogere temperaturen gewoon eerder werden geoogst. De schijnbare verschuiving van het optimum naar hogere temperaturen geldt dus alleen voor de korte termijn; het gevolg van dit 'erf stoken' van de vruchten op wat langere termijn is juist een vermindering van de productie omdat er minder vruchten aan de plant achterblijven. Voor de selectie van een geschikte instelling van de basistemperatuur is het aantal succesvol gezette vruchten dus een beter criterium.

4.4.6 Uitgroeicurve vruchten

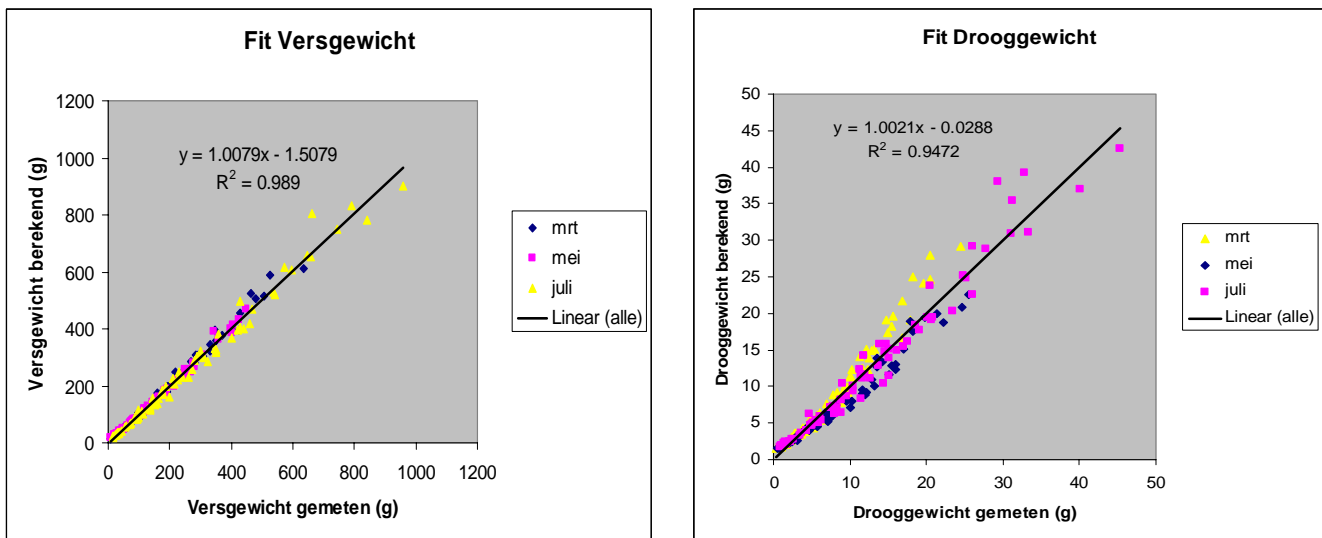
Op drie waarnemingstijdstippen zijn uit de vier verschillende afdelingen met temperatuurbehandelingen vruchten in diverse stadia van uitgroei geoogst. Hierbij zijn de volgende waarnemingen uitgevoerd: lengte, diameter, versgewicht en drooggewicht. In de volgende figuur is het verloop van het percentage droge stof gegeven op drie tijdstippen.



Figuur 33: Verloop van het % droge stof (%dm) van de vruchten van courgette op 16 maart, 17 mei en 1 juli 2004. De symbooltjes geven de waarden per waarnemingsdatum aan, de lijn is een logaritmische fit op alle data.

Het drogestof percentage van de vruchten blijkt niet constant te zijn: het is bij jonge vruchten hoger dan bij oudere, terwijl er ook tussen de waarnemingsdagen variatie te zien is. Vooral de vruchten geoogst in maart laten een lager percentage droge stof zien. Tussen de verschillende temperatuurbehandelingen was er geen verschil.

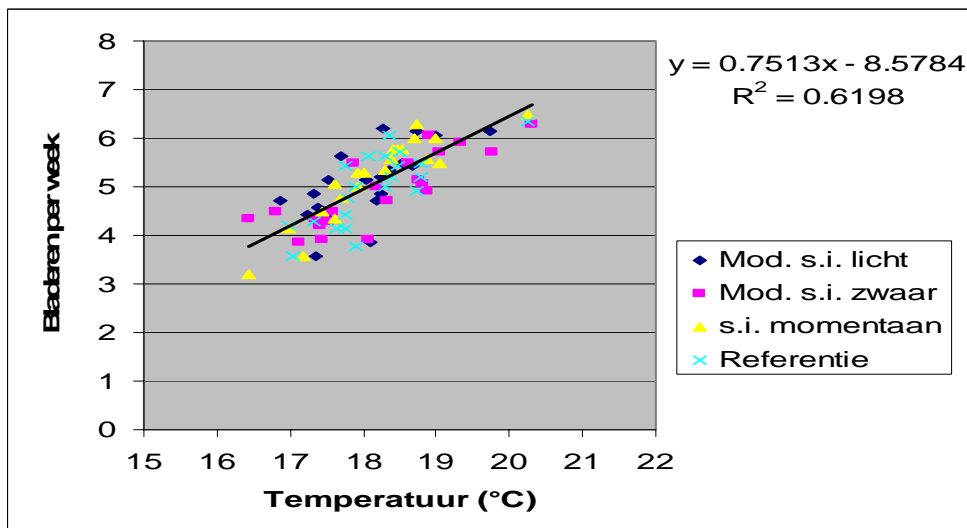
De vruchten van courgette zijn bij benadering cilindervormig. Bij een ideale cilinder geldt dat het gewicht evenredig is met het volume, en het volume evenredig met de lengte, vermenigvuldigd met het kwadraat van de diameter. Een dergelijk model is gefit op de gegevens van versgewicht en drooggewicht (figuur 33).



Figuur 34: Het verband tussen gemeten en berekend versgewicht (links) en drooggewicht (rechts) van courgettevruchten. De symbooltjes geven meetpunten voor 3 verschillende waarnemingsdagen weer, de lijnen staan voor de lineaire regressie van berekende op gemeten waarden voor alle waarnemingsdagen samen.

Te zien is dat het verband voor het versgewicht wat beter klopt dan voor het drooggewicht. De oorzaak hiervoor is waarschijnlijk de trend in % droge stof die uit figuur 33 blijkt.

Om de assimilatenvraag van de vruchten te kunnen schatten is eerst nog informatie nodig over het verband tussen leeftijd in dagen en de fysiologische leeftijd (rijpheid). Algemeen geldt dat de toename van de fysiologische leeftijd in de tijd afhankelijk is van de temperatuur: hoe hoger de temperatuur hoe sneller de ontwikkeling verloopt. Het verband tussen temperatuur en ontwikkelingsnelheid heeft een ondergrens: de temperatuur waar beneden de ontwikkeling stilstaat. Deze drempelwaarde en het verband tussen ontwikkelingsnelheid en temperatuur zijn in principe uit een figuur zoals figuur 35 te halen.

