

Temperatuurregeling in komkommer, met gebruik van het INTKAM gewasmodel

Analyse en handleiding

Anne Elings & Leo Marcelis





Temperatuurregeling in komkommer, met gebruik van het INTKAM gewasmodel

Analyse en handleiding

Anne Elings & Leo Marcelis

© 2004 Wageningen, Plant Research International 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 Plant Research International B.V.

Plant Research International B.V.

Adres : Droevendaalsesteeg 1, Wageningen
: Postbus 16, 6700 AA Wageningen
Tel. : 0317 - 47 70 00
Fax : 0317 - 41 80 94
E-mail : post.plant@wur.nl
Internet : <http://www.plant.wur.nl>

Inhoudsopgave

	pagina
1. Samenvatting	1
2. Aanleiding van het onderzoek	3
3. Beschrijving van de gesimuleerde fysiologische processen	5
3.1 Inleiding	5
3.2 Berekening van de Source/Sink verhouding	5
3.3 De Source / Sink verhouding onder representatieve klimaatomstandigheden	8
3.4 Selectie van het temperatuur setpoint	10
3.5 Uitgangspunten van het model	11
3.5.1 Leaf Area Index	11
3.5.2 Groei	11
3.5.3 Drogestofverdeling	12
3.5.4 Abortie	12
3.6 Gevoeligheden van het model	12
3.6.1 Gevoeligheid voor straling	12
3.6.2 Gevoeligheid voor kasttemperatuur	14
3.6.3 Gevoeligheid voor CO ₂	15
3.6.4 Gevoeligheid voor relatieve luchtvochtigheid	16
3.6.5 Andere seizoenen	17
3.6.6 Conclusies met betrekking tot lange-termijn patronen van SoSi	17
4. Analyse proef teeltoptimalisatie d.m.v. temperatuurregeling bij komkommer	19
4.1 Inleiding	19
4.2 Klimaat	19
4.2.1 Globale straling	19
4.2.2 Temperatuur	20
4.2.3 CO ₂	21
4.2.4 Relatieve luchtvochtigheid	22
4.3 Assimilatieaanbod en groei	23
4.3.1 LAI	23
4.3.2 Fotosynthese en het assimilatieaanbod	23
4.3.3 Versgewichtproductie	26
4.4 Assimilatenvraag	28
4.4.1 Vegetatieve sink	28
4.4.2 Generatieve sink	29
4.5 Verhouding tussen assimilatieaanbod en –vraag	30
4.6 Samenvatting	31
5. Registratie van vruchtzetting en oogst in komkommer	33
5.1 Telerregistratie	33
5.2 Dataverwerking	34
5.3 Schrijven van inputfile voor het model	36

6.	Het gebruik van het model	37
6.1	Directorystructuur	37
6.2	Executable	37
	Templnt.exe	37
6.3	Inputfiles	37
	Cucumber_Templnt.par	37
	GreenhouseClimate_Av.csv	38
	KomkommerObs.csv	38
	TRMxxx.dat	38
	Control.dat	38
	Input_intkam.dat	39
	SetPoints.dat	39
6.4	Outputfiles	39
	Errors.out	39
	Temp_Sel.csv	39
6.5	Interne files	40
6.6	Het draaien van het model	40
7.	Toekomstige modelontwikkelingen	41
7.1	Optimaliseren aan het begin van de nachtperiode	41
7.2	Voortschrijdend gemiddelde	41
8.	Referenties	43
Bijlage I.	Dagnummers	1 p.

1. Samenvatting

Belangrijk: Lees hoofdstuk 6.6 ('Het draaien van het model') nauwkeurig. Hierin wordt beschreven hoe het model correct toegepast moet worden.

Proeven in de jaren '70 wezen uit dat een temperatuurregeling op basis van straling in komkommer leidde tot productieverhoging. Op dit gegeven is in het voorjaar van 2003 voortgebouwd in het PPO-onderzoek 'Teeltoptimalisatie bij komkommer door assimilatenvraag beter af te stemmen op het assimilatenaanbod'. Dit onderzoek werd gefinancierd door het Productschap Tuinbouw (projectnummer 11324). In dit onderzoek is het INTKAM gewasmodel voor komkommer van PRI gebruikt om op basis van een nagestreefde verhouding tussen assimilatenvraag en – aanbod, gemiddelde etmaaltemperaturen te adviseren.

Dit rapport geeft eerst een beschrijving van de relevante gewasfysiologische aspecten die in het model zijn verwerkt, en die gebruikt kunnen worden ter verklaring van de waarnemingen.

Vervolgens wordt een gewasfysiologische analyse van de proefwaarnemingen gegeven. Met behulp van het gewasgroeimodel is het mogelijk gebleken om verklaringen te vinden voor de waarnemingen, en om adviezen met betrekking tot de temperatuurregeling voor te stellen.

- Het gewasgroeimodel goed in staat is om representatieve vruchtproducties zoals vermeld staan in KWIN te berekenen, maar dat de simulatie van het abortieproces en de resulterende ascillerende plantbelasting moeilijk kan zijn. Voor toepassing van het model in een temperatuurregeling blijft het advies dan ook om het model te voeden met gegevens ten aanzien van de plantbelasting. Het specifieke teeltseizoen van winter 2002 met lage producties leert dat afwijkende producties zonder additionele gewasinformatie moeilijk te reproduceren kunnen zijn.
- De CO₂-concentratie van de kaslucht bleek een sterke bepalende factor in het verklaren van productieveverschillen tussen de behandelingen. Er vormden zich ten aanzien van de CO₂-concentratie en productieniveaus twee groepen: afdelingen 1 en 3 (controle en bandbreedte 17.5-22.8 °C), en afdelingen 7 en 5 (bandbreedtes 19-21.7 °C en 16-24 °C).
- Uit gesimuleerde waarden van assimilatenaanbod en –vraag blijkt het volgende:
 - gedurende drie periodes leidt een verhoging van de bandbreedte waarbinnen de temperatuur geregeld kan worden ertoe dat de verhouding tussen assimilatenaanbod en –vraag minder fluctueert, hetgeen werd nagestreefd;
 - in twee andere perioden kan een grotere bandbreedte van de temperatuurregeling tot gevolg hebben dat de verhouding tussen assimilatenaanbod en –vraag daalt.
- Binnen de twee groepen van CO₂-niveaus leidt een andere bandbreedte voor temperatuurregeling niet tot een andere versgewichtproductie. Wel is het zo dat de verhouding tussen assimilatenaanbod en –vraag in het algemeen stabiel wordt naarmate de bandbreedte toeneemt.
- Nadere analyse wijst erop dat dit kan worden verklaard uit het feit dat voor een te breed optimaliseringstraject (5-30 °C) is gekozen. Als wordt gerekend met de bandbreedte zoals die werkelijk in de experimenten golden, wordt er een hogere productie berekend. Gezien de grotere variatie in adviestemperaturen die in de tweede helft van het seizoen werden berekend, lijkt dit niet nodig geweest.
- Zodoende blijft geldig, dat, als wordt uitgegaan van een representatief klimaat, en als de gemiddelde etmaaltemperatuur wordt geoptimaliseerd binnen de bandbreedtes die ook in het experiment golden, dit gesimuleerde productiestijgingen van 1-5% oplevert.
- In deze studie is de aandacht geconcentreerd op eendaagse temperatuurregeling op basis van de verhouding tussen assimilatenaanbod en –vraag. Het is het overwegen waard om meerdaagse temperatuurregeling toe te passen, en het gebruik van andere gewaseigenschappen te evalueren. Te denken valt aan assimilatenvraag en assimilatenaanbod afzonderlijk en aan plantbelasting.

Tot slot wordt een beschrijving gegeven van de werkwijze waarop praktijkwaarneming geschikt kunnen worden gemaakt voor invoer voor het model, en wordt een gebruikershandleiding voor het model gegeven.

2. Aanleiding van het onderzoek

In 1977 zijn op het proefstation Naaldwijk ten tijde van de energiecrisis experimenten uitgevoerd aan het telen van komkommer bij verlaagde nachttemperatuur (van Uffelen & Hey, 1977). De seizoensproductie bij vaste nachttemperaturen van 12, 16 en 20 °C bedroegen respectievelijk 117,4, 126,0 en 121,6 kg per veldje (van 10 planten). Teelt bij een bij vaste nachttemperaturen van 20 °C was destijds gebruikelijk. In een van de andere behandelingen werd afhankelijk van de straling tijdens de dagperiode de nachttemperatuur gevarieerd van 12 tot 23 °C. Hierbij werd een lage straling gecombineerd met lage nachttemperatuur en werd een hoge straling gecombineerd met een hoge nachttemperatuur. Dit leidde op seizoensbasis tot een productie van 131,7 kg per veldje. Ten opzichte van de productie bij vaste nachttemperaturen van 12, 16 en 20 °C komt dit overeen met relatieve productiestijgingen van 12,8, 4,5 en 8,3%. Van Uffelen en Hey concluderen dat vanuit productie-overwegingen gekozen moet worden voor de stralingsafhankelijke nachttemperatuur, maar merken op dat dit kan leiden tot hoog energieverbruik na dagen met veel instraling. Een sterk verlaagde nachttemperatuur gaat te veel ten koste van de productie, zodat er een tussenoplossing gekozen moet worden.

Lang is weinig met deze gegeven gedaan, omdat de energiebeschikbaarheid in latere jaren niet als belangrijk probleem werd gezien.

In het onderzoek 'Teeltoptimalisatie bij komkommer door assimilatenvraag beter af te stemmen op het assimilatenaanbod' wordt dit gegeven alsnog verder uitgewerkt. Dit onderzoek werd gefinancierd door het Productschap Tuinbouw (projectnummer 11324).

Dit rapport valt in vier onderdelen uiteen:

- Een beschrijving van de relevante gewasfysiologische delen van het simulatiemodel dat in genoemd onderzoek is toegepast (Hoofdstuk 3).
- Gewasfysiologische analyse van de proefwaarnemingen (Hoofdstuk 4).
- Een beschrijving van de werkwijze waarop praktijkwaarneming geschikt kunnen worden gemaakt voor invoer voor het model (Hoofdstuk 5).
- Een gebruikershandleiding voor het model (Hoofdstuk 6).

3. Beschrijving van de gesimuleerde fysiologische processen

De in dit hoofdstuk beschreven fysiologische processen zijn opgenomen in het INTKAM komkommer gewasmodel van Plant Research International (Marcelis *et al.*, 2000). Dit model is ingezet ter ondersteuning en analyse van de experimenten.

3.1 Inleiding

Het model maakt gebruik van de balans tussen de actuele en potentiële groeisnelheden van de plant. De potentiële groeisnelheid van de plant bestaat uit twee componenten, te weten de vegetatieve en generatieve potentiële groeisnelheid. De balans tussen de actuele en potentiële groeisnelheden van de plant wordt de source-sink verhouding genoemd, en er kan worden uitgerekend dat deze in de loop van het seizoen sterk fluctueert (Figuur 5). De hypothese is dat dit fluctueren leidt tot een niet-efficiënt gebruik van energie en sub-optimale productie. Bij een plant met een stabiele source-sink verhouding zullen groei en ontwikkeling meer in balans zijn. Eerdere modelberekeningen (Marcelis, 1994, blz. 132) hebben aangetoond dat de verdeling van drogestof naar vruchten iets verbeterd zou kunnen worden, terwijl de variatie in de verdeling afneemt, door de temperatuur af te stemmen op de source-sink verhouding: de verhouding tussen vrucht- en plantgewicht stijgt van 0.60 naar 0.62, terwijl de standaardafwijking van 0.10 naar 0.6 daalt. Modelberekeningen met INTKAM resulteren voor het winterseizoen met deze benadering in een 1-5% hogere drogestofproductie van komkommervruchten (zie ook paragraaf 4.6).

De actuele en potentiële groeisnelheden worden ieder in verschillende mate beïnvloed door een aantal klimaatfactoren. Door het model onder een groot aantal klimaatomstandigheden te laten rekenen, wordt er gepoogd om de klimaatfactoren dusdanig te optimaliseren dat de source-sink verhouding iedere dag een bepaalde streefwaarde bereikt. Deze streefwaarde verandert in de loop van de tijd langzaam, maar fluctueert niet. De hypothese is dat het reduceren van de fluctuaties leidt tot productieverbod.

Hypothese: het reduceren van de fluctuaties in de verhouding tussen assimilatenaanbod en -vraag leidt tot een efficiënter gebruik van energie en productieverbod.

3.2 Berekening van de Source/Sink verhouding

Stap 1.

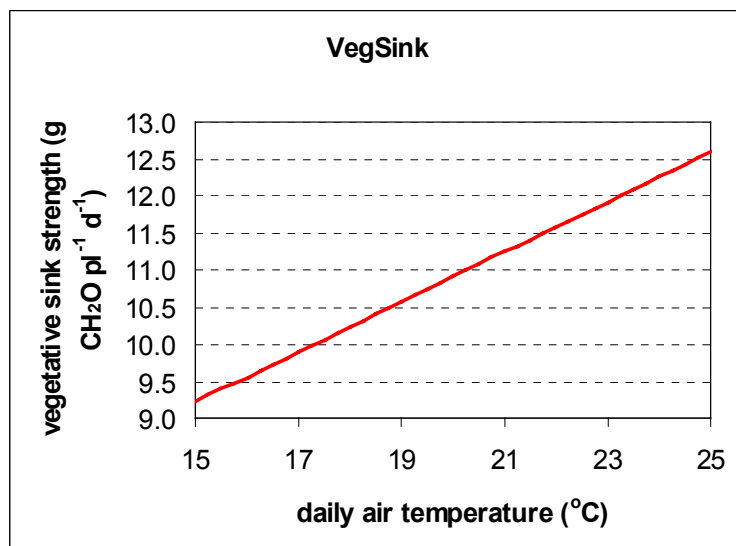
Berekening van de sinksterkte (potentiële groeisnelheid, $\text{g CH}_2\text{O pl}^{-1} \text{ d}^{-1}$) van de vegetatieve organen. Deze stijgt met toenemende dagelijkse gemiddelde temperatuur (Figuur 1).

$$\text{VegSink} = f(\text{DailyTempAir})$$

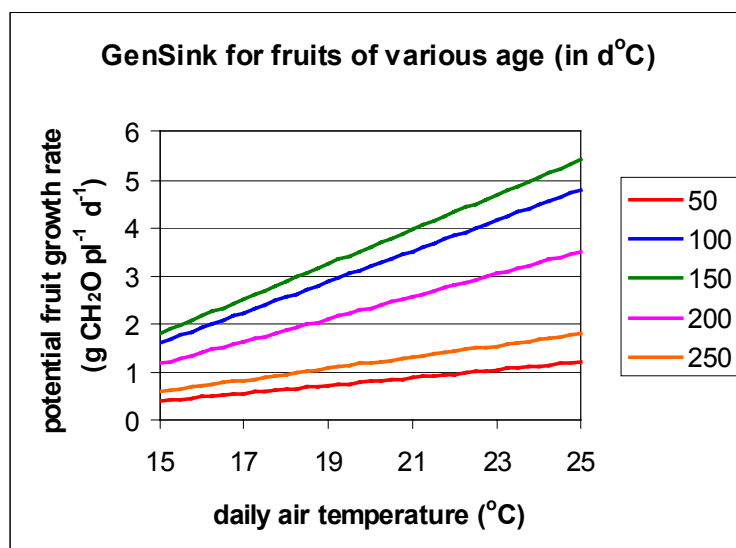
Stap 2.