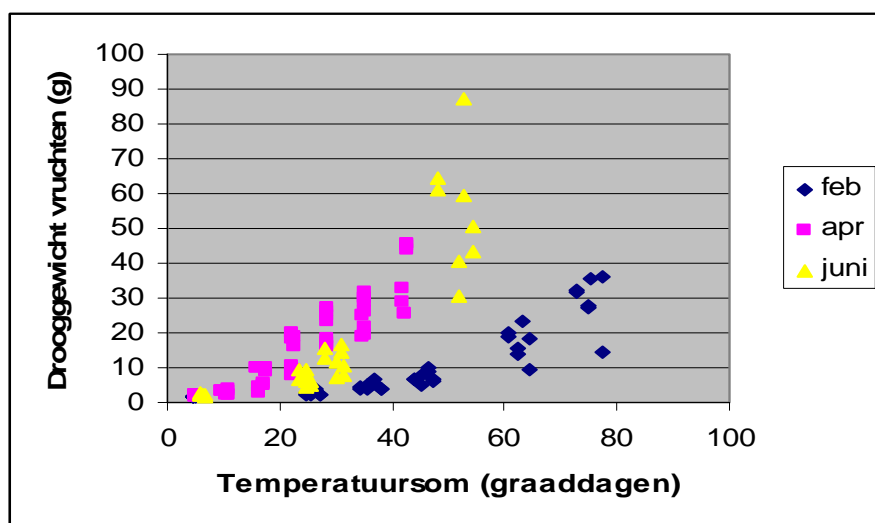


Figuur 35: Verband tussen de gemiddelde weektemperatuur (°C) en de snelheid waarmee vruchten zich ontwikkelden (1/dag). De individuele symbolen geven waarnemingen per afdeling weer, de regressielijn geldt voor de complete dataset.

In het geval van vruchtuitgroei bij courgette is het probleem dat het criterium voor het oogsten van de vruchten de grootte is en niet het ontwikkelingsstadium. Behalve ontwikkeling speelt hierbij waarschijnlijk ook de beschikbaarheid van assimilaten een rol. Het gevonden verband is ook niet erg sterk (figuur 34). De

uitschieters hebben waarschijnlijk met extremen in de source / sinkverhouding te maken. Uit de regressieparameters zijn de volgende waarden te berekenen: drempeltemperatuur 12,2 °C, temperatuursom voor uitgroei 45,9 graaddagen. Het is duidelijk dat aan deze waarden niet veel zekerheid kan worden ontleend.

In de maanden februari, april en juni is aan planten met een door vruchtsnoei beperkt aantal vruchten een serie waarnemingen uitgevoerd, waarbij op opeenvolgende dagen lengte en diameter van uitgroeïende vruchten werden bepaald. Door gebruik te maken van de relatie tussen lengte, diameter en drooggewicht van de vruchten (figuur 33) is een tijdserie van het drooggewicht te verkrijgen. Verder was de temperatuur tijdens de uitgroeiperiode bekend, en dus kan met gebruikmaking van de relatie tussen temperatuur en ontwikkelingsnelheid de opbouw van de temperatuursom in diezelfde periode worden berekend. Wanneer het drooggewicht van de vruchten wordt uitgezet tegen de temperatuursom, dan ontstaat figuur 36.



Figuur 36: Verloop van berekend drooggewicht van de vruchten (g) in relatie tot de temperatuursom (graaddagen), weergegeven per periode van waarnemen.

Het is duidelijk dat de uitgroei-curve zoals geschat met behulp van deze methode niet constant is: in februari is de hellingshoek aanzienlijk minder steil dan in de latere perioden. De data van de perioden in april en juni liggen wel redelijk bij elkaar in de buurt. Over het algemeen wordt de uitgroei-curve beschouwd als een vrij fundamentele eigenschap van een vrucht, en daar is dit resultaat niet mee in overeenstemming. Er kunnen twee mogelijke verklaringen zijn:

1. De methode van vruchtdunning was in februari niet voldoende om continu een situatie te creëren waarin het aanbod van assimilaten niet beperkend was. Dit is een voorwaarde voor het maken van een uitgroei-curve, en als daar niet aan wordt voldaan dan ontstaat een curve met een te geringe hellingshoek (wat inderdaad hier het geval is).
2. De eerste vruchten die door een jonge plant in het begin van het seizoen worden aangelegd zijn kleiner dan de vruchten die door een volwassen plant later in het seizoen worden gevormd. Daarom zullen ze in de loop van hun ontwikkeling ook een minder steile uitgroei-curve volgen.

Het is wel van belang om onderscheid te maken tussen deze twee mogelijkheden, omdat de berekening van de sinksterkte van de vruchten in het model is gerelateerd aan de uitgroei-curve. In het geval van mogelijkheid 1 hebben de vruchten in februari wel dezelfde sinksterkte als die in april of juni, in het tweede geval niet.

4.5 Discussie met betrekking tot model

Het ontwikkelen van dit model was een zeer leerzaam proces. Behalve het goed in beeld brengen van de diverse fysiologische processen die bepalend zijn voor het productieverloop bleek ook een speciale module nodig te zijn die de proefleider kon assisteren bij het nemen van operationele beslissingen. In dit geval betrof dat het kiezen van de meest geschikte instellingen van de basistemperatuur in de afdelingen waarin de temperatuurinstelling afhankelijk was van de instralingssom over de afgelopen drie etmalen. Behalve het meerekenen met het verloop van de teelt was het model in staat om een relevant aantal dagen vooruit te rekenen, waardoor het nut als beslissingsondersteunend instrument toenam. Beslissingen over instellingen van de klimaatregelaar die een teler (of in dit geval de proefleider) op een bepaald moment neemt zijn immers bedoeld om in de nabije toekomst een bepaald gewenst verloop van de teelt te realiseren.

De belangrijkste afweging die in de courgetteteelt gemaakt dient te worden is het productietempo tegen de abortiekans. Bij vruchtgroentegewassen worden abortieprocessen bepaald door source/sinkrelaties, die vaak een duidelijke eigen dynamiek vertonen. De source, dus de aanmaak van assimilaten, is vooral afhankelijk van het lichtniveau. De lichtcondities in de kas kunnen sterk wisselend zijn (figuur 25). De sinksterkte, dus de behoefte van het gewas aan assimilaten, wordt sterk bepaald door temperatuurcondities en door de hoeveelheid uitgroeiende vruchten aan de plant. Als de vruchtzetting onregelmatig verloopt als gevolg van variabele lichtcondities, dan ontstaat als een dynamisch effect ook een wisselende plantbelasting, die zo dus een secundair effect op de source/sinkverhouding zal hebben. Dit dynamische proces is in principe niet goed met een vast teeltrecept te beschrijven, hiervoor is een model nodig dat de variabele plantbelasting goed in beeld brengt.

In het huidige project is gekozen voor het eenvoudigste model dat de variatie in bloemabortie en vruchtzetting kon beschrijven. Een eenvoudig model kan het voordeel hebben dat het robuust is, relatief eenvoudig te calibreren, en niet erg gevoelig voor raseffecten. Dit heeft in principe voordelen bij een snelle introductie in de praktijk.

Uit de simulatieresultaten blijkt dat het model op hoofdlijnen de theoretisch te verwachten effecten goed weergaf, maar dat er vooral in de tweede helft van de teelt steeds meer afwijkingen optraden. Met name werd het percentage vrouwelijke bloemen op het laatst overschat, terwijl de processen van bloem- en vruchtabortie werden onderschat. Beide afwijkingen hebben waarschijnlijk een gemeenschappelijke oorzaak, namelijk dat de source/sinkverhouding in de loop van de teelt steeds meer werd overschat. Op zichzelf biedt het ontwikkelde model wel een goed kader om de belangrijkste processen te beschrijven. Er is geen technische belemmering om de nu gebruikte individuele fysiologische functies te vervangen door betere. Wat betreft de source / sinkverhouding liggen twee verbeteringen voor de hand: de sourcekant van het model, die de assimilatiefunctie beschrijft, was in de huidige versie simpelweg evenredig met de geabsorbeerde hoeveelheid licht. Bekend is dat de efficiëntie van lichtbenutting bij hogere lichtintensiteit afneemt, de lichtresponscurve van de fotosynthese wordt normaal beter beschreven door een verzadigingsfunctie van het lichtniveau. De overschatting van de source / sinkverhouding in de tweede helft van de teelt kan te maken hebben met het genoemde effect van een verminderde lichtbenuttingsefficiëntie bij de hoge lichtniveaus die typisch in het late voorjaar kan optreden. Een tweede effect dat gevolgen heeft in dezelfde richting is de invloed van het CO₂-niveau, die nu niet in het model was opgenomen. Algemeen geldt dat de fotosynthese efficiënter werkt naarmate de CO₂-concentratie hoger is, met name bij hogere lichtniveaus. In de eerste helft van de teelt (vroeg voorjaar) werd er minder geventileerd dan in de tweede helft, waardoor er in de loop van de teelt een dalende trend in de CO₂-concentratie optrad. Genoemde verfijningen van de source-module zijn eenvoudig in het model door te voeren. Een derde effect dat de overschatting van de source / sinkverhouding in de tweede helft van de teelt in de hand kan hebben gewerkt is de enorme bladmassa die de courgetteplant in de loop van de teelt maakt. De plant heeft bladeren nodig voor de assimilatie, maar elk blad kost ook assimilaten vanwege de onderhoudsademhaling, en vormt daarmee tevens een sink. Afhankelijk van het lichtniveau is de balans voor de bovenste 3 tot 5 bladlagen nog positief, maar meer naar onderen in het gewas neemt de lichtintensiteit af en krijgt de sinkwerking van bladeren de overhand. Aan het eind van de teelt was de LAI toegenomen tot ruim 6 m² blad per m² teeltoppervlakte. Het is dus waarschijnlijk dat het gewas in de tweede helft van de teelt geleidelijk