Berekening van de sinksterkte (potentiële groeisnelheid, $\text{g CH}_2\text{O pl}^{-1} \text{ d}^{-1}$) van een vrucht (generatieve organen). Deze stijgt met toenemende dagelijkse gemiddelde temperatuur, en piekt rond een vruchtleeftijd van ongeveer 10 tot 15 dagen na bloei (of rond 130 d°C) (Figuur 2).

$$\text{GenSink} = f(\text{PhysiolAge}, \text{DailyTempAir})$$



Figuur 1. De potentiële groeisnelheid (of sinksterkte) van de vegetatieve organen van een komkommerplant bij verschillende temperaturen.



Figuur 2. De potentiële groeisnelheid (of sinksterkte) van een komkommervrucht bij verschillende temperaturen en verschillende vruchtleeftijden. De verschillende temperaturen staan op de x-as aangegeven, en de verschillende vruchtleeftijden (d°C) worden door de vijf lijnen weergegeven.

Stap 3.

De vegetatieve en generatieve sinksterktes worden gesommeerd tot de totale sinksterkte (potentiële groeisnelheid, g CH₂O pl⁻¹ d⁻¹) van de plant.

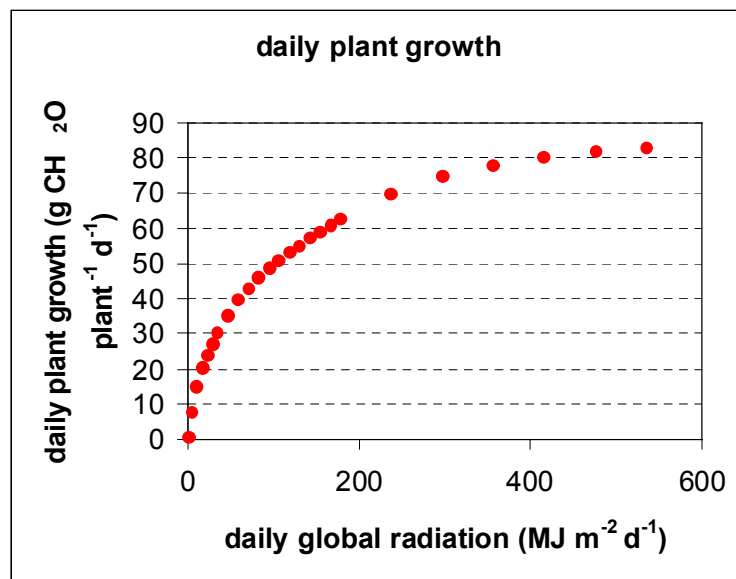
$$\text{SumSink} = \text{VegSink} + \text{GenSink}$$

Stap 4.

De source sterkte van de plant (netto productie CH₂O, g pl⁻¹ d⁻¹) volgt uit de dagelijkse bruto fotosynthese, verminderd met de onderhoudsademhaling, en is de dagelijkse groeisnelheid van de totale plant (Gplant). De dagelijkse fotosynthese is onder meer afhankelijk van de klimaatfactoren globale straling, kasttemperatuur en CO₂ concentratie, en van het bladoppervlak.

Bij een zeker verloop over de dag van de CO_2 -concentratie en een vast bladoppervlak vertoont de dagelijkse groei een steeds langzamer stijgende lijn bij toenemende straling. In Figuur 3 zijn illustratieve berekeningen uitgevoerd voor een representatief klimaat, waarbij alleen de globale straling werd gevarieerd op dag van het jaar 100 (114 dagen na planten). De CO_2 -concentratie varieerde tussen 278 ppm overdag en 701 ppm in de nacht. Er werd uitgegaan van 18 december als plantdatum (overeenkomstig het PPO-experiment)¹. De gesimuleerde LAI was op 114 dagen na planten gestabiliseerd op $4 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$.

Er bestaat uiteraard een interactie tussen het niveau van de CO_2 -concentratie en van de straling. Aangezien de CO_2 -concentratie in het zomerseizoen lager ligt dan in de winter, zal de dagelijkse groeisnelheid van de plant bij een zeker stralingsniveau in de zomer lager liggen dan in de winter. Maar omdat in het algemeen de stralingsniveaus in de zomer hoger liggen dan in de winter, is de werkelijke groeisnelheid in de zomer het hoogst.

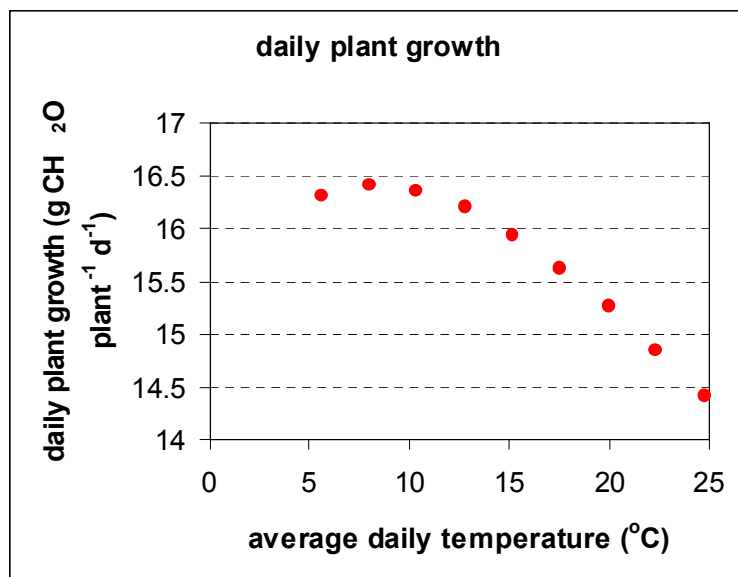


Figuur 3. De dagelijkse netto groeisnelheid (of sourcesterkte) van de plant bij verschillende niveaus van globale straling. Voor nadere uitleg wordt verwezen naar de tekst.

Bij een vaste CO_2 concentratie en een vast bladoppervlak daalt de dagelijkse groei bij toenemende temperatuur. De voornaamste reden hiervoor is dat de onderhoudsademhaling stijgt. Er moet uitdrukkelijk worden vermeld dat een lagere temperatuur niet zo aantrekkelijk is als op het eerste gezicht lijkt, omdat bij lagere temperaturen de ontwikkeling van het bladoppervlak zal afnemen, wat in de beginfase van de teelt leidt tot een negatieve feed-forward en gestaag afnemende groei. Verder leidt een lage temperatuur tot een langere groeiduur van de afzonderlijke vruchten en een lagere bloedvormingsnelheid. In Figuur 4 zijn, net als voor de Figuur 3, illustratieve berekeningen uitgevoerd voor een representatief klimaat, waarbij alleen de kasttemperatuur werd gevarieerd op 114 dagen na planten.

Om een optimale groeisnelheid van de plant te verkrijgen moet de bijbehorende optimale combinatie van globale straling en kasttemperatuur worden geselecteerd.

¹ Het simulatiemodel kan worden gebruikt om alle teelten mee door te rekenen: winterteelt (plantdatum medio december - medio januari), voorjaarsteelt (plantdatum medio april - medio mei) en zomerteelt (plantdatum medio juli - medio augustus).



Figuur 4. De dagelijkse netto groeisnelheid (of sourcesterkte) van de plant bij verschillende kastemperaturen. Voor nadere uitleg wordt verwezen naar de tekst.

Stap 5.

Berekening van de source-sink verhouding:

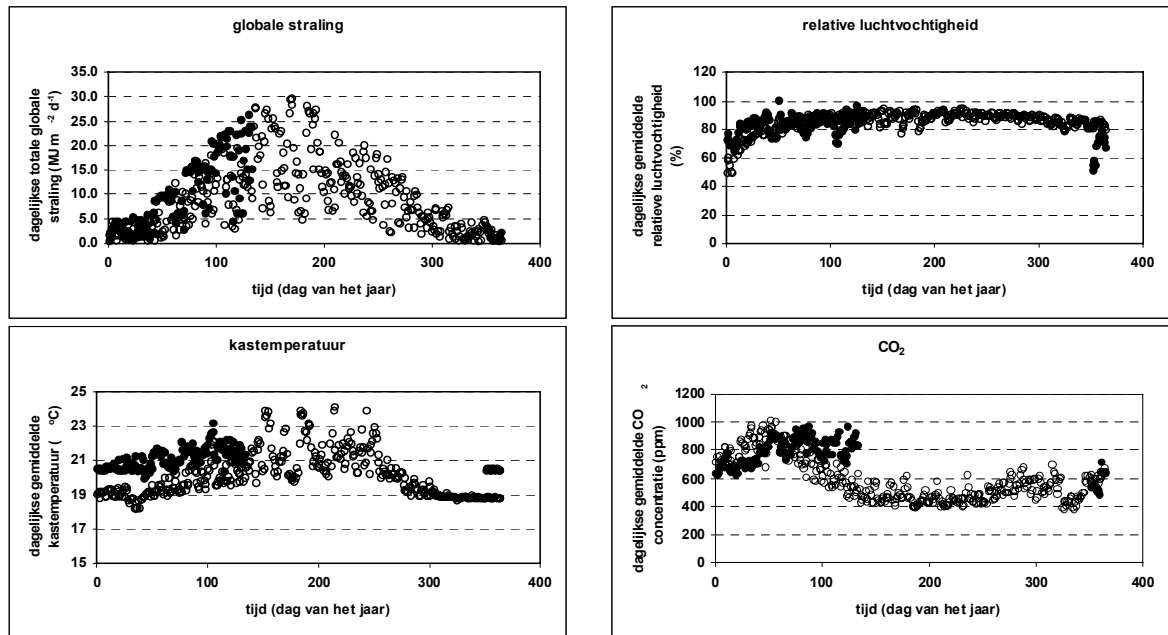
$$\text{SoSi} = G_{\text{plant}} / \text{SumSink}$$

Van belang is het feit dat op de korte termijn de temperatuur van invloed is op zowel de source als de sink, en dat de straling alleen van invloed is op de source. Variatie in temperatuur zal daarom via twee wegen van invloed zijn op SoSi, terwijl variatie in straling op de korte termijn (1 dag) slechts via de source van invloed is op SoSi. Effecten van langdurige temperatuur- of stralingsverandering kunnen duidelijk afwijken van effecten van korte termijn veranderingen (zie ook hoofdstuk 1.6; Marcelis, 1994). De lange-termijn effecten worden in paragraaf 1.6 behandeld.

3.3 De Soure / Sink verhouding onder representatieve klimaatomstandigheden

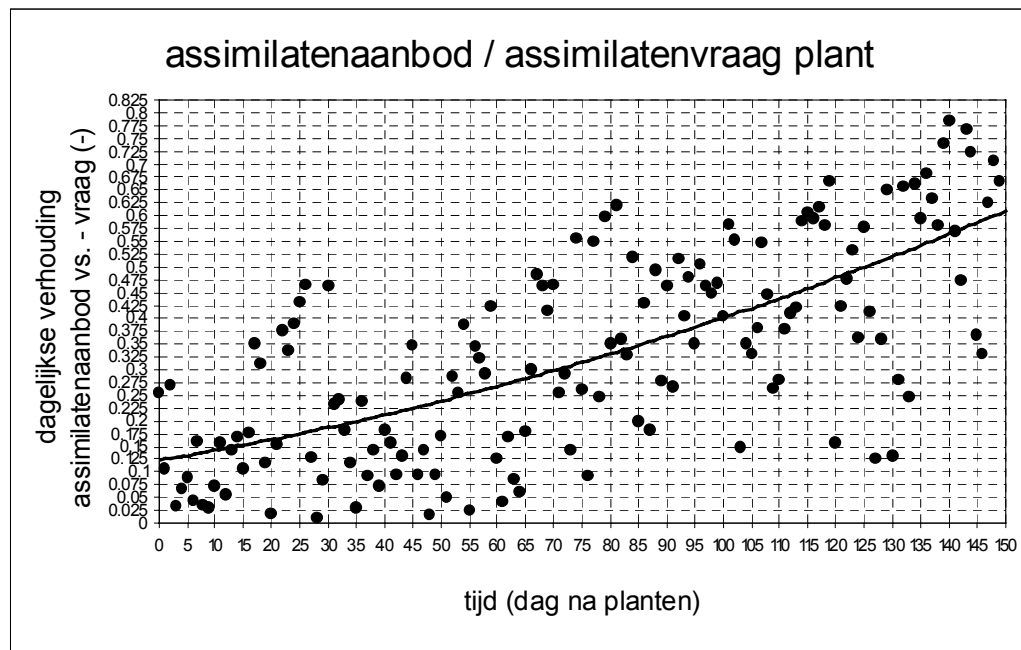
Er is met het model uitgerekend wat SoSi is onder representatieve klimaatomstandigheden. Deze representatieve klimaatomstandigheden zijn weergegeven in Figuur 5, waarbij een vergelijking wordt gemaakt met de klimaatomstandigheden in de controlekas. De straling was in het voorjaar van 2003 hoger dan gemiddeld (zie ook Figuur 7), terwijl het setpoint van 20,5 °C in de controlekas tot een hogere gemiddelde dagtemperatuur leidde dan onder representatieve omstandigheden wordt aangenomen. De niveaus van relatieve luchtvochtigheid en CO₂ zijn vergelijkbaar.

Bij het berekenen van de SoSi onder representatieve klimaatomstandigheden is uitgegaan van een plantdatum van 18 december (dag 352), overeenkomstig het PPO-experiment. In Figuur 6 zijn deze resultaten voor de eerste 150 dagen na planten weergegeven. Er is een redelijke grote variatie rond de gefitte 2^e-graads polynoom, welke in direct verband staat met de variatie in globale straling en resulterende variatie in assimilatenaanbod.



Figuur 5. De representatieve klimaatomstandigheden waarmee is gerekend (open symbolen). Ter vergelijking zijn de klimaatomstandigheden in de controlekas ook weergegeven (gesloten symbolen).

In de modelberekeningen ter ondersteuning van het experiment zijn de waarden van de gefitte polynoom gebruikt als de nagestreefde SoSi. Deze vertoont in de tijd een geleidelijke stijging, zonder dat de waarde van dag tot dag sterk fluctueert. De hypothese is dat de afwezigheid van fluctuatie leidt tot een productieverhoging omdat de plant meer in balans zal zijn.



Figuur 6. De dagelijkse verhouding tussen assimilatenaanbod en assimilatenvraag (SoSi) bij representatieve klimaatomstandigheden. De waarden van de gefitte 2-graads polynoom is in het project gebruikt als nagestreefde SoSi.

3.4 Selectie van het temperatuur setpoint

Met behulp van modelberekeningen wordt bij verschillende stralingsniveaus gezocht naar de gemiddelde dagelijkse kasttemperatuur die leidt tot een SoSi-waarde die het best de nagestreefde waarde (Figuur 6) benadert. Daartoe rekent het model eerst het seizoen vanaf planten tot en met 'gisteren' door, gebruik makend van de werkelijke klimaatgegevens (zie paragraaf 3.2) en het waargenomen aantal vruchten aan de plant (zie hoofdstuk 2). Deze twee inputs garanderen dat de gesimuleerde toestand van de plant, met name de sink sterkte van de vruchten, de werkelijkheid zo dicht mogelijk benadert en de vervolgberekeningen dus ook zo betrouwbaar mogelijk zijn.

Aan het begin van de huidige dag worden vervolgens simulatieberekeningen uitgevoerd om het temperatuur setpoint te bepalen. Op dit moment zijn uiteraard nog niet de klimaatgegevens van de huidige dag bekend, zodat er gewerkt moet worden met voorspellingen. Bij afwezigheid van voorspellingen kan worden gewerkt met representatieve klimaatgegevens, maar het moge duidelijk zijn dat deze meer dan voorspellingen van een meteostation kunnen afwijken van de werkelijke klimaatomstandigheden.

De berekeningen bestaan uit 2 in elkaar grijpende loops:

1. De globale straling wordt gevarieerd van 10% tot 200% van de voorspelde waarde.
2. De luchttemperatuur in de kas wordt met stappen van 0,1 °C gevarieerd van 5 tot 30 °C.

Iedere berekening resulteert in een zekere gesimuleerde SoSi. Per stralingsniveau wordt de gesimuleerde SoSi geselecteerd die het dichtst de nagestreefde SoSi benadert.

Een voorbeeld van de rekenresultaten op 100 dagen na planten, gebaseerd op het klimaat in PPO-afdeling, is in Tabel 1 te vinden. Deze rekenresultaten zijn bij gebruikmaking van het model te vinden in de file Temp_Sel.csv.

Tabel 1. Een voorbeeld van de rekenresultaten, zoals gegeven in file Temp_Sel.csv.

Dag	Stralings-niveau	Dagelijkse globale straling	Nagestreefde SoSi	Gesimuleerde SoSi	Geselecteerde Temp	Aantal Runs
<i>DagNr</i>	%	$J m^{-2}$	-	-	°C	
100	10	1476288	0.468	0.243	5	251
100	20	2952576	0.468	0.467	13.7	251
100	30	4428864	0.468	0.467	26.8	251
100	40	5905152	0.468	0.581	30	251
100	50	7381440	0.468	0.732	30	251
100	60	8857728	0.468	0.868	30	251
100	70	10334016	0.468	0.991	30	251
100	80	11810304	0.468	1.104	30	251
100	90	13286592	0.468	1.206	30	251
100	100	14762880	0.468	1.304	30	251
100	110	16239168	0.468	1.396	30	251
100	120	17715456	0.468	1.492	30	251
100	130	19191744	0.468	1.579	30	251
100	140	20668032	0.468	1.658	30	251
100	150	22144320	0.468	1.737	30	251
100	160	23620608	0.468	1.815	30	251
100	170	25096896	0.468	1.887	30	251
100	180	26573184	0.468	1.955	30	251
100	190	28049472	0.468	2.019	30	251
100	200	29525760	0.468	2.079	30	251

In de modeluitvoer is het volgende te zien:

- Het aantal dagen na planten waarop de optimalisatie wordt uitgevoerd.
- Het % straling van de voorspelde waarde van die dag; 100% is dus de voorspelde waarde.
- De cumulatieve straling van die dag (J m^{-2}), bij het aangenomen percentage.
- De nagestreefde SoSi op die dag.
- De geoptimaliseerde SoSi bij het betreffende stralingsniveau.
- De gemiddelde dagtemperatuur waarbij de geoptimaliseerde SoSi werd gevonden.
- Het aantal uitgevoerde runs binnen het stralingsniveau. Dit aantal is bij de standaard instellingen 251 (de luchttemperatuur in de kas wordt met stappen van 0,1 °C gevarieerd van 5 tot 30 °C). Als het aantal runs kleiner is, zijn een of meerdere runs niet tot een goed einde gebracht. Dit kan zijn veroorzaakt door zeer onwettelijke combinaties van straling en temperatuur, die tot een onmogelijke toestand van de plant leiden. Een beperkt aantal niet-geslaagde runs is niet erg.

In het betreffende voorbeeld is te zien dat de nagestreefde SoSi slechts bij een zeer beperkt aantal stralingsniveaus is gevonden, te weten 20 en 30% van de voorspelde straling. De bijbehorende temperatuur setpoints zijn respectievelijk 13.7 en 26.8 °C. Bij lagere straling bereikt de optimalisatie de ondergrens van de temperatuur (5 °C), en bij hogere straling wordt de bovengrens bereikt (30 °C).

Ieder experiment/behandeling waarvoor de berekeningen worden uitgevoerd heeft een onder- en bovengrens waarbinnen het temperatuur-setpoint gevarieerd kan worden (16 en 24 °C, 19 en 21.7 °C en 17.5 en 22.8 °C).

In het optimale geval wordt bij 100% straling een optimaal temperatuur-setpoint gevonden dat tussen de onder- en bovengrens in ligt. Deze waarde kan vervolgens in de kas worden ingesteld.

Helaas is dit vaak niet het geval, en kan de nagestreefde SoSi niet worden gerealiseerd. In het bovenstaande geval zou bij de voorspelde globale straling een kastemperatuur van meer dan 30 °C nodig zijn om de optimale SoSi door het gewas te laten realiseren. Het is duidelijk dat dit niet kan. In dit geval zou de kastemperatuur op de bovengrens ingesteld moeten worden om de beste benadering te realiseren.

3.5 Uitgangspunten van het model

In de hier volgende paragrafen worden in het kort enkele additionele aspecten van het INTKAM komkommer model beschreven.

3.5.1 Leaf Area Index

Het bladoppervlak is een functie van de temperatuursom sinds planten, zoals beschreven in Marcelis & Gijzen (1998a,b). De LAI bereikt een maximum waarde van $4 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$.

Zie ook paragraaf 4.3.3.

3.5.2 Groei

Aan het einde van iedere dag wordt de totale dagelijkse bruto fotosynthese ($\text{g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) berekend. Na conversie tot $\text{g CH}_2\text{O m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ en aftrek van de dagelijkse onderhoudsademhaling resulteren de assimilaten die over blijven voor groei. Deze worden verdeeld over de diverse organen. Een deel van deze assimilaten gaat verloren aan groei-ademhaling; dit is de ademhaling die gepaard gaat met omzetting van assimilaten in structurele drogestof. De groeiademhaling is een vaste fractie van de groeisnelheid van een orgaan. Deze fracties verschillen per orgaan (blad, stengel, vrucht, wortel).

3.5.3 Drogestofverdeling

De drogestofverdeling tussen generatieve en vegetatieve delen is gebaseerd op de potentiële groeisnelheden (zie paragraaf 2.2). Als de actuele groei lager is dan de potentiële groei, wordt de actuele hoeveelheid beschikbare assimilaten volgens de verhouding van de potentiële groeisnelheden verdeeld.

3.5.4 Abortie

In de beginfase van de teelt wordt de bloemvorming van een beperkt aantal stamvruchten gesimuleerd, en nadat de draad wordt bereikt, worden een groot aantal aangelegde vruchten gesimuleerd. Steeds kan na de aanleg van een bloem/vrucht de abortie ervan worden gesimuleerd, afhankelijk van de source/sink verhouding. Zeker na het bereiken van de draad neemt het aantal geaborteerde bloemen/vruchten sterk toe. De abortie is een functie van de source/sink verhouding. Omdat voor de juiste berekening van SoSi het juiste aantal vruchten van het allergrootste belang is, is er voor gekozen om de plantbelasting modelinput te maken, en het hele proces van vruchtaanleg en –abortie niet te simuleren. Hierop wordt uitgebreid ingegaan in hoofdstuk 2.

3.6 Gevoeligheden van het model

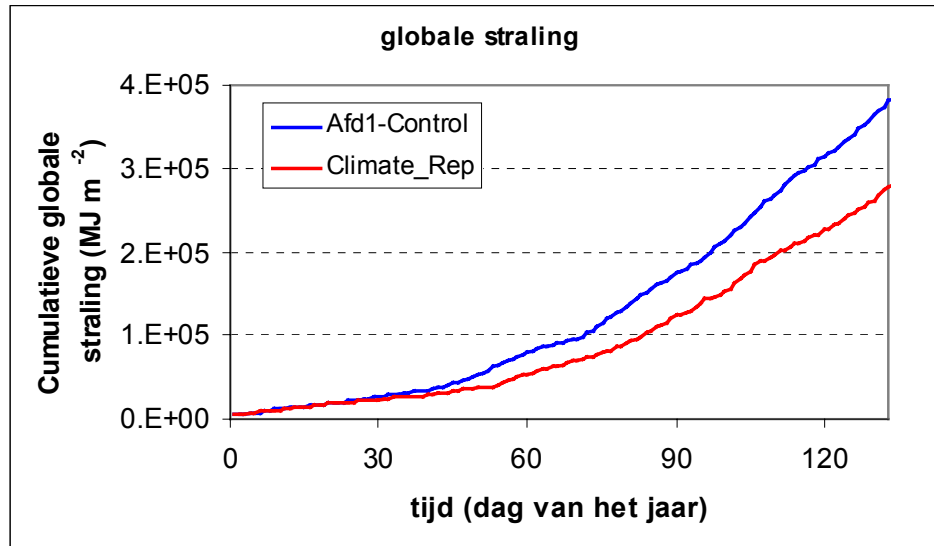
Er wordt in deze paragraaf ingegaan op de variatie die er bestaat in nagestreefde SoSi (Figuur 6) onder andere klimaatomstandigheden. Figuur 6 is opgesteld voor een representatief jaar; dit is een fictief jaar waarin de dag-tot-dag fluctuatie van het klimaat bewaard is gebleven. Veranderingen in dit representatieve klimaat zullen tot gevolg hebben dat het gesimuleerde gewas er anders uit ziet (meer CO₂ zal een hogere groei tot gevolg hebben), met zekere consequenties voor de waarde van SoSi. Hierbij moet een duidelijk onderscheid worden gemaakt tussen de effecten op de korte en de lange termijn. Terwijl de effecten op de korte termijn duidelijk aanwezig kunnen zijn, kunnen deze op de lange termijn teniet worden gedaan door feedback-mechanismen.

Daarnaast wordt ingegaan op de waarde van de nagestreefde SoSi in andere teeltseizoenen.

3.6.1 Gevoeligheid voor straling

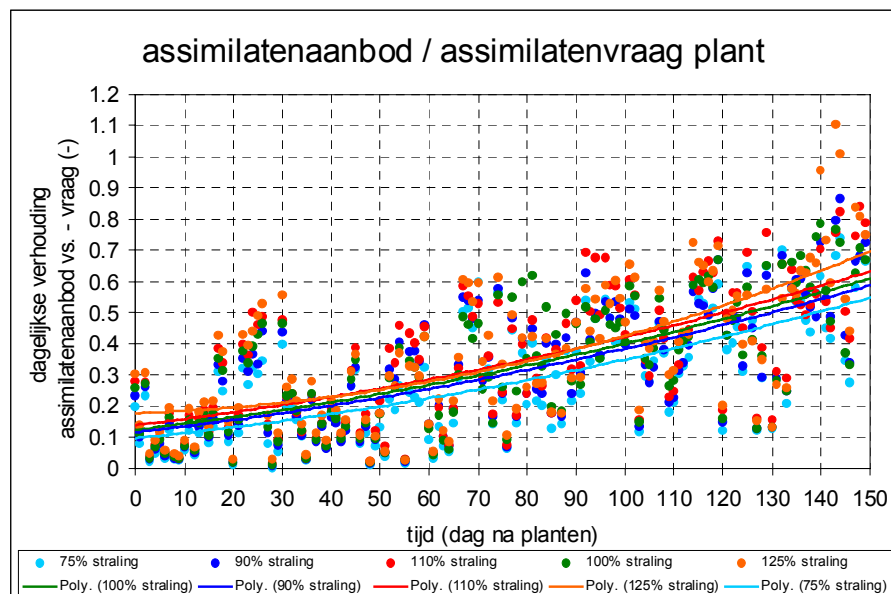
In Figuur 7 wordt ter illustratie de cumulatieve globale straling van het representatieve jaar vergeleken met de straling van het actuele jaar (seizoen 2002-2003) tijdens het experiment. Er blijkt duidelijk dat het voorjaar van 2003 een erg zonnig jaar was: de cumulatieve globale straling lag maar liefst 37% boven dat van een representatief jaar².

² De actuele straling lag in deze periode 27% hoger dan het lange-termijn gemiddelde, dat wordt gekenmerkt door de afwezigheid van sterke dag-tot-dag fluctuaties (hier treedt dus een verschil op met een representatief jaar). Als wordt vergeleken met de gemiddelde straling, was het eind december 2002 en begin januari 2003 relatief donker.



Figuur 7. De dagelijkse globale straling van het representatieve jaar en het actuele jaar tijdens het experiment. Ook is opgenomen het lange-termijn gemiddelde stralingsniveau.

Om de gevoeligheid van SoSi voor veranderingen in het klimaat na te gaan, is een komkommerteelt gesimuleerd met continu 10% en 25% lagere en hogere waarden van een zekere klimaatfactor. De lagere of hogere waarde van de klimaatfactor betrof iedere gesimuleerde dag. Dit is een andere situatie dan in bijvoorbeeld Figuur 4 het geval is.