aan meer dan de optimale hoeveelheid bladoppervlakte heeft ontwikkeld. Bij een courgetteplant is de vegetatieve massa relatief groot ten opzichte van de generatieve massa van bloemen en vruchten. Bij grote en zware bladeren hoort een hoge assimilatenbehoefte in verband met de onderhoudsademhaling, waardoor waarschijnlijk de source / sinkverhouding in de tweede helft van de teelt naar beneden is getrokken. De proefleider gaf ook aan dat er in de tweede helft van de teelt steeds meer problemen ontstonden met rot in de bladeren. Dit wijst op een verzwakking, die te maken kan hebben met de negatieve assimilatenbalans. Het courgettegewas lijkt onvoldoende in staat om overtollige bladeren netjes te laten verdrogen of af te stoten. Ook dit onderdeel is technisch redelijk eenvoudig in het model op te nemen.

Een ander aspect aan het model dat misschien op basis van nadere studie kan worden verbeterd vormen de abortieprocessen. Modelleren van abortie in termen van afstemming tussen source en sink is een aspect van het dynamisch modelleren van productiegewassen dat nog in de kinderschoenen staat. Het is bij de meeste gewassen niet goed bekend hoe het source / sink signaal wordt geïntegreerd door bloemknoppen en jonge vruchtjes, en waardoor precies de gevoelige periode wordt bepaald. In dit geval is eenvoudig een vaste gevoelige periode in graaddagen aangenomen, maar bijvoorbeeld van het gewas katoen is bekend dat de abortiekans een ingewikkelder verloop heeft en waarschijnlijk mede door hormonale effecten wordt bepaald (Lieth et al., 1986).

Een ander onderdeel van het model dat mogelijk nog verbetering in de simulaties kan aanbrengen is de uitgroefunctie van de vruchten. Courgettevruchten worden op gewicht geoogst, niet op fysiologische rijpheid. In het huidige model werd de eenvoudige benadering gekozen om de vruchten altijd na een vast aantal graaddagen te oogsten. De praktische reden om deze benadering te kiezen was, naast de eenvoud, het feit dat er geen datasets beschikbaar waren om een uitgroefunctie met gewicht als criterium te kunnen calibreren. De nu gekozen benadering heeft met zekerheid beperkingen: de relatie tussen fysiologische leeftijd en het gewicht van een vrucht wordt bepaald door source / sinkrelaties. Hoe hoger de source / sinkverhouding, des te zwaarder zal een vrucht na een bepaald aantal graaddagen zijn geworden. Omdat uitgroeiende vruchten een sterke sink voor assimilaten vormen, is een juiste bepaling van het oogstmoment van belang voor een zuivere schatting van de source / sinkverhouding.

De beslissingsondersteunende functies van het model zijn in het kader van het huidige project toegesneden op het kiezen van de meest gewenste basistemperatuur in een specifieke temperatuurregeling. Deze aanpak kan echter eenvoudig worden omgebouwd zodat ook voor andere beslissingen kan worden geadviseerd: een ander type temperatuurregelaar, onder andere ook een standaard setpointregeling, optimale plantafstand, aantal te snoeien bladeren, etc. Met iets meer vernuft lijkt het ook haalbaar om variabele grenswaarden voor temperatuurintegratie te berekenen, waarmee ook in algemener verband de resultaten van dit project het doel van energiebesparing kunnen dienen.

5 Discussie

Eén van de doelen van het onderzoek was om via de lichtafhankelijke temperatuurregelingen een minimaal 5% lager energiegebruik en een 5% hogere productie en een gelijke of betere kwaliteit van de courgettes te realiseren. Een duidelijk lager energiegebruik is inderdaad bereikt in de afdeling waarbij een forse temperatuurverhoging stond ingesteld afhankelijk van de momentane straling. Dit was de meest simpele behandeling met 6,5 °C temperatuursverhoging per 400 W/m² aan instraling. Over de periode waarin de verschillende behandelingen waren ingesteld (week 6 tot en met 27), werd bij deze behandeling 17% ofwel ruim 2,7 m³/m² gas bespaard. Dit percentage komt ongeveer overeen met resultaten uit onderzoek met lichtafhankelijke temperatuurregeling met potplanten (Papenhagen, 1977).

In de praktijk is een energiebesparing van 10 tot 15% bij courgette echter reëler, omdat tot het einde van de proef in begin juli een forse stralingsverhoging stond ingesteld. Bij veel instraling en hoge buitentemperaturen in het late voorjaar en zomer kan dit leiden tot hoge planttemperaturen, welke de productie negatief zouden kunnen beïnvloeden. Eind mei zijn er in deze afdeling van 11.00 tot 17.00 uur planttemperaturen gemeten die zo'n 6 °C hoger lagen dan de kastemperatuur! Tot week 23 was de productie in de afdeling met een forse momentane stralingsverhoging hoger dan bij de standaard. Dit is hoogstwaarschijnlijk het gevolg van de hogere CO₂-concentratie door minder ventileren in de afdeling met de momentane stralingsverhoging. In de laatste maand liep de standaardbehandeling echter wat uit qua productie in vergelijking met de forse momentane stralingsverhoging. Om de grenzen te verkennen is in de proef na overleg met de begeleidingscommissie deze forse stralingsverhoging echter tot het eind toe gehandhaafd. Als de forse stralingsverhoging bijvoorbeeld na half mei (na week 20) uit de regeling gehaald zou zijn, was toch nog een besparing bereikt van 2,2 m³/m² ofwel 15%! De verwachting is dat de productie dan minimaal gelijk zou zijn gebleven aan die van de standaard. Financieel is dit erg aantrekkelijk voor de teler. Naast het financiële voordeel van energiebesparing is er immers ook het voordeel dat vruchten vroeg veelal meer opbrengen dan later in het seizoen.

Een hogere stuksproductie is echter niet gerealiseerd, ook niet in de andere modelbehandelingen. In deze behandelingen was het energiegebruik zelfs wat hoger, namelijk 6 tot 8% hoger dan bij de standaardbehandeling. Dit laatste heeft ongetwijfeld te maken met het feit dat bij deze behandelingen pas achteraf met de temperatuur op de stralingssom werd gereageerd. Bij sterke weerswisselingen kan dit tot gevolg hebben dat er hard moet worden gestookt terwijl het op dat moment koud en bewolkt weer is. Dit is dan nodig omdat er in de voorgaande drie dagen bijvoorbeeld veel instraling is geweest. De behandeling is in overleg met enkele telers vastgesteld.

Uit de planttemperatuurmetingen komen er ook interessante gegevens. In een heldere nacht vroeg in het seizoen kan de planttemperatuur door veel uitstraling duidelijk onder de ruimtetemperatuur zakken. Dit kan enkele graden schelen. Omdat de kooptemperatuur sterk bepalend is voor de verhouding mannelijke/vrouwelijke bloemen, kan dit zo'n zeven weken later leiden tot een tekort aan mannelijke bloemen voor de bestuiving (Janse, 2001). Door het dichttrekken van een energiescherm, kan dit deels worden voorkomen. Daarentegen kan bij veel instraling in het late voorjaar en de zomer de planttemperatuur erg hoog oplopen tot wel 31 °C of hoger (zie paragraaf 3.1). Dit is ongunstig, omdat dan immers onder andere de ademhaling op een hoger niveau ligt en het gewasonderhoud veel assimilaten kost. In de proef zijn er alleen planttemperatuurmetingen verricht in de afdeling met een forse momentane stralingsverhoging. In deze kas mocht ook de grootste variatie in planttemperatuur worden verwacht. Ondanks een gelijke ruimtetemperatuur, waren er over de gehele periode hier vijf (=5%) meer bladeren gevormd dan bij de standaard. Mogelijk is door het minder ventileren de planttemperatuur bij de momentane stralingsverhoging gemiddeld toch wat hoger geweest dan bij de standaard.

Wat verder opvalt in dit onderzoek is dat een courgette een hoge LAI heeft. Aan het eind van de teelt was dit zelfs opgelopen tot ruim 6. De hoge LAI werd gerealiseerd ondanks het feit dat er in de tweede helft van de teelt nogal wat bladeren zijn verwijderd die op de bladsteel bacterierot vertoonden, om te voorkomen dat de plant zou worden aangetast. Ook waren veel onderste bladeren verdroogd. De hoge LAI wordt mede veroorzaakt door de relatief hoge plantdichtheid in de proef. De LAI is immers het aantal m² blad per m².

Een hoge plantdichtheid kan ook wat meer abortie veroorzaken (Janse, 2000), waardoor er relatief veel assimilaten naar de bladeren toegaan. Uit een oriënterend proefje in 2003 bleek dat een lage plantbelasting door vruchtsnoei toe te passen, inderdaad leidt tot meer en grotere bladeren. Berekend is dat ongeveer 56% van de assimilaten naar de vruchten gaat. Bij tomaat en komkommer is dit resp. ongeveer 70 en 60%. Uit berekening blijkt dat de vegetatieve assimilatenvraag, dat is de assimilatenbehoefte van het groeipunt plus onderhoud van de vegetatieve delen, halverwege de teelt (april) ongeveer even groot te zijn als de generatieve vraag van de vruchten. Aan het einde van de teelt is de vegetatieve assimilatenvraag 2,3 keer zo groot te zijn dan de generatieve assimilatenvraag. Om aan het einde van de teelt een evenwicht tussen de vegetatieve en generatieve assimilatenvraag te bereiken, zou aan het eind slechts ongeveer 25% van het totaal gevormde blad over moeten blijven.

De grote hoeveelheid abortie van gemiddeld 30% is bij alle behandelingen gedurende vrijwel de gehele teelt een groot probleem geweest. Hierdoor was de plant niet goed in evenwicht en neigde de groei naar de vegetatieve kant, onder andere door de vorming van relatief grote bladeren. De oorzaak voor de grote hoeveelheid abortie is onduidelijk. Ongetwijfeld heeft de relatief hoge plantdichtheid in combinatie met de teelt in een oudere kas hiermee te maken, maar in het seizoen ervoor leidde dit absoluut niet tot problemen. De instraling was toen echter 16% hoger dan normaal, terwijl de instraling in het afgelopen seizoen een meer normaal karakter had. Typisch is dat er globaal genomen nauwelijks verschillen in de mate van abortie tussen de verschillende behandelingen zijn opgetreden (zie figuur 9). Er moet dus een gemeenschappelijke oorzaak zijn. Hoewel vooral de etmaaltemperatuur maar ook de weektemperatuur behoorlijk kon variëren tussen de vier klimaatbehandelingen, was over een lange periode gezien de etmaaltemperatuur amper verschillend. Een continu lagere etmaaltemperatuur zou de kans op abortie moeten verkleinen, maar verlaagt ook de groei- en ontwikkelingssnelheid. Het totale aantal goed uitgroeiende vruchten hoeft daardoor echter nog niet te stijgen.

In een vervolgonderzoek op het PPO zal speciaal aandacht worden besteed aan de oorzaken van abortie. Naast het klimaat en de plantdichtheid, zal hierbij ook gekeken worden naar de bladhoeveelheid.

Meer in het algemeen moeten in een productief gewas biomassaproductie en ontwikkelingsprocessen redelijk op elkaar afgestemd zijn. Deze afstemming bepaald de productiviteit van het gewas en kwaliteit van de geoogste vruchten. Vooral wanneer het ontwikkelingstempo te hoog ligt ten opzichte van de groei is er grote kans op bloem- of vruchtabortie. Een ongewenst bij-effect is dat het gewas onder die omstandigheden relatief veel energie investeert in vegetatieve groei, wat ten koste kan gaan van de vruchtproductie. De gebruikelijke teeltrecepten zijn proefondervindelijk geoptimaliseerd zodat ze een behoorlijk goed werkende combinatie van lichtomstandigheden en (vaste) teelttemperatuur opleveren. De prijs voor die constante temperatuur kan een hoge energierekening zijn, en het risico dat het gewas in een donkere periode te ver uit balans raakt. Een voor de hand liggende oplossing is om de temperatuur meer lichtafhankelijk te regelen; combinaties van veel licht / warm en weinig licht / koel zijn stooktechnisch gemakkelijk en efficiënt te realiseren, en ook mag verwacht worden dat de plantbalans onder die omstandigheden minder varieert. In de huidige proef is inderdaad gebleken dat de behandeling met directe stralingsinvloed meer energie-efficiënt was dan de referentie; van een beter gewas was in dit geval echter geen sprake.

Stoken om een gewenste temperatuur te realiseren is de belangrijkste energieverbruiker in de tuinbouw. Het loslaten van een vaste teelttemperatuur opent mogelijkheden voor energiebesparing. Het betekent echter tegelijkertijd het spelen met de snelheid van ontwikkelingsprocessen in het gewas. Door afwijkingen toe te laten ontstaat optimaliseringsruimte voor energiezuinige klimaatregelaars gebaseerd op het TI-principe, maar ook voor het afstemmen van de aanvoer op de heersende marktomstandigheden. Hoe ver met de temperatuur mag worden afgeweken hangt af van de heersende lichtcondities, maar ook van factoren die te maken hebben met de gewastoestand, zoals LAI, ontwikkelingsstadium en plantbelasting. Juist die invloed van het gewas zelf maakt het bepalen van een geschikte teelttemperatuur en de toelaatbaarheid van afwijkingen ingewikkeld. Hoe het gewas op dit moment zal reageren hangt af van de voorgeschiedenis. Effecten van klimaatinstellingen die nu worden gekozen, werken door in de toekomst. Om kwantitatief rekening te kunnen houden met deze gewaseffecten zijn modelberekeningen nodig. Om dit soort afwegingen te kunnen maken is voor courgette in deze proef een model ontwikkeld. Het model bouwt voort op ervaringen met de toepassing van het RRT-principe bij paprika, opgedaan in eerder

onderzoek (Buwalda et al., 2003). Het model rekende mee met twee behandelingen waarbij de temperatuur voor de komende dag werd bepaald op basis van de lichtsom over de voorafgaande drie dagen. Aan het model was een beslissingsondersteunend systeem gekoppeld, zodat het kon worden gebruikt om het effect te laten zien van de ingestelde basistemperatuur op het te verwachten teeltverloop in de komende 10 dagen. Het belangrijkste hierbij was het inzichtelijk maken van de relevante afwegingen, het kunnen meerekenen met een teelt en het operationeel maken van voorspellingsfuncties die de gevolgen van een reeks mogelijke instellingen laten zien. Met welke teelt er precies werd meegerekend is in dit opzicht niet zo belangrijk. Ook zegt het feit dat in de behandelingen met 3-daagse stralingsinvloed geen energiewinst is behaald niets over het belang van een dergelijk beslissingsondersteunend systeem.