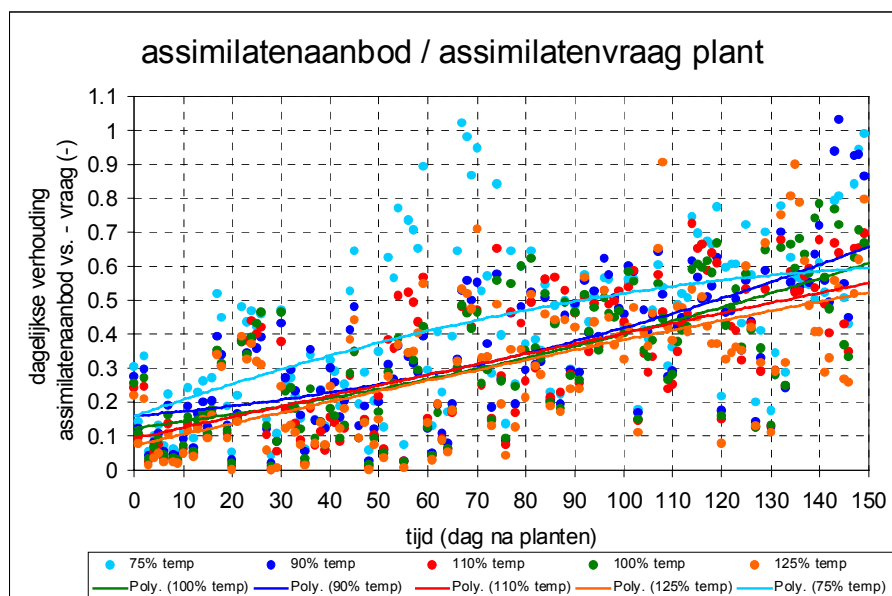
Figuur 8. De dagelijkse waarde van SoSi (de verhouding tussen assimilatenaanbod en -vraag) voor representatieve klimaatomstandigheden, en voor 10% en 25% lagere en hogere globale straling. De weergegeven 2^e graads polynoom geeft de trend weer.

Bij een continu 10% hogere of lagere globale straling verandert de waarde van de SoSi niet bijzonder veel. Een 25% hogere straling laat aan het begin en het einde van de teelt een iets hogere SoSi zien, terwijl een 25% lagere straling gedurende het gehele seizoen een daling van ongeveer 0.05 ten opzichte van de SoSi bij normale straling laat zien.

Het voorjaar van 2003 werd gekenmerkt door hoge straling. De periodes waarin de straling bovengemiddeld was (Figuur 13) komen overeen met de periodes waarin de SoSi hoog was (Figuur 25).

Een verhoging van de straling leidt op de korte termijn tot een hogere sourcesterkte en heeft geen direct effect op de sinksterkte. Aangezien de dag-tot-dag variatie in straling aanzienlijk is, is ook de dag-tot-dag variatie in SoSi aanzienlijk. Echter een langdurige verhoging van de straling (bijvoorbeeld continu 25% extra) leidt tot meer vruchtzetting en daardoor tot een hogere plantbelasting en tot een hogere sinksterkte van de generatieve delen. Dit resulteert er in dat in tegenstelling tot kortdurende verhoging van de straling een langdurige verhoging van de straling slechts een beperkt effect heeft op de source/sink verhouding (zie Marcelis, 1994).

3.6.2 Gevoeligheid voor kastemperatuur



Figuur 9. De dagelijkse waarde van SoSi (de verhouding tussen assimilatenaanbod en –vraag) voor een representatieve klimaatomstandigheden, en voor een 10% en 25% lagere en hogere kastemperatuur. De weergegeven 2^e graads polynoom geeft de trend weer.

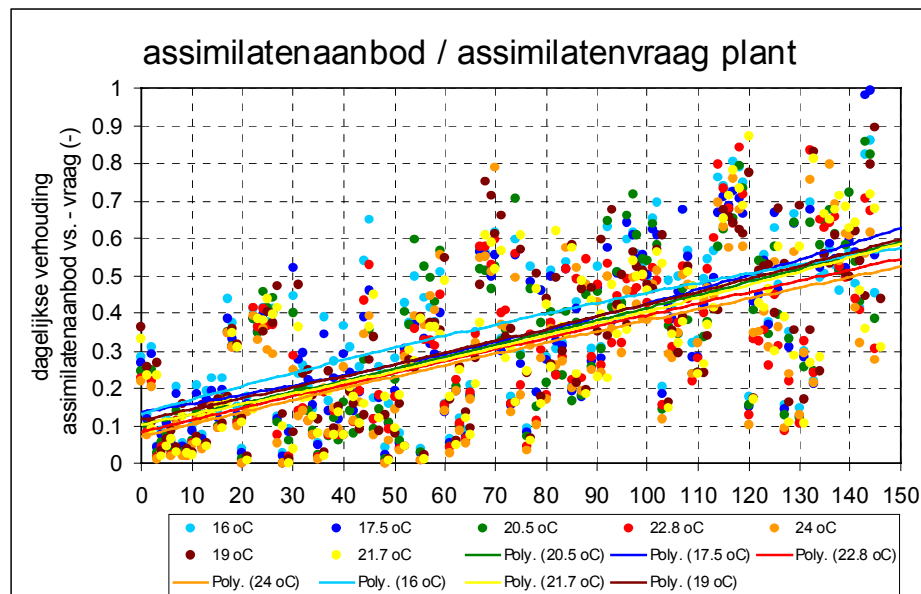
Een verhoging van de kastemperatuur leidt tot een beperkte afname van SoSi, met name aan het einde van het seizoen. Een 10% lagere kastemperatuur (bijvoorbeeld 18 °C in plaats van 20 °C) leidt tot een beperkte toename van SoSi, eveneens met name aan het einde van het seizoen. Maar een 25% lagere kastemperatuur (hetgeen zeer fors is, maar wel duidelijk de effecten toont) leidt tot een grote stijging van SoSi halverwege het seizoen.

Een langdurige verhoging van de temperatuur leidt tot een verlaging van de plantbelasting (aantal vruchten aan de plant). Deze afname is vooral een gevolg van de kortere groeiduur van de vruchten en slechts in zeer geringe mate als gevolg van een effect op zetting. De sinksterkte van de afzonderlijke vruchten en vegetatieve delen neemt toe onder invloed van hogere temperatuur. Temperatureffecten op bladoppervlakte ontwikkeling en bladfotosynthese zijn al eerder beschreven. Netto heffen de lange termijn effecten elkaar grotendeels op, waardoor de effecten van langdurige temperatuurverhoging op de source/sinkverhouding slechts gering zijn.

Dit wordt ook aangetoond als continu de temperaturen worden aangehouden die in het experiment als begrenzingen zijn toegepast (Figuur 10):

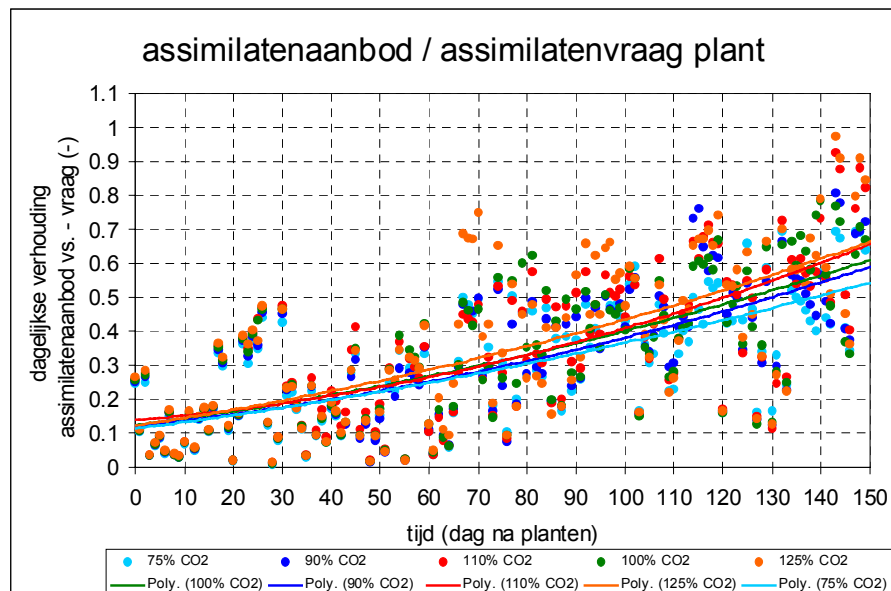
Controle:	20,5 °C
1/3 Model:	19 – 21.7 °C
2/3 Model:	17,5 – 22,8 °C
Model:	16 – 24 °C

De dagelijkse variatie in SoSi blijft groot, maar de trends verschillen slechts zeer beperkt, waarbij een lagere temperatuur een iets hogere SoSi tot gevolg heeft.



Figuur 10. De dagelijkse waarde van SoSi (de verhouding tussen assimilatenaanbod en -vraag) voor een representatieve klimaatomstandigheden, gecombineerd met vaste temperaturen die in de experimenten als begrenzingen zijn aangehouden. De weergegeven 2^e graads polynoom geeft de trend weer.

3.6.3 Gevoeligheid voor CO₂

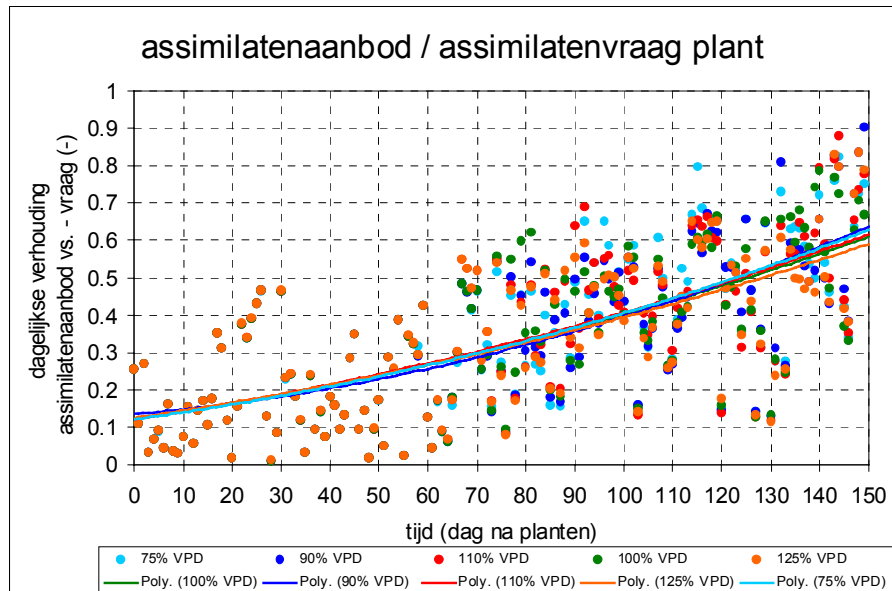


Figuur 11. De dagelijkse waarde van SoSi (de verhouding tussen assimilatenaanbod en -vraag) voor een representatieve klimaatomstandigheden, en voor een 10% en 25% lagere en hogere CO₂ gehalte van de lucht. De weergegeven 2^e graads polynoom geeft de trend weer.

Een langdurige verhoging of verlaging van het CO₂ gehalte van de kaslucht heeft een beperkt effect op de waarde van SoSi.

In feite is het fysiologische effect van CO₂ verhoging hetzelfde als dat van extra licht. Beide factoren beïnvloeden primair de sourcesterkte en op de langere termijn daardoor indirect de sinksterkte.

3.6.4 Gevoeligheid voor relatieve luchtvochtigheid

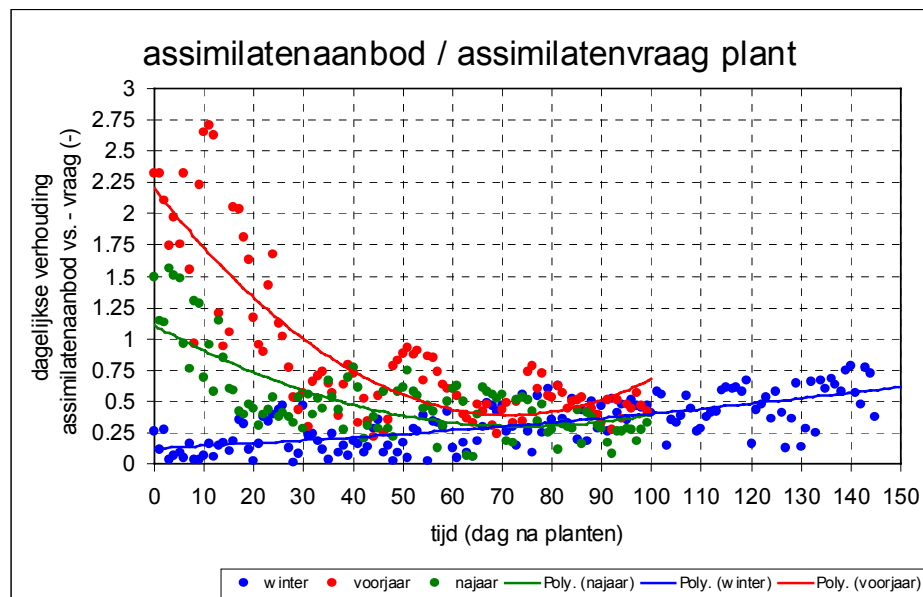


Figuur 12. De dagelijkse waarde van SoSi (de verhouding tussen assimilatenaanbod en -vraag) voor een representatieve klimaatomstandigheden, en voor een 10% en 25% lagere en hogere relatieve luchtvochtigheid. De weergegeven 2^e graads polynoom geeft de trend weer.

Een verhoging of verlaging van de relatieve luchtvochtigheid van de kaslucht heeft nauwelijks effect op de waarde van SoSi.

Het luchtvochtigheid heeft in het model alleen effect op huidmondjesopening en verdamping (en daarmee op bladtemperatuur). Effecten hiervan op sourcesterkte zijn gering en op sinksterkte afwezig.

3.6.5 Andere seizoenen



Figuur 13. De dagelijkse waarde van SoSi (de verhouding tussen assimilatenaanbod en -vraag) voor een representatieve klimaatomstandigheden, en voor verschillende plantdata. De weergegeven 2^e graads polynoom geeft de trend weer.

De waarde van de na te streven SoSi is bepaald voor teelten met een winterteelt geplant op dag 352 (zoals in het experiment), een voorjaarsteelt geplant op dag 135 (half mei) en een najaarsteelt geplant op dag 196 (half juli). SoSi is in het geval van de voorjaars- en najaarsteelten fors hoger dan in het geval van de winterteelt. De hogere straling heeft tot gevolg dat de fotosynthese hoger is dan in de winter, zonder dat hier bij de aanvang van de teelt vruchten tegenover staan die de gevormde assimilaten kunnen opnemen. Er is bij aanvang van de teelt dan ook een overschot aan assimilaten.

De voorjaars- en najaarsteelten zijn korter dan de winterteelt: minder dan 100 dagen. De verschillen aan het einde van deze teelten zijn dan ook minder relevant, en dus uit de figuur weggelaten.

3.6.6 Conclusies met betrekking tot lange-termijn patronen van SoSi

Samenvattend kan worden geconcludeerd dat variatie in omgevingsfactoren **op de lange termijn** een beperkt effect hebben op de verhouding tussen aanbod en vraag van assimilaten. De keuze voor een ander teeltseizoen heeft wel een sterk effect op de waarde van SoSi, met name aan het begin van de teelt. Deze is het hoogst in het geval van de najaarsteelt, en het laagst in het geval van de winterteelt.

4. Analyse proef teeltoptimalisatie d.m.v. temperatuurregeling bij komkommer

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt een gewasfysiologische analyse gegeven van de experimentele resultaten van het onderzoek 'Teeltoptimalisatie bij komkommer door assimilatenvraag beter af te stemmen op het assimilatenaanbod'. Hierbij werd de kasttemperatuur aangepast op basis van instraling en plantbelasting. Dit onderzoek is uitgevoerd door Jan Janse, Bert Houter, Edwin Rijpsma en Boris Berkhout van PPO-Glastuinbouw te Naaldwijk. Het komkommengewas werd geplant op 18 december 2002 en beëindigd op 16 mei 2003. De plantdichtheid was 1.65 planten m⁻².

Om de plantbelasting te bepalen werd drie maal per week het aantal vruchten langer dan 10 cm geteld. Vijf maal per week werden de meest recente plantbelastingsgegevens, samen met geregistreerde klimaatgegevens en verwachte straling, ingevoerd in het INTKAM komkommer gewasmodel. Het model berekende op basis van de gewenste en gesimuleerde verhouding tussen assimilatenaanbod- en vraag (SoSi) de optimale etmaaltemperatuur. De etmaaltemperatuur werd berekend voor 4 verschillende situaties, gekenmerkt door verschillende bandbreedtes gemiddelde etmaaltemperatuur.

In het experimenten zijn de volgende begrenzings toegepast:

Controle:	20,5 °C
1/3 Model:	19 – 21,7 °C
2/3 Model:	17,5 – 22,8 °C
Model:	16 – 24 °C

Voor verdere details wordt verwezen naar Janse *et al.*, 2003.

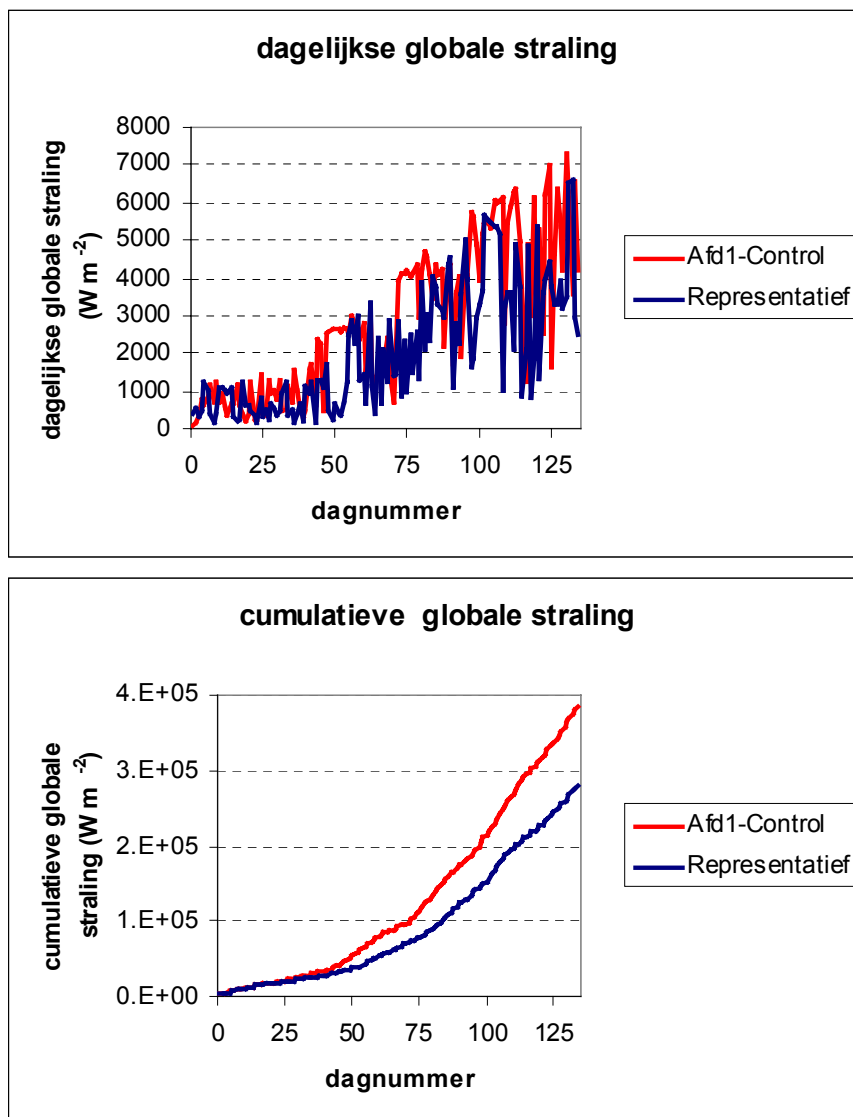
Grafieken in dit hoofdstuk worden gegeven vanaf 1 januari 2003.

4.2 Klimaat

De analyse van de klimaatgegevens heeft betrekking op de waargenomen waarden, en niet op gesimuleerde waarden.

4.2.1 Globale straling

De straling in het jaar 2003 was aanzienlijk hoger dan in geval van een representatief klimaat wordt aangenomen (Figuur 14, zie ook voetnoot paragraaf 3.6.1). Op basis van dit feit mag worden verwacht dat de totale drogestofproductie (zie Figuur 3) en de verhouding tussen assimilatenaanbod en –vraag relatief hoog zijn (zie Figuur 8).



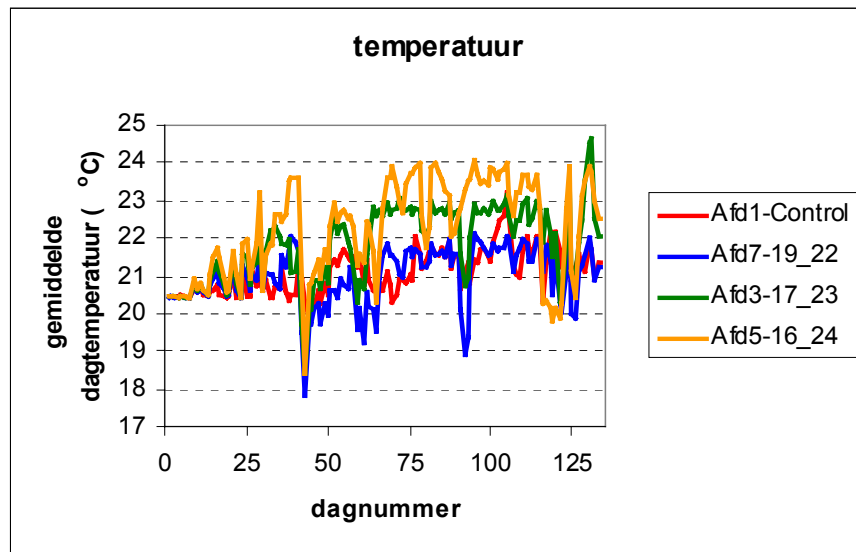
Figuur 14. Totale dagelijkse en cumulatieve globale straling (W m^2) voor een representatief jaar en voor de uitgevoerde experimenten. Tussen de experimentele behandelingen bestaat uiteraard geen verschil in globale straling.

4.2.2 Temperatuur

De gemiddelde dagtemperatuur werd door het gewasgroeimodel geadviseerd en vervolgens ingesteld. Dit resulteerde in behandelingsverschillen. Een grotere bandbreedte voor de temperatuurregeling leidde in het algemeen geleid tot een hogere gemiddelde etmaaltemperatuur (Figuur 15). Dit kan worden verklaard uit het feit dat, gegeven de waargenomen plantbelasting, bij hogere temperatuur de nagestreefde SoSi beter werd benaderd.

Opvallend zijn de scherpe dalingen in gemiddelde dagtemperatuur op dagen 43 en 92 en rond dagen 60 en 125. De temperatuurdaling op dag 43 (11 februari) in afdelingen 3, 5 en 7 kan worden verklaard uit aanvangsproblemen met de temperatuursom. Op deze dag werd voor de eerste keer de temperatuurcompensatie in de computer ingesteld. Omdat 's nachts werd bijgestuurd, werd de etmaaltemperatuur steeds berekend van 09.00 tot 09.00 uur. Als de temperaturen van 0 tot 24.00 uur zouden worden berekend, zou dit andere 24-uurs temperaturen opleveren. De lage temperatuur van afdeling 7 op dag 60 (1 maart) en dag 92 (2 april) kan worden verklaard uit het feit dat de etmaaltemperatuur laag was ingesteld op 18,1 resp. 20,0 (van 09:00 tot 09:00) terwijl de dagtemperatuur vrij hoog

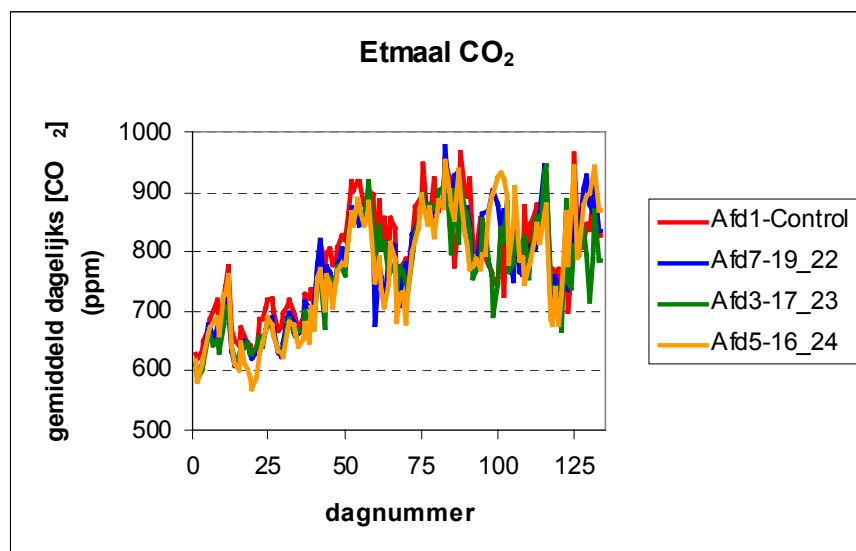
was geweest. Er moest 's avonds en 's nachts dus flink gecompenseerd worden. Dit geldt ook voor afdeling 5. (J. Janse, persoonlijke communicatie).



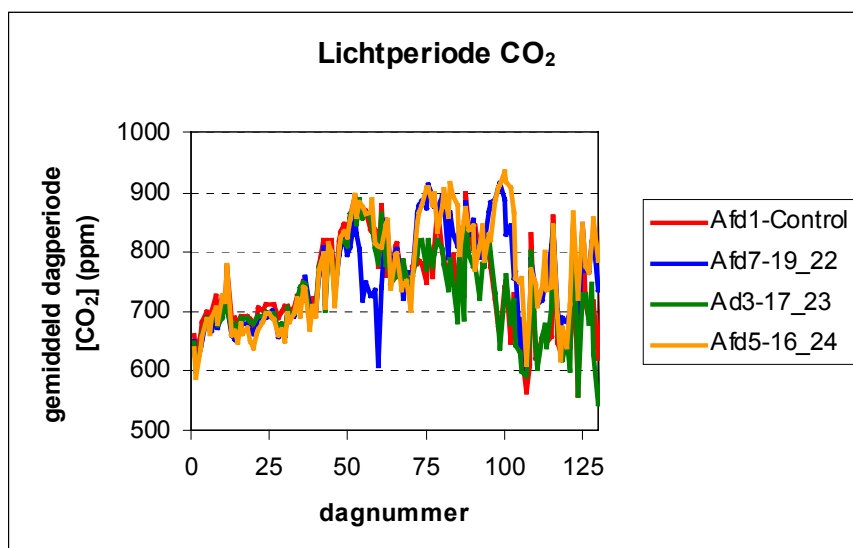
Figuur 15. Gemiddelde dagtemperatuur (°C) voor de uitgevoerde experimenten.

4.2.3 CO₂

Het niveau van CO₂ in de kaslucht heeft een effect op de dagelijkse groeisnelheid (zie hoofdstuk 3.2) en daarmee op de verhouding tussen assimilatieaanbod en -vraag. Omdat de gewasgroei alleen wordt bepaald door de CO₂-concentratie tijdens de lichtperiode (ook in de simulaties) zijn in figuren 16a en 16b de gemiddelde CO₂-concentraties van zowel het volledige etmaal als van de lichtperiode gegeven.



Figuur 16a. Gemiddelde CO₂-concentratie gedurende het hele etmaal van de kaslucht (ppm) voor de uitgevoerde experimenten.



Figuur 16b. Gemiddelde CO₂-concentratie gedurende de lichtperiode van de kaslucht (ppm) voor de uitgevoerde experimenten.

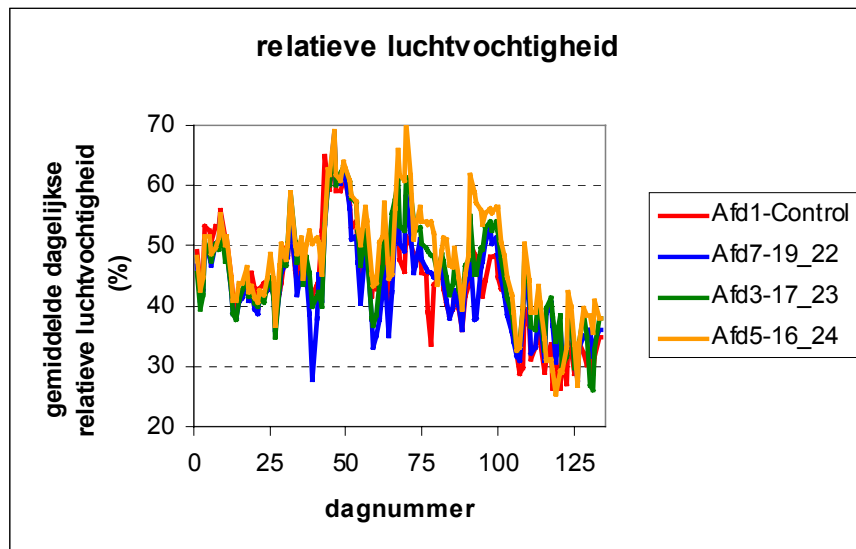
Het verloop over de tijd van de etmaal-CO₂-concentratie is vrij grillig, met waarden rond de 650 ppm in de winter en waarden rond de 850 ppm in het voorjaar voor wat betreft de etmaalgemiddelden (Figuur 16a). In de winter ligt de streefwaarde voor CO₂ lager (600 - 700 ppm) in verband met kans op CO₂-schade ofwel bladverbranding. Later wordt een hogere CO₂-waarde ingesteld (ca. 900 ppm), maar ligt de gerealiseerde CO₂-concentratie in verband met hoge temperaturen en veel ventileren lager. Mede in verband met de hoge kosten van de toegediende zuivere CO₂, werd de streefwaarde naar beneden aangepast bij een grotere ventilatieopening van de luchtramen (J.Janse, persoonlijke communicatie).