Teruggrijpend op de doelstellingen van het project kan worden gesteld dat het model inderdaad behoorlijk goed in staat bleek om courgettelers handvatten te geven om het gewas beter te sturen op productie met behoud van voldoende mannelijke bloemen voor de bestuiving. De voorspelling van de sexeverhouding van de bloemen was gebaseerd op het RRT-principe.

Wat betreft de plantbelasting bleek een uitwerking van het RRT-principe 77% van de waargenomen variatie te kunnen verklaren. Echter om effecten van teeltcondities op abortiekansen te berekenen is ook informatie nodig over de actuele plantbelasting. Omdat abortiekans een belangrijke afweging is die telers maken en omdat deze kans sterk afhankelijk is van de temperatuur, kan worden gesteld dat het RRT-principe op zichzelf te weinig basis biedt voor een voorspelling. Hierbij is informatie over de plantbelasting onontbeerlijk. Zowel bij het berekenen van de sexeverhouding van de bloemen als van de abortiekans bleek dat de calibratie van het model die in het voorjaar tot goede simulaties leidde in de zomer toch afwijkingen gaf. In latere stadia van de teelt werd het aantal mannelijke bloemen enigszins onderschat, terwijl ook de abortiekans te laag werd ingeschat. Een gemeenschappelijke verklaring voor beide afwijkingen is dat het RRT-principe achter het model in de zomer een overschatting gaf van de source/sinkratio in het gewas, die de meest aannemelijke fysiologische drijfveer vormt achter de waargenomen effecten. Hierbij heeft waarschijnlijk de hoge assimilatenvraag van de extreme bladmassa die in de tweede helft van de teelt was ontstaan een rol gespeeld. Verder hebben mogelijk ook verschillen in lichtbenuttingsefficiëntie tussen voorjaar en zomer een rol gespeeld, die verband houden met CO₂-effecten en lichtverzadiging van de fotosynthese.

De achterliggende vraag is of het RRT-principe, of sterk vereenvoudigde modelbenaderingen in het algemeen, van nut zijn voor toepassing in de tuinbouw, in het bijzonder op het gebied van energiebesparing. RRT staat voor de Ratio of Radiant to Thermal energy, de licht / temperatuurverhouding dus. De meest eenvoudige toepassing van het principe is feitelijk de behandeling met momentane stralingsverhoging, zoals toegepast in dit project. In deze simpele vorm is er eerder sprake van een vuistregel dan van een model. Zoals ook blijkt uit bevindingen in het projecten Meerdaagse Temperatuurinstellingen en Grenswaarden voor temperatuurintegratie bij siergewassen klopt de algemene strekking van het principe in ieder geval: bij een positief verband tussen licht en temperatuurniveau zal het gewas over het algemeen beter in balans zijn dan bij een vaste temperatuur onder variabele lichtcondities. Verder geldt dat combinaties van lage temperatuur bij lage lichtintensiteit en hoge temperatuur bij een hoog lichtniveau stooktechnisch efficiënt zijn te realiseren. Inderdaad bleek de betreffende behandeling in de huidige proef tot energiebesparing te leiden. Toepassing van het RRT-principe op gedetailleerde gewasreacties waarvan verwacht kan worden dat ze sterk worden bepaald door source/sinkrelaties blijkt kwalitatief behoorlijk goede trends op te leveren. In dit project is echter gebleken dat het principe voor kwantitatief nauwkeurige voorspellingen toch belangrijke beperkingen kent. Aan de kant van de source ligt de beperking vooral in het feit dat de relatie tussen licht en assimilatenbeschikbaarheid niet helemaal constant is, maar wordt beïnvloed door lichtonderschepping, CO₂-beschikbaarheid en lichtniveau. Aan de kant van de sink geldt dat de invloed van vegetatieve respiratielasten in de loop van de teelt sterk kan toenemen, en verder dat de vruchtbelasting kan variëren. Om in de praktijk met deze beperkingen om te kunnen gaan zal ofwel het model moeten worden verfijnd, of in de loop van het seizoen regelmatig opnieuw moeten worden gecalibreerd. Dit hercalibreren zou kunnen plaatsvinden op basis van ervaring onder vergelijkbare omstandigheden in voorafgaande teeltjaren, aangevuld met geregistreerde informatie uit de lopende teelt. Wordt voor verfijning van het model gekozen, dan is er nog een heel scala aan mogelijkheden beschikbaar wat betreft niveau van detaillering. Het is dus niet zo dat een uitgebreid en gedetailleerd fysiologisch model het enige alternatief vormt voor toepassing van het RRT-principe.

6 Conclusies

- Over de gehele proefperiode was de gerealiseerde etmaaltemperatuur van ruim 18 °C bij alle behandelingen vrijwel gelijk.
- Ondanks dezelfde etmaaltemperatuur werden er 5% meer bladeren gevormd in de afdeling met een momentane stralingsverhoging van maximaal 6,5 °C per 400 W/m² aan instraling in vergelijking met de standaardbehandeling met maximaal 2 °C per 200 W/m².
- De behandeling met momentane stralingsverhoging bespaarde 17% aan energie ofwel 2,7 kuub gas/m² ten opzichte van de standaard.
- Bij de twee modelbehandelingen met een lichte en sterke stralingsinvloed werd echter respectievelijk 8 en 6% meer energie gebruikt.
- De planttemperatuur is gemiddeld 0,5 °C hoger dan de kasttemperatuur. Bij veel uitstraling is de planttemperatuur lager en bij veel zon kan dit langdurig zo'n 6 °C hoger zijn dan de ruimtetemperatuur.
- De eindproductie bij de standaardbehandeling bedroeg begin juli 80 vruchten/m². Bij de andere behandelingen was dit 2 à 5% minder.
- Bij de momentane stralingsverhoging werd duidelijk minder geventileerd, waardoor het CO₂-gehalte minder snel daalde. Dit resulteerde waarschijnlijk vroeg in een hogere productie dan bij de standaard.
- In de proef aborteerden bij alle behandelingen circa 30% van de vruchtjes. Hierbij was 4/5 deel zwartjes en 1/5 deel geeltjes.
- De gemiddelde uitgroeiduur van courgettevruchten is 6 dagen.
- Het droge stofgehalte van oogstbare vruchten ligt half maart op 4% en vanaf half mei op ongeveer 5%. Tussen de behandelingen waren er geen verschillen.
- De courgetteplant gebruikt ongeveer 56% van de totale hoeveelheid assimilaten voor de vruchtproductie.
- Bijna 77% van de variatie in plantbelasting wordt verklaard uit de draagkracht van het gewas. De draagkracht is hoeveel energievraag van de vruchten dat het gewas aan kan zonder overbelast te raken. Deze waarde wordt berekend uit de verhouding tussen geabsorbeerd licht en de temperatuur.
- De LAI was half april en begin juli respectievelijk ruim 4 en 6 m² blad per m² grondoppervlak.
- Tegen het eind van de teelt is de vegetatieve assimilatenvraag 2,3 maal zo groot dan de generatieve assimilatenvraag. Halverwege de teelt is dit ongeveer in evenwicht.
- Het ontwikkelde groeimodel gaf de theoretisch te verwachten effecten goed weer. Vooral in de tweede helft van de teelt ontstonden echter steeds meer afwijkingen in de uitkomsten van het model door een overschatting van het percentage vrouwelijke bloemen en een onderschatting van de hoeveelheid abortie. Voor verder gebruik zal het model nog moeten worden aangepast.
- Het RRT-principe biedt kwalitatief een eenvoudige en robuuste basis voor voorspelling van gewasreacties op variaties in licht en temperatuur. Voor een nauwkeurige voorspelling van source/sinkafhankelijke processen stuit het principe echter toch op beperkingen. Die beperkingen hebben enerzijds te maken met het feit dat het verband tussen lichtniveau en netto beschikbaarheid van assimilaten in de plant enigszins varieert met het lichtniveau en door het teeltseizoen, anderzijds met de invloed van de gewastoestand (bijv. plantbelasting) op de manier waarop het gewas op klimaatcondities reageert.