Tussen de behandelingen bestaan kleine verschillen, die echter, zo zal in hoofdstukken 4.3 en 4.4 blijken, van essentieel belang zijn voor het verklaren van verschillen in groei, plantbelasting en generatieve sinksterkte tussen de behandelingen. Er vormen er zich, met name na dag 70, twee groepen, namelijk afdelingen 1 en 3 met hogere waarden dan afdelingen 5 en 7.

Tussen 22 februari en 3 maart 2003 (dag 53 t/m 62) was er in afdeling 7 een technische storing betreffende de CO₂ dosering, waardoor de gerealiseerde etmaal-CO₂ concentratie lager lag dan de ingestelde. Voor de afwijking in CO₂ dosering tijdens andere dagen bestaat geen afdoende verklaring. Mogelijk weken de doseringen van elkaar af (J. Janse, persoonlijke communicatie).

4.2.4 Relatieve luchtvochtigheid

De relatieve luchtvochtigheid heeft geen groot effect op de relevante fysiologische processen, en vertoont weinig verschillen tussen de behandelingen (Figuur 17). Het speelt dan ook geen rol in de analyse van de experimenten.



Figuur 17. Gemiddelde relatieve luchtvochtigheid van de kaslucht (%) voor de uitgevoerde experimenten.

4.3 Assimilatieaanbod en groei

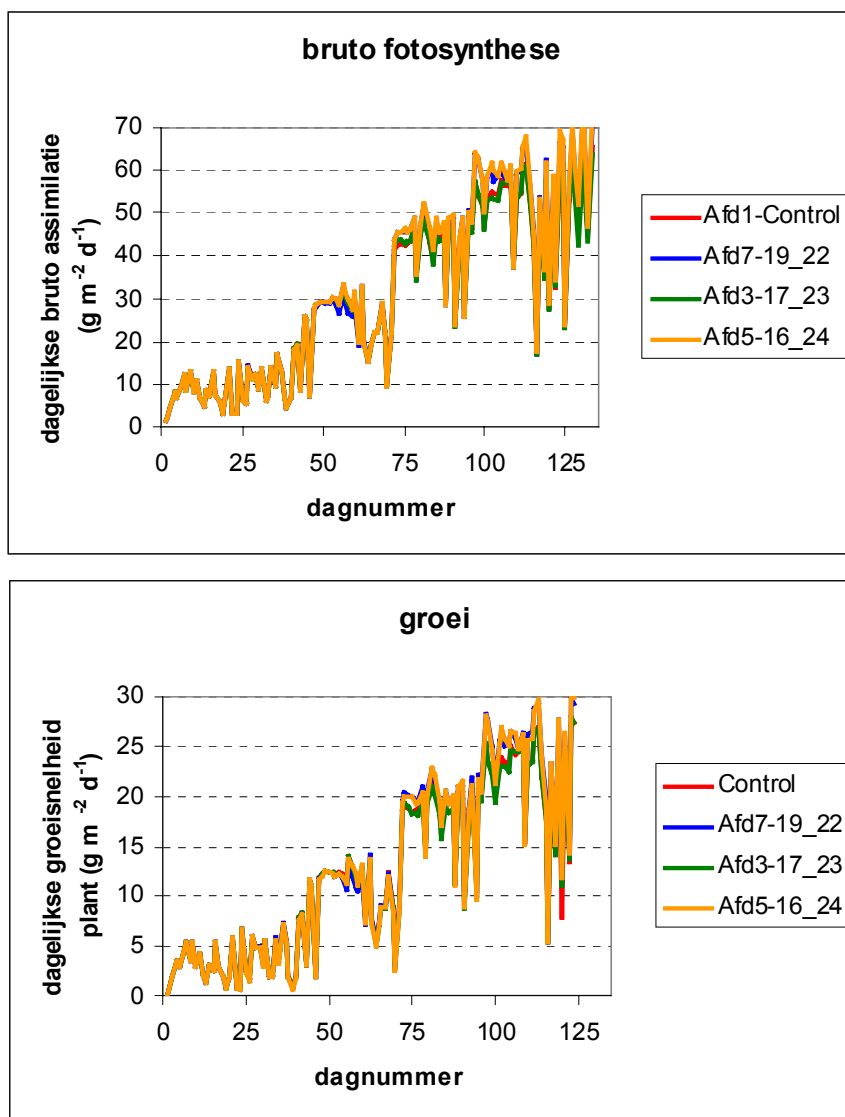
De analyse van de groei heeft voornamelijk betrekking op gesimuleerde waarden, aangezien waarnemingen tijdens en na afloop van de teelt alleen aan de vruchten zijn uitgevoerd.

4.3.1 LAI

De gesimuleerde LAI is voor alle behandelingen nagenoeg gelijk, zodat deze gewaseigenschap en de hoeveelheid onderschepte straling geen rol spelen in het verklaren van verschillen tussen de behandelingen.

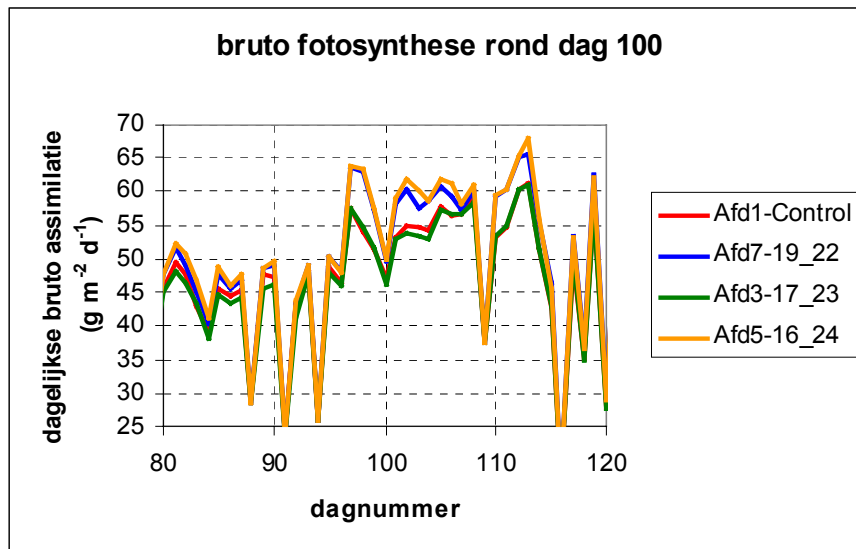
4.3.2 Fotosynthese en het assimilatenaanbod

De dagelijkse bruto fotosynthese ($\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$) en de dagelijkse groei van de volledige plant ($\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$, dus niet per plant!) volgen nauwgezet de straling (Figuur 18). De dagelijkse groeisnelheid van de plant is het assimilatenaanbod, of de source.

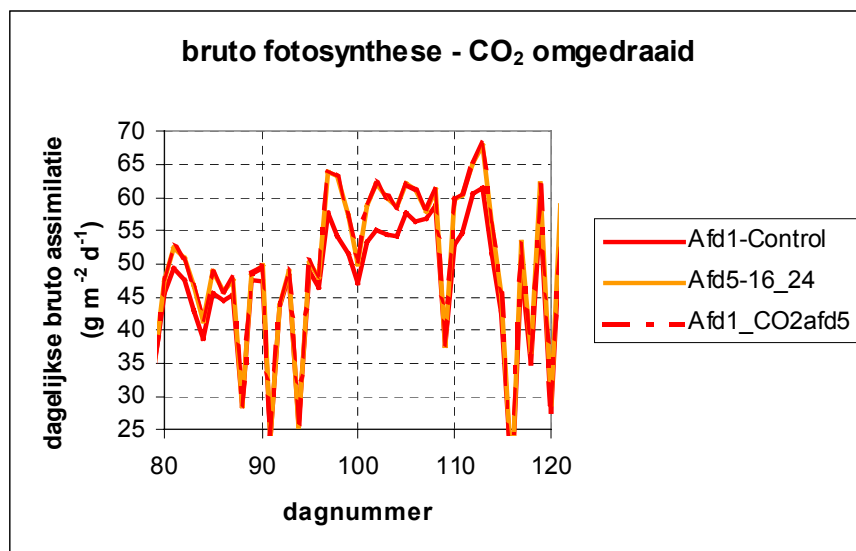


Figuur 18. Gesimuleerde dagelijkse bruto fotosynthese ($\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$) en groei ($\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$) voor de uitgevoerde experimenten. De groeisnelheid van de plant is het assimilatenaanbod, of de source.

Er treden bestaan kleine behandelingsverschillen in dagelijkse bruto fotosynthese en groei. Een voorbeeld hiervan is de situatie rond dag 100 (Figuur 19), waarbij zich afdelingen 1 en 3 versus afdelingen 5 en 7 vormen. De groeiverschillen kunnen nagenoeg volledig worden verklaard uit de verschillen in CO_2 -concentratie van de kaslucht. Als bijvoorbeeld afdeling 1 met de CO_2 -concentratie van afdeling 5 wordt nagerekend, dan blijkt dat de dagelijkse bruto fotosynthese van afdeling 1 gelijk wordt aan die van afdeling 5 (Figuur 20). En als afdeling 5 met de CO_2 -concentratie van afdeling 1 wordt nagerekend, dan blijkt dat de dagelijkse bruto fotosynthese van afdeling 5 gelijk wordt aan die van afdeling 1.



Figuur 19. Gesimuleerde dagelijkse bruto fotosynthese ($\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$) voor de uitgevoerde experimenten rond dag 100.



Figuur 20. Gesimuleerde dagelijkse bruto fotosynthese ($\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$) rond dag 100, voor de controlebehandeling en de behandeling met een temperatuurrange van 16-24 °C (afdeling 5), en voor de controlebehandeling met de CO_2 -concentraties van afdeling 5.

De temperatuur heeft geen noemenswaardig effect op de groeiverschillen (wel op de verhouding tussen assimilaten-aanbod en -vraag, omdat de vraag wel wordt beïnvloedt!)

De gesimuleerde drooggewichten zijn gegeven in Tabel 2. Hier komt dezelfde tweedeling naar voren, met afdelingen 1 en 3 samen, en afdelingen 5 en 7 samen. Ook deze verschillen kunnen grotendeels worden verklaard op basis van de verschillen in CO_2 -concentratie van de kaslucht.

Tabel 2. Gesimuleerde drooggewichten voor de 4 behandelingen.

Afdeling	Behandeling / temperaturen (°C)	Totaal gesimuleerd cumulatief plantgewicht (g m ²)	Totaal gesimuleerd cumulatief vruchtgewicht (g m ²)
1	Controle: 20.5	1945	1061
7	1/3 model: 19-21.7	2037	1209
3	2/3 model: 17.5 – 22.8	1916	1076
5	1 model: 16 – 24	2035	1230

4.3.3 Versgewichtproductie

In Tabel 3 zijn drie series versgewichtproducties (vruchtgewicht) gegeven. Naast de waargenomen totale vruchtproductie is de productie op twee wijzen gesimuleerd: door de plantbelasting op te leggen, en door de plantbelasting te simuleren.

Tabel 3. Waargenomen aantal vruchten per plant en cumulatief vruchtgewicht, en gesimuleerd cumulatief vruchtgewicht, waarbij de plantbelasting is opgelegd en is gesimuleerd.

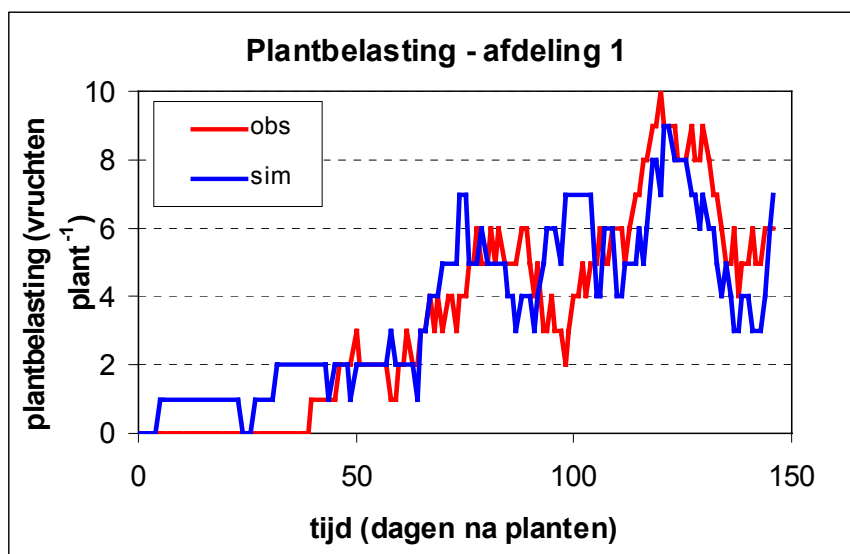
Afdeling	Temperaturen (°C)	Aantal vruchten per plant	Totaal cumulatief vruchtgewicht (kg m ²)		
			Waargenomen	Gesimuleerd met plantbelasting opgelegd	Gesimuleerd met plantbelasting ook gesimuleerd
1	Controle: 20.5	40	24.8	34.1	34.0
7	1/3 model: 19-21.7	44	28.8	38.4	35.2
3	2/3 model: 17.5 – 22.8	41	24.6	36.5	34.6
5	1 model: 16 – 24	41	28.0	44.0	37.3

KWIN 2001-2002 (van Woerden, 2001) geeft voor een winterteelt van komkommer een versopbrengst van 31.5 tot 38.5 kg m². De door het model gesimuleerde waarden komen dus overeen met de door KWIN gegeven waarden, welke als representatief verondersteld mogen worden. Daarentegen blijkt bij enkele benaderde telers de opbrengst in de winter van 2002 23 tot 26 kg m² te zijn geweest (J. Janse, persoonlijke communicatie). De in het experiment gerealiseerde opbrengsten wijken dus niet af van wat op hetzelfde moment in de praktijk werd gerealiseerd.