Literatuur

- Buwalda, F., 1997. Mogelijkheden voor energiebesparing door temperatuurintegratie bij siergewassen. Effecten van lichtniveau, temperatuurniveau en wachttijd op de integratiecapaciteit van Ficus, Kalanchoe, Gerbera en roos. PBG rapport 120.
- Buwalda F, B. Eveleens, R. Wertwijn, 2000. Ornamental crops tolerate large temperature fluctuations: a potential for more efficient greenhouse heating strategies. *Acta Hort.* 515: 141-149.
- Buwalda, F., P. Haghuis, J. Kempen, H. van Gurp, P. Bouten, R. Baas, 2003. Integratie van gewasontwikkeling in kaskimaatregeling bij vruchtgroenten. Temperatuurintegratie met grenswaarden op basis van gewaskundige criteria. Rapport PPO Glastuinbouw projectnr. 41505073.
- El-Keblawy, A. en J. Lovett-Doust, 1996. Resource re-allocation following fruit removal in cucurbits: patterns in two varieties of squash. *New Phytol.* 133: 583-593.
- Janse, J., 2000. Lichtefficiëntie bij courgette. Onderzoek naar plantverdeling, plantdichtheden en bladsnoei. PBG-rapportnummer 298.
- Janse, J., 2001. Lage temperatuureffecten op de generatieve en vegetatieve ontwikkeling bij courgette. Literatuuronderzoek 2001. Rapportnummer PPO Glastuinbouw PPO GT 12002
- Janse J. en B. Berkhout, 2003. Effect kouval op compactheid courgetteplanten. Rapport PPO Glastuinbouw projectnr. 417.04608.
- Lieth, J.H., G.F. Arkin, A.B. Hearn, B.S. en Jackson, 1986. Modeling cotton fruiting form abortion. *Agron. J.* 78: 730-735.
- Papenhagen, A. , 1977. Wie zweckmässig ist eine lichtabhängige Temperaturführung bei Zierpflanzen? *Gärtnerbörse und Gartenwelt*, 34: 811-813.
- Summerfield, R.J., E. H. Roberts, R.H. Ellis en R.J. Lawn, 1991. Towards the reliable prediction of time to flowering in six annual crops. I. The development of simple models for fluctuating field environments. *Experimental Agric.* 27:11-31.
- Van den Berg, G.A., F.Buwalda en E. Rijpsma, 2001. Praktijkdemonstratie meerdaagse temperatuurintegratie. PPO rapport 501.
- Van Woerden, 2003. Kwantitatieve Informatie voor de Glastuinbouw 2003-2004. Groenten-Snijbloemen-Potplanten. PPO rapport 580, pp. 154+.

Publicaties naar aanleiding van het onderzoek met stralingsafhankelijke temperatuurregeling bij courgette:

- Anonymus, 2004. Lichtafhankelijk regelen spaart veel energie in courgette. *Groenten & Fruit* 2004, week 49, p. 21.
- Anonymus, 2004. Courgette vormt teveel blad. *Groenten & Fruit* 2004, week 50, p. 17.
- Janse, J., 2004. Stralingsafhankelijke temperatuur bij courgette. *Gewasnieuws kleine gewassen LTO-Groeiservice* 7(1):3.
- Janse, J., 2004. Onderzoek bij courgette onder glas. *Gewasnieuws kleine gewassen LTO-Groeiservice* 7(3):4.
- Janse, J., 2004. Lezing over onderzoek lichtafhankelijke temperatuurregeling op voorlichtingsavond van LTO-Groeiservice voor courgettetelers op 23 november 2004 te Bleiswijk.
- Janse, J. en F. Buwalda, 2005. Zoninvloed in klimaatregeling courgette spaart gas.. *Groenten & Fruit* 2005, week 4, p. 24-25.

Bijlage 1

Tabel 8: Ingesteld klimaat bij de start van de proef met courgettes op 20 januari 2004.

Klimaatparameter\behandeling	Model lichte stralingsinvloed	Model sterke stralingsinvloed	Momentane stralingsverhoging	Standaard
Stooktemperatuur dag	18,4 °C	18,4 °C	18,4 °C	18,4 °C
Stooktemperatuur nacht	18,4 °C	18,4 °C	18,4 °C	18,4 °C
Stooktemperatuur rond zonop (= 1 uur voor tot 2 uur na zonop)	12,5 °C	12,5 °C	12,5 °C	12,5 °C
Ventilatietemperatuur dag, nacht en rond zonop	+1 °C	+1 °C	+1 °C	+1 °C
Stralingsinvloed stook- en ventilatietemperatuur dag	100 tot 300W: +2 °C	100 tot 300W: +2 °C	100 tot 300W: + 2 °C	100 tot 300W: + 2 °C
Dalingssnelheid verwarming en ventilatie	5 °C / uur	5 °C / uur	5 °C / uur	5 °C / uur
Stijgsnelheid verwarming en ventilatie	3 °C / uur	3 °C / uur	3 °C / uur	3 °C / uur
Maximum ventilatie	105%	105%	105%	105%
Achterlopen windzijde op luwe zijde	100%	100%	100%	100%
CO ₂ dag	1000 ¹⁾	1000 ¹⁾	1000 ¹⁾	1000 ¹⁾

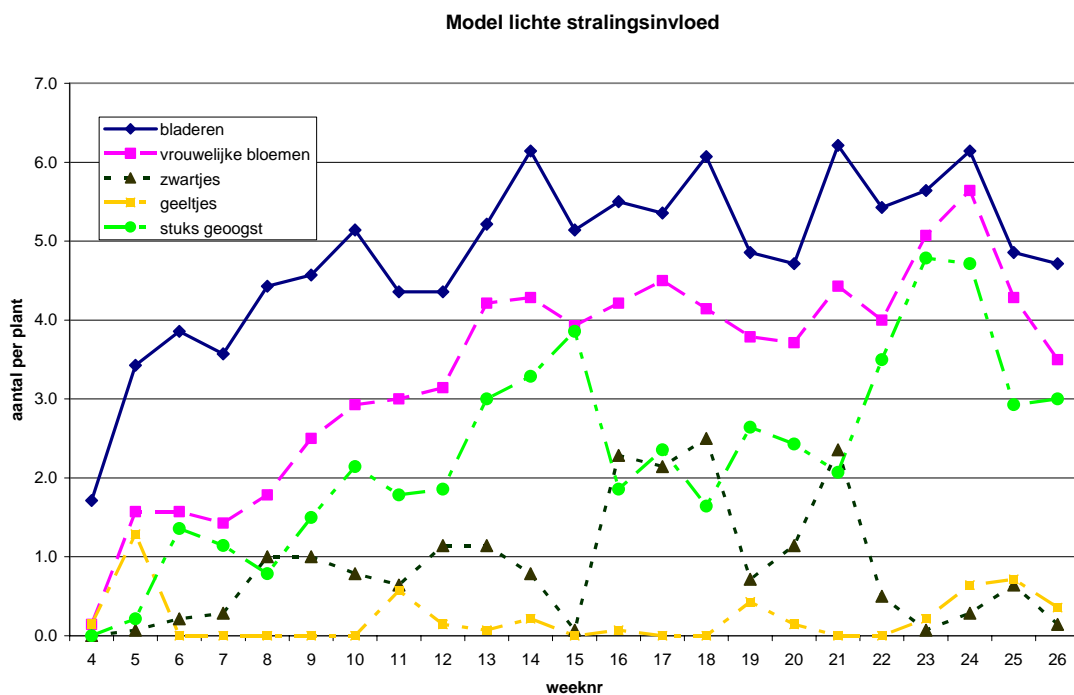
¹⁾ CO₂-gehalte werd verlaagd bij meer ventileren in verband met dosering van zuivere CO₂.

Bijlage 2

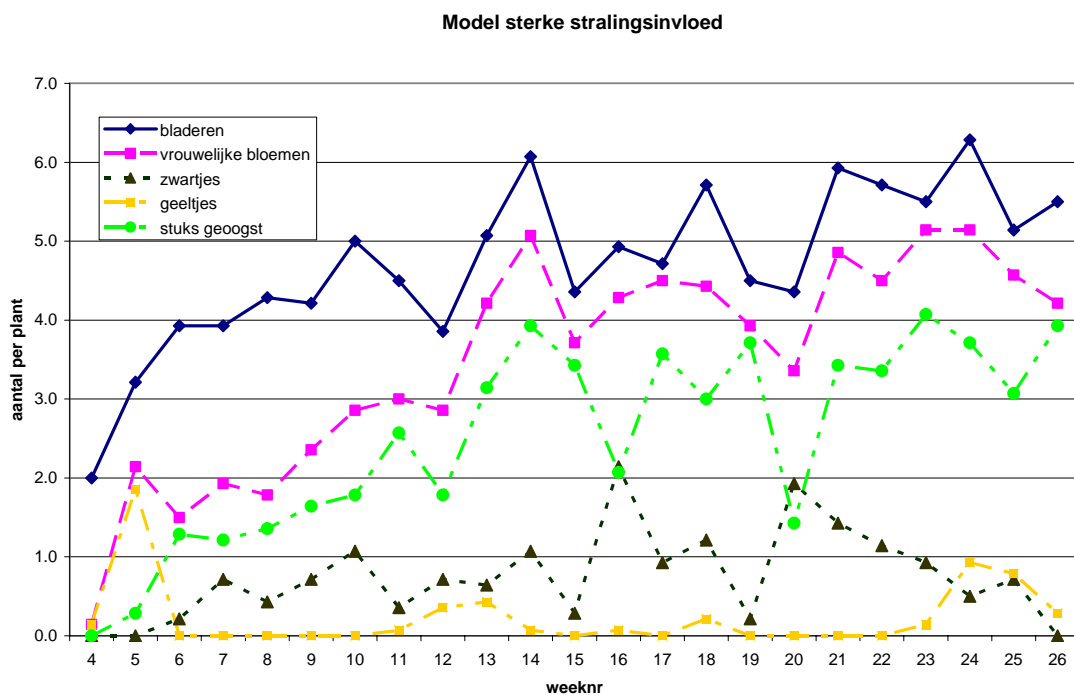
Tabel 9: Veranderingen klimaatinstellingen tijdens de proef (veranderingen zijn cursief weergegeven).

Datum wijziging	Klimaatparameter	Model lichte stralingsinvloed	Model sterke stralingsinvloed	Momentane stralingsverhoging	Standaard
23 jan	Stooktemperatuur dag/nacht	<i>20,0 °C/20,0 °C</i>	<i>20,0 °C/20,0 °C</i>	<i>20,0 °C/20,0 °C</i>	<i>20,0 °C/20,0 °C</i>
3 febr	Stooktemperatuur dag/nacht	<i>18,2 °C/18,2 °C</i>	<i>17,6 °C/17,6 °C</i>	<i>17,4 °C/17,4 °C</i>	<i>18,4 °C/18,4 °C</i>
	Stralingsinvloed stook- en ventilatietemperatuur			<i>100 tot 500W: + 6,5 °C</i>	100 tot 300W: + 2 °C
	Verhoging stook- en ventilatietemperatuur op stralingssom	<i>+0,25 °C/100J</i>	<i>+0,25 °C/100J</i>		
11 febr	Stooktemperatuur dag/nacht	<i>17,2 °C/16,8 °C</i>	<i>16,6 °C/16,2 °C</i>	<i>16,4 °C/16,0 °C</i>	<i>17,4 °C/17,0 °C</i>
13 febr	Stooktemperatuur dag/nacht	<i>16,8 °C/16,3 °C</i>	<i>16,1 °C/15,7 °C</i>	<i>16,9 °C/16,5 °C</i>	17,4 °C/17,0 °C
20 febr	Stooktemperatuur dag/nacht	<i>17,0 °C/16,3 °C</i>	<i>15,5 °C/14,8 °C</i>	<i>17,9 °C/17,2 °C</i>	<i>18,2 °C/17,5 °C</i>
1 mrt	Stooktemperatuur dag/nacht	<i>16,9 °C/16,2 °C</i>	<i>15,0 °C/14,3 °C</i>	<i>17,8 °C/17,1 °C</i>	<i>18,4 °C/17,7 °C</i>
8 mrt	Stooktemperatuur dag/nacht	<i>16,4 °C/15,7 °C</i>	<i>14,5 °C/13,8 °C</i>	17,8 °C/17,1 °C	18,4 °C/17,7 °C
15 mrt	Stooktemperatuur dag/nacht	<i>16,3 °C/15,1 °C</i>	<i>14,0 °C/12,8 °C</i>	<i>17,8 °C/16,6 °C</i>	<i>18,4 °C/17,2 °C</i>
22 mrt	Stooktemperatuur dag/nacht	<i>16,4 °C/15,2 °C</i>	<i>14,2 °C/12,6 °C</i>	17,8 °C/16,6 °C	18,4 °C/17,2 °C
26 mrt	Stooktemperatuur dag/nacht	<i>16,9 °C/14,7 °C</i>	<i>15,1 °C/11,9 °C</i>	17,8 °C/16,6 °C	18,4 °C/17,2 °C
29 mrt	Stooktemperatuur dag/nacht	<i>16,3 °C/14,1 °C</i>	<i>13,8 °C/10,6 °C</i>	17,8 °C/16,6 °C	18,4 °C/17,2 °C
5 april	Stooktemperatuur dag/nacht	<i>15,2 °C/12,3 °C</i>	<i>11,8 °C/ 8,9 °C</i>	<i>16,7 °C/14,6 °C</i>	<i>17,5 °C/15,5 °C</i>
	Kouval rond zonop	<i>eruit</i>	<i>eruit</i>	<i>eruit</i>	<i>eruit</i>
9 april	Stooktemperatuur dag/nacht	15,2 °C/12,3 °C	11,8 °C/ 8,9 °C	<i>17,0 °C/15,0 °C</i>	<i>17,5 °C/15,5 °C</i>
	Stralingsinvloed stook- en ventilatietemperatuur			<i>200 tot 600W: + 6,5 °C</i>	200 tot 400W: + 2 °C
13 april	Stooktemperatuur dag/nacht	<i>14,8 °C/11,9 °C</i>	<i>10,9 °C/ 8,0 °C</i>	17,0 °C/15,0 °C	17,5 °C/15,5 °C
	Maximum ventilatie	<i>200%</i>	<i>200%</i>	<i>200%</i>	<i>200%</i>
	Achterlopen windzijde op luwe zijde	<i>40%</i>	<i>40%</i>	<i>40%</i>	<i>40%</i>
19 april	Stooktemperatuur dag/nacht	<i>14,6 °C/11,7 °C</i>	<i>10,5 °C/ 7,7 °C</i>	17,0 °C/15,0 °C	17,5 °C/15,5 °C
26 april	Stooktemperatuur dag/nacht	<i>14,4 °C/11,5 °C</i>	<i>10,3 °C/ 7,4 °C</i>	17,0 °C/15,0 °C	17,5 °C/15,5 °C
3 mei	Stooktemperatuur dag/nacht	<i>14,1 °C/11,1 °C</i>	<i>9,7 °C/ 6,7 °C</i>	17,0 °C/15,0 °C	17,5 °C/15,5 °C
5 mei	Stooktemperatuur dag/nacht	<i>13,8 °C/ 8,8 °C</i>	<i>9,4 °C/ 4,4 °C</i>	17,0 °C/13,0 °C	<i>17,5 °C/13,5 °C</i>
	Stralingsinvloed stook- en ventilatietemperatuur			<i>200 tot 600W: + 6,5 °C</i>	<i>200 tot 400W: + 1 °C</i>
10 mei	Stooktemperatuur dag/nacht	<i>13,7 °C/ 8,7 °C</i>	<i>8,7 °C/ 3,8 °C</i>	<i>17,0 °C/12,6 °C</i>	17,5 °C/13,5 °C
	Ventilatietemperatuur dag/nacht	<i>+0,5 °C</i>	<i>+0,5 °C</i>	<i>+0,5 °C</i>	<i>+0,5 °C</i>
17 mei	Stooktemperatuur dag/nacht	<i>13,5 °C/ 8,5 °C</i>	<i>8,8 °C/ 3,8 °C</i>	17,0 °C/12,4 °C	17,5 °C/13,5 °C
31 mei	Stooktemperatuur dag/nacht	<i>13,0 °C/ 8,0 °C</i>	<i>8,2 °C/ 3,2 °C</i>	17,0 °C/12,4 °C	17,5 °C/13,5 °C
7 juni	Stooktemperatuur dag/nacht	<i>11,0 °C/ 5,0 °C</i>	<i>6,2 °C/ 0,2 °C</i>	<i>15,0 °C/ 9,4 °C</i>	<i>15,5 °C/10,5 °C</i>
	Stralingsinvloed stook- en ventilatietemperatuur			<i>200 tot 600W: + 5,5 °C</i>	<i>eruit</i>
	Achterlopen windzijde op luwe zijde	<i>20%</i>	<i>20%</i>	<i>20%</i>	<i>20%</i>
11 juni	Stooktemperatuur dag/nacht	<i>12,7 °C/ 7,7 °C</i>	<i>7,9 °C/ 2,9 °C</i>	<i>17,0 °C/12,4 °C</i>	<i>17,5 °C/13,5 °C</i>