Het is lastig een afdoende verklaring te vinden voor het verschil tussen gerealiseerde versopbrengsten in de winter van 2002 en de representatieve waarden (KWIN, model). Het geteelde gewas was behoorlijk schraal (J. Janse, persoonlijke communicatie). Als dit in de simulatie wordt nagebootst door de LAI te verlagen (welke standaard een maximale waarde van 4 m² m⁻² kent), dan blijkt dat de maximale waarde tot onder de 2 m² m⁻² moet worden gebracht voor er een substantieel effect op de gesimuleerde versgewichtproductie wordt gerealiseerd.

Er zou hardhandig in het model kunnen worden ingegrepen om er voor de zorgen dat de versgewichtproductie lager wordt gesimuleerd. De transmissie van het kasdek kan bijvoorbeeld lager dan de aangenomen 65% worden verondersteld, of er kan worden ingegrepen in de berekening van de plantbelasting. Maar voor beide bestaan geen goede gronden. Uit Figuur 21 blijkt bijvoorbeeld dat er wel een zeker faseverschil bestaat tussen waargenomen en gesimuleerde plantbelasting. Dit kan echter nooit het grote verschil tussen waargenomen en gesimuleerde versgewichtproductie verklaren.

Omdat bij gebrek aan specifieke waarnemingen aan het gewas niet op verantwoorde wijze kan worden aangegeven op welke wijze het model zou moeten aangepast, is er in dit verslag gewerkt met een ongewijzigd simulatiemodel.



Figuur 21. Waargenomen en gesimuleerde plantbelasting (vruchten plant⁻¹) voor afdeling 1.

De waargenomen vruchtproductie kan in twee groepen worden verdeeld, namelijk die van afdelingen 1 en 3, en die van afdelingen 5 en 7. Het ligt voor de hand om hier een relatie met de CO₂-concentratie te leggen, waar dezelfde twee groepen werden gevormd (zie 4.3.2).

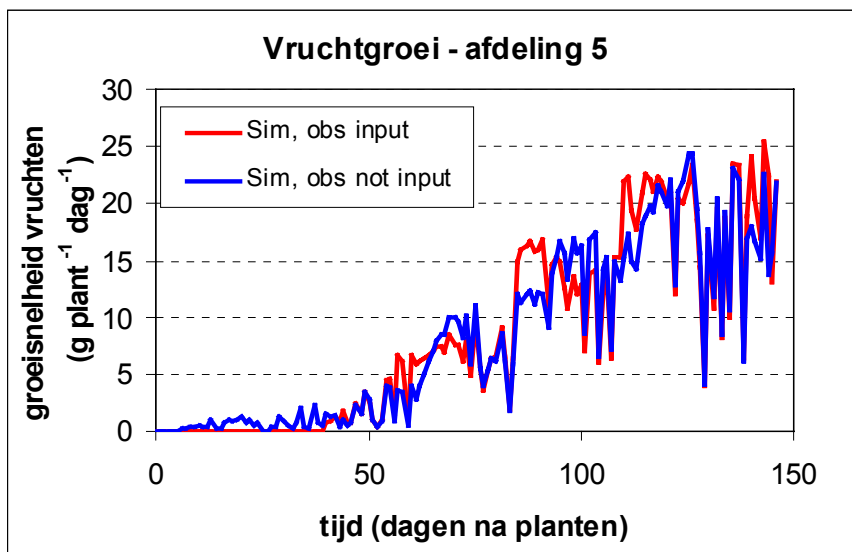
De gesimuleerde vruchtproducties met opgelegde plantbelasting liggen voor afdelingen 1, 3 en 7 ongeveer 10 kg m⁻² hoger dan de waargenomen vruchtproducties, terwijl de gesimuleerde vruchtproductie bij een temperatuur-begrenzing van 16-24 °C (afdeling 5) 16 kg m⁻² hoger ligt dan de waargenomen productie. Hiervoor kunnen twee oorzaken worden aangegeven:

- Een hoge plantbelasting zal er toe leiden dat de vruchtzetting afneemt en dat de plantbelasting op een later moment lager is. Deze lagere plantbelasting staat vervolgens weer een goede vruchtzetting toe, zodat de plantbelasting toeneemt. Een oscillatie is het gevolg, en treedt zowel in de praktijk als bij simulatie op (welke zoveel mogelijk gelijk zouden moeten zijn). Als een vergelijking wordt gemaakt tussen de opgelegde en gesimuleerde plantbelasting, blijken er op sommige momenten faseverschillen in de pieken en dalen te zijn. Deze faseverschillen zijn in het geval van de grootste bandbreedte (16-24 °C) sterker dan in de andere behandelingen. Het gevolg van de faseverschillen, in combinatie met de heersende klimaatomstandigheden, is een hogere totale groeisnelheid van het totale aantal vruchten per plant als de plantbelasting wordt gesimuleerd, in vergelijking met de groeisnelheid als de plantbelasting wordt opgelegd (Figuur 22). Dit is ook te zien aan de grootte van de generatieve sink (Figuur 24).
- De temperatuur was bij deze behandeling het hoogst (Figuur 15), wat een positief effect heeft gehad op de gesimuleerde potentiële groeisnelheid van de vruchten (Figuur 2) en de generatieve sinksterkte (Figuur 23). Het blijft wel de vraag waarom dit in de praktijk niet is gerealiseerd.

De gesimuleerde vruchtproducties met gesimuleerde plantbelasting volgen in grote lijnen de waarnemingen, met dien verstande dat het niveau ongeveer 10 kg m⁻² hoger ligt.

De conclusie is dat het gewasgroeimodel goed in staat is om representatieve vruchtproducties zoals vermeld staan in KWIN te berekenen, maar dat de simulatie van het abortieproces en de resulterende ascillerende plantbelasting moeilijk kan zijn. Voor toepassing van het model in een temperatuurregeling blijft het advies dan ook om het model te

voeden met gegevens ten aanzien van de plantbelasting. Het specifieke teeltseizoen van winter 2002 leert dat afwijkende producties zonder additionele gewasinformatie moeilijk te reproduceren kunnen zijn.

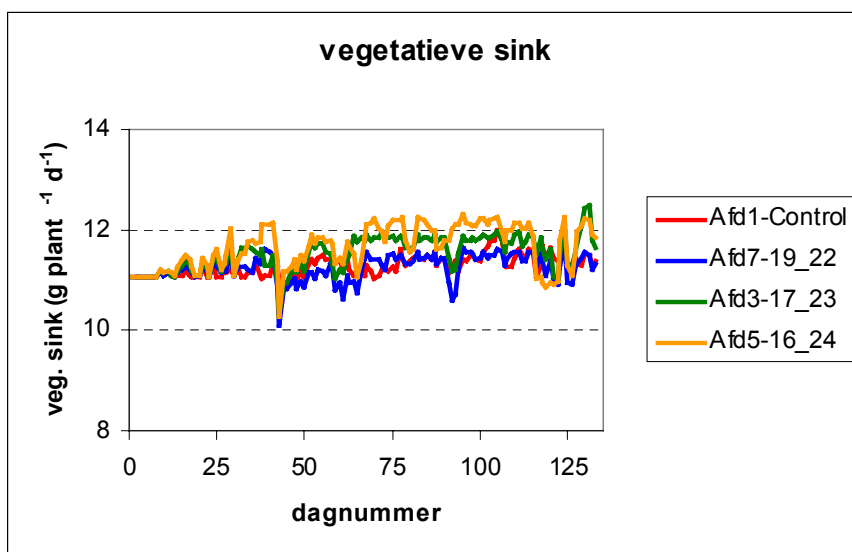


Figuur 22. Gesimuleerde dagelijkse vruchtgroei ($\text{g plant}^{-1} \text{d}^{-1}$) voor afdeling 5, met een bandbreedte voor de temperatuurregeling van $16\text{--}24^\circ\text{C}$. De vruchtgroei is gesimuleerd met opgelegde en met gesimuleerde plantbelasting. Faseverschillen in plantbelasting leiden tot verschillende vruchtgroeisnelheden.

4.4 Assimilatenvraag

4.4.1 Vegetatieve sink

De vegetatieve sink is een functie van de temperatuur (Figuur 1). Er is een tijdelijke reductie van de vegetatieve sink rond dag 45, wanneer de temperatuur een tijdelijke daling vertoont. Verder is het verloop redelijk stabiel, en hoeft er geen verder analyse te worden uitgevoerd.



Figuur 23. Gesimuleerde vegetatieve sink ($\text{g plant}^{-1} \text{d}^{-1}$) voor de uitgevoerde experimenten.

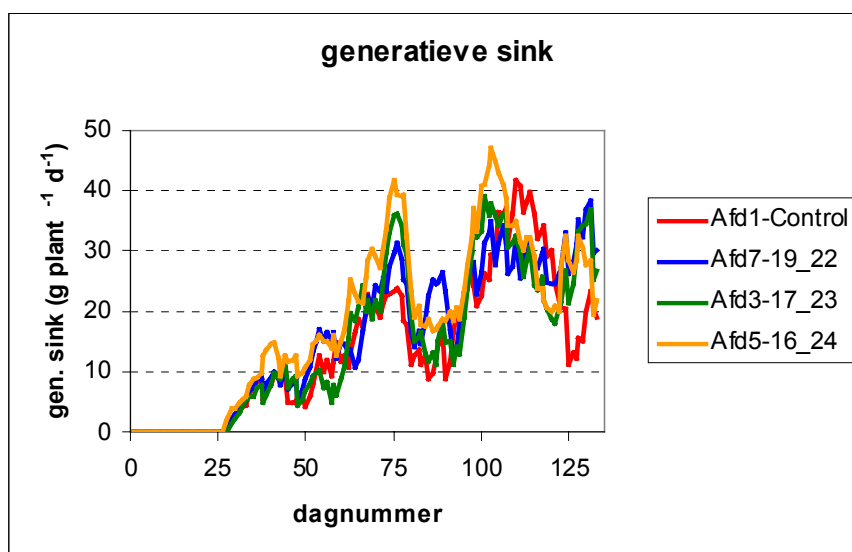
4.4.2 Generatieve sink

De generatieve sink is een functie van de vruchtleeftijd en de temperatuur (Figuur 2).

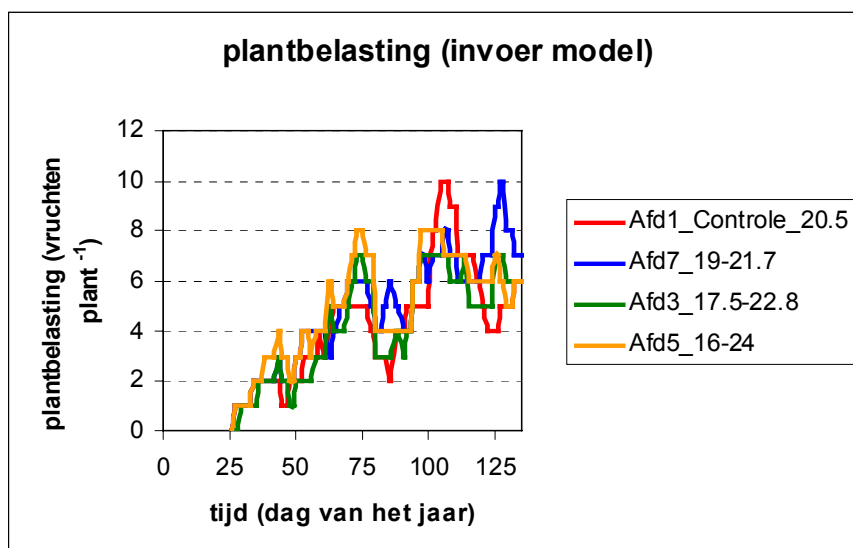
De gesimuleerde generatieve sinksterkte is fluctueert sterk (Figuur 24), wat voor een groot deel verklaard kan worden uit de variatie in plantbelasting (Figuur 25). Opvallend is de sterke afname in beide gewaseigenschappen rond dag 80-90, waarbij de waarden van afdeling 7 (temperatuurbegrenzing van 19-22.7 °C) hierbinnen een lichte piek vertonen. Om dit te verklaren, is de simulatie uitgevoerd met gesimuleerde plantbelasting, waarbij een aantal klimaatfactoren werden gevarieerd. Het blijkt dat voor afdelingen 1 en 3 de verklaring moet worden gezocht in de relatief lagere straling gedurende dag 47-58. Deze klimaatomstandigheid heeft ilt dus relatief lang na. Voor afdelingen 5 en 7 kan dit worden verklaard uit het lagere stralingsniveau in combinatie met het lagere CO₂ niveau in dezelfde periode.

Hierbij wordt aangetekend dat in de simulaties lagere niveaus van straling en CO₂ voor een snellere afname van de plantbelasting zorgen dan is waargenomen. Dit leidt tot faseverschillen in plantbelasting tussen waarnemingen en simulaties.

De vraag komt natuurlijk op of verhoging van de bandbreedte van temperatuurregeling leidt tot een meer stabiele plantbelasting (Figuur 25). Het antwoord is niet eenduidig. De controlebehandeling vertoont inderdaad de grootste pieken, terwijl de behandeling met de grootste bandbreedte (16-24 °C) halverwege het seizoen het meest gedempte patroon laat zien, om echter het seizoen af te sluiten met een hoge piek. Afdelingen 3 en 5, vertonen aan het einde van het seizoen een relatief stabiel patroon.



Figuur 24. Gesimuleerde generatieve sink ($\text{g plant}^{-1} \text{d}^{-1}$) voor de uitgevoerde experimenten.



Figuur 25. Waargenomen plantbelasting (aantal vruchten plant⁻¹) voor de uitgevoerde experimenten.