Bijlage 3

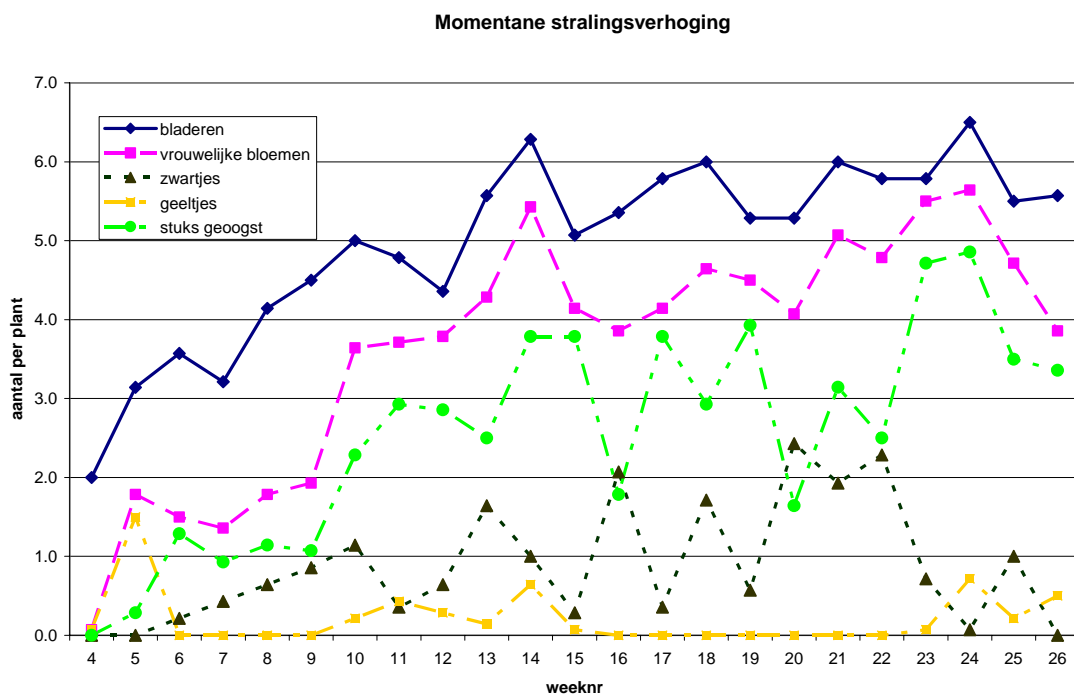


Figuur 37: Het aantal gevormde bladeren, vrouwelijke bloemen, zwartjes, geeltjes en geoogste vruchten per plant bij de modelbehandeling lichte stralingsinvloed per week weergegeven.

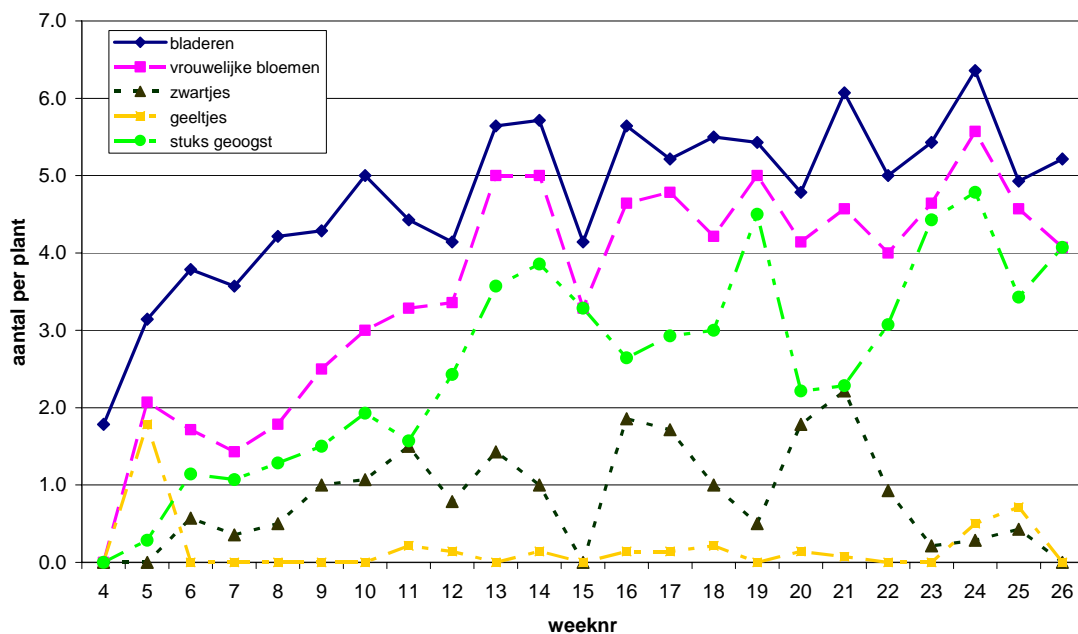


Figuur 38: Het aantal gevormde bladeren, vrouwelijke bloemen, zwartjes, geeltjes en geoogste vruchten per plant bij de modelbehandeling sterke stralingsinvloed per week weergegeven.

Bijlage 4



Figuur 39: Het aantal gevormde bladeren, vrouwelijke bloemen, zwartjes, geeltjes en geoogste vruchten per plant bij de behandeling momentane stralingsverhoging per week weergegeven.



Figuur 40: Het aantal gevormde bladeren, vrouwelijke bloemen, zwartjes, geeltjes en geoogste vruchten per plant bij de standaardbehandeling per week weergegeven.