4.5 Verhouding tussen assimilatenaanbod en –vraag

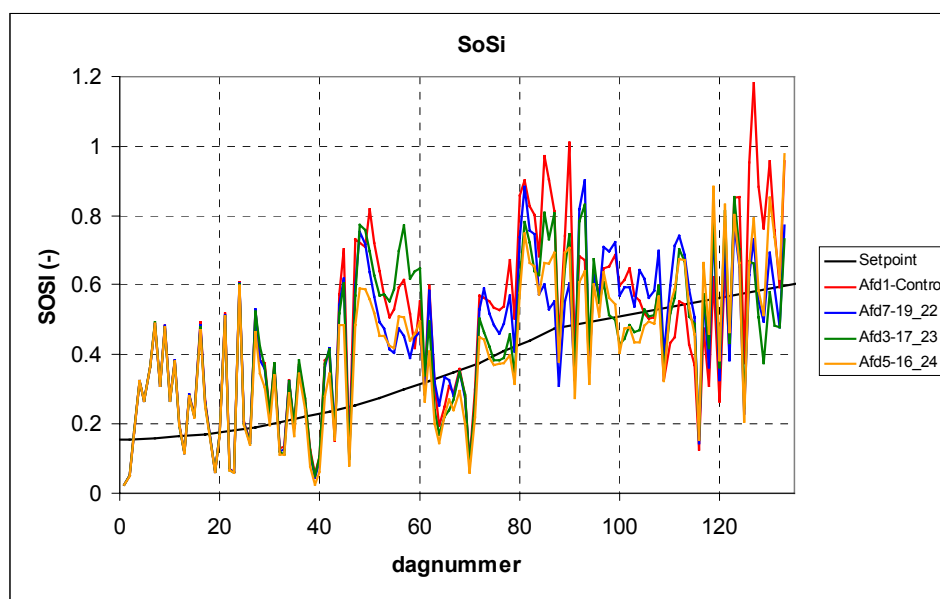
In Figuur 26 is tenslotte de gesimuleerde verhouding tussen assimilatenaanbod en –vraag (SoSi) voor de uitgevoerde experimenten weergegeven. Deze figuur combineert Figuur 19 (groei, assimilatenaanbod) en figuren 23 en 24 (vegetatieve en generatieve sink, assimilatenvraag). De verhouding tussen assimilatenaanbod en –vraag vormt de kern van het uitgevoerde experiment, en de hypothese was dat met behulp van een temperatuurregeling gebaseerd op deze verhouding een meer regelmatige vruchtgroei en daarmee productieverhoging bereikt zou kunnen worden.

Uit Figuur 26 blijkt het volgende:

- Gedurende een aantal periodes tijdens de teelt heeft een verhoging van de bandbreedte waarbinnen de temperatuur geregeld kan worden ertoe geleid dat SoSi minder fluctueert, **hetgeen werd nagestreefd**. Dit betreft periodes van dag 45-60, 70-80 en 80-90.
- Aan het begin van de teelt (tot dag 45), wanneer er slechts een klein aantal vruchten aan de planten hangt, heeft een temperatuurregeling die gebruik maakt van een bandbreedte geen effect.
- Aan het einde van de teelt, vanaf dag 125, wordt de grote verhoging van SoSi door alle alternatieve temperatuurregelingen verminderd en dichterbij de nagestreefde waarde gebracht.
- Tussen afdelingen 5 en 7 (met vergelijkbare CO₂-concentratie) heeft in de perioden van dag 60-70 en 90-125 een grotere bandbreedte van de temperatuurregeling tot gevolg dat de SoSi daalt. Soms brengt dit de gerealiseerde SoSi dichterbij de streefwaarde, soms zakt de gerealiseerde SoSi verder naar beneden.
- Tussen afdelingen 1 en 3 (met vergelijkbare CO₂-concentratie) is er geen consistent patroon te ontdekken.

Kortom, er zijn substantiële periodes waarin de verhouding tussen assimilatenaanbod- en vraag als gevolg van temperatuurregeling naar de streefwaarde toe wordt gebracht.

In deze studie is de aandacht geconcentreerd op eendaagse temperatuurregeling op basis van de verhouding tussen assimilatenaanbod en –vraag. Het is het overwegen waard om meerdaagse temperatuurregeling toe te passen, en het gebruik van andere gewaseigenschappen te evalueren. Te denken valt aan assimilatenvraag en assimilatenaanbod afzonderlijk en aan plantbelasting.



Figuur 26. Gesimuleerde verhouding tussen assimilatenaanbod en -vraag ($SoSi$) voor de uitgevoerde experimenten.

4.6 Samenvatting

Met behulp van het gewasgroeimodel is het mogelijk gebleken om verklaringen te geven voor de waarnemingen.

Temperatuur (Figuur 15) en CO_2 -concentratie (Figuur 16) zijn in de experimenten de twee klimaatfactoren geweest die de verschillen in productie hebben bepaald. Een grotere bandbreedte voor de temperatuurregeling leidde in het algemeen geleid tot een hogere gemiddelde etmaaltemperatuur omdat bij hogere temperatuur de nagestreefde $SoSi$ beter werd benaderd. Dit impliceert echter niet dat een nog hogere temperatuur nagestreefd moet worden, omdat dit tot sterke abortie kan leiden. Er vormden zich ten aanzien van de CO_2 -concentratie twee groepen: afdelingen 1 en 3 (controle en bandbreedte 17.5-22.8 °C), en afdelingen 7 en 5 (bandbreedtes 19-21.7 °C en 16-24 °C).

De groei van het komkommengewas, dus het assimilatenaanbod, werd in hoge mate gestuurd door de hoeveelheid straling (Figuur 18). De CO_2 -concentratie had hier een modifierend effect op, waarbij er zich bovengenoemde twee groepen vormden (Figuur 19). Deze tweedeling is ook terug te vinden in de waargenomen en gesimuleerde versgewichtproducties (Tabel 3). Afdelingen 1 en 3 hadden periodiek een lagere CO_2 -concentratie dan afdelingen 7 en 5, wat tot productieverlaging leidde.

De assimilatenvraag heeft een vegetatieve en een generatieve component. De vegetatieve assimilatenvraag was redelijk stabiel (Figuur 23), terwijl de generatieve assimilatenvraag sterk fluctueerde (Figuur 24), voornamelijk als gevolg van variatie in de plantbelasting (Figuur 25).

Uit verhouding tussen assimilatenaanbod en -vraag ($SoSi$, Figuur 26) blijkt dat in drie periodes tijdens de teelt een verhoging van de bandbreedte waarbinnen de temperatuur geregeld kan worden ertoe heeft geleid dat $SoSi$ in het algemeen (er blijven specifieke momenten waar dit niet opgaat) minder fluctueert, hetgeen werd nagestreefd. In twee andere perioden heeft een grotere bandbreedte van de temperatuurregeling tot gevolg dat de $SoSi$ daalt, mits dat wordt beschouwd binnen de 2 groepen van CO_2 -concentratie.

De vraag welke temperatuurregeling nu de voorkeur verdient, is moeilijk te beantwoorden. Binnen de twee groepen van CO_2 -niveaus, leidt een andere bandbreedte voor temperatuurregeling niet tot een andere versgewichtproductie. Wel is het zo dat de verhouding tussen assimilatenaanbod en -vraag in het algemeen stabiel wordt naarmate de bandbreedte toeneemt.

Nadere analyse wijst erop dat dit kan worden verklaard uit het feit dat voor een te breed optimaliseringstraject (5-30 °C) is gekozen. Als wordt gerekend met de bandbreedte zoals die werkelijk in de experimenten golden, wordt er een hogere productie berekend. Gezien de grotere variatie in adviestemperaturen die in de tweede helft van het seizoen werden berekend, lijkt dit niet nodig geweest.

Zodoende blijft geldig, dat, als wordt uitgegaan van een representatief klimaat, en als de gemiddelde etmaaltemperatuur wordt geoptimaliseerd binnen de bandbreedtes die ook in het experiment golden, dit gesimuleerde productiestijgingen van 1-5% oplevert.

5. Registratie van vruchtzetting en oogst in komkommer

Een vrucht is gezet als de lengte groter of gelijk is aan dat van het houten handvat van een komkommermesje (ongeveer 10 cm).

5.1 Telerregistratie

Er wordt aan een aantal planten het aantal geoogste vruchten en na de oogst de plantbelasting waargenomen. Er wordt aan 10 planten waargenomen, zodat er in veel gevallen een niet-heel getal als gemiddelde zal worden berekend. Bijvoorbeeld (niet helemaal realistisch, het gaat nu even om het principe):

Datum	Plantbelasting (= aantal vruchten per plant na de oogst)	Aantal geoogste vruchten per plant
1 jan	2,1	0
10 jan	3,3	0
20 jan	3,9	1,1
30 jan	5,6	2,3
10 feb	4,8	0,8

Deze informatie moet worden 'vertaald' om door het komkommermodel gebruikt te kunnen worden. Het model moet van iedere vrucht weten op welke datum het gezet is en op welke datum het geoogst is.

Het model kan alleen met hele getallen werken, zodat er eerst een tabel moet worden gemaakt met uitsluitend hele getallen. De 'getallen achter de komma' worden bewaard tot er een heel getal is verkregen, en pas dan wordt dit in de nieuwe tabel geplaatst.

Datum	Plantbelasting (= aantal vruchten per plant na de oogst)	Aantal geoogste vruchten per plant
1 jan	2 (0,1 bewaren)	0
10 jan	3 (0,1 + 0,3 = 0,4 bewaren)	0
20 jan	(0,4 + 0,9 = 1,3, dus 3+1=4 noteren) 4 (0,4 + 0,9 - 1 = 0,3 bewaren)	1 (0,1 bewaren)
30 jan	5 (0,3 + 0,6 = 0,9 bewaren)	2 (0,1 + 0,3 = 0,4 bewaren)
10 feb	(0,9 + 0,8 = 1,7, dus 4+1=5 noteren) 5 (0,9 + 0,8 - 1 = 0,7 bewaren)	(0,4 + 0,8 = 1,2, dus 0+1=1 noteren) 1 (0,4 + 0,8 - 1 = 0,2 bewaren)

Dit levert de volgende geschoonde tabel:

Datum	Plantbelasting (= aantal vruchten per plant na de oogst)	Aantal geoogste vruchten per plant
1 jan	2	0
10 jan	3	0
20 jan	4	1
30 jan	5	2
10 feb	5	1

5.2 Dataverwerking

Dit leidt tot de volgende uitwerking:

Op 1 januari (heeft dagnummer 1 – zie Bijlage I) zijn er twee vruchten gezet, en nog geen enkele geoogst. Als een vrucht niet is geoogst, wordt als dagnummer van de oogst 1000 opgegeven.

Ter controle moet de plantbelasting worden uitgerekend door het aantal vruchten dat nog niet is geoogst, te tellen (dus het aantal dagnummers = 1000).

De telerregistratie moet worden omgezet in de volgende informatie:

Datum	Dagnummer	Nummer van de vrucht	Dagnummer van de zetting	Dagnummer van de oogst	Plantbelasting
1 jan	1	1	1	1000	2
		2	1	1000	

Op 10 januari (dagnummer 10) zijn er in totaal drie vruchten gezet, waarvan er al twee op 1 januari waren geregistreerd. Er is dus een vrucht bijgekomen, die op dag 10 is gezet.

Er is nog steeds geen enkele vrucht geoogst.

De telerregistratie moet worden omgezet in de volgende informatie:

Datum	Dagnummer	Nummer van de vrucht	Dagnummer van de zetting	Dagnummer van de oogst	Plantbelasting
1 jan	1	1	1	1000	3
		2	1	1000	
10 jan	10	3	10	1000	

Op 20 januari (dagnummer 20) is de totale plantbelasting vier vruchten. Dit lijkt een stijging van één vrucht ten opzichte van 10 januari (plantbelasting = 3), maar omdat er ook een vrucht is geoogst, zijn er niet één maar **twee** nieuwe vruchten gezet.

Er is op 20 januari een vrucht geoogst. Dit is de oudste vrucht, dus een van de twee vruchten die op 1 januari zijn geregistreerd. Het dagnummer van de oogst is 20.

Nu blijkt het nut van de controle van de plantbelasting door het aantal vruchten dat nog niet is geoogst, te tellen (dus het aantal dagnummers = 1000). Als vrucht nummer 5 er niet aan toegevoegd zou zijn, zou de plantbelasting als 3 worden geteld. En dit is ongelijk aan wat er door de teler is opgegeven.

De telerregistratie moet worden omgezet in de volgende informatie:

Datum	Dagnummer	Nummer van de vrucht	Dagnummer van de zetting	Dagnummer van de oogst	Plantbelasting
1 jan	1	1	1	20	
		2	1	1000	
10 jan	10	3	10	1000	
20 jan	20	4	20	1000	
		5	20	1000	4

Op 30 januari (dagnummer 30) is de totale plantbelasting vijf vruchten. Dit lijkt een stijging van een vrucht ten opzichte van 20 januari (plantbelasting = 4), maar omdat er ook twee vruchten zijn geoogst, zijn er niet één maar **drie** nieuwe vruchten gezet.

Er zijn op 30 januari twee vruchten geoogst. Dit zijn de twee oudste vruchten die nog niet waren geoogst.

De controleberekening van de plantbelasting is weer 5, zoals de teler had opgegeven.

De telerregistratie moet worden omgezet in de volgende informatie:

Datum	Dagnummer	Nummer van de vrucht	Dagnummer van de zetting	Dagnummer van de oogst	Plantbelasting
1 jan	1	1	1	20	
		2	1	30	
10 jan	10	3	10	30	
20 jan	20	4	20	1000	
		5	20	1000	
30 jan	30	6	30	1000	
		7	30	1000	
		8	30	1000	5

Op 10 februari (dagnummer 41) is de totale plantbelasting vijf vruchten. Dit is hetzelfde als op 30 januari, maar omdat er een vrucht is geoogst, is er ook een vrucht gezet.

Er zijn op 10 februari een vrucht geoogst. Dit is de oudste vrucht die nog niet was geoogst.

Belangrijk: Als in werkelijkheid de geoogste vrucht niet de oudste was, dan wordt nog steeds net gedaan alsof.

De controleberekening van de plantbelasting is weer 5, zoals de teler had opgegeven.

De telerregistratie moet worden omgezet in de volgende informatie:

Datum	Dagnummer	Nummer van de vrucht	Dagnummer van de zetting	Dagnummer van de oogst	Plantbelasting
1 jan	1	1	1	20	
		2	1	30	
10 jan	10	3	10	30	
20 jan	20	4	20	41	
		5	20	1000	
30 jan	30	6	30	1000	
		7	30	1000	
		8	30	1000	
10 feb	41	9	41	1000	5

5.3 Schrijven van inputfile voor het model

Iedere keer dat het model wordt gedraaid, moet er een aangepaste ASCII-file worden gemaakt die door het model kan worden ingelezen. Deze file heeft drie kolommen:

Vruchtnummer
Dagnummer van de zetting
Dagnummer van de oogst

Een voorbeeldfile staat hieronder.

Let erop dat:

- Er geen vruchtnummer wordt ingevuld zolang een vrucht zich niet ook daadwerkelijk heeft gezet;
- De file wordt gevuld met integers (dus hele getallen, zonder punten of komma's in de getallen zelf);
- Er wel komma's worden gebruikt om de gegevens te scheiden;
- Er zeer zorgvuldig wordt omgesprongen met het juiste gebruik van werkelijke waarnemingen en het getal 1000.

```
! Komkommer Observaties Input File
! vrucht  zetting  oogst
! nummer  dagnr.   dagnr.
1,1,20
2,1,30
3,10,30
4,20,41
5,20,1000
6,30,1000
7,30,1000
8,30,1000
9,41,1000
```

6. Het gebruik van het model

6.1 Directorystructuur

De in het simulatiemodel gedefinieerde paden zijn relatief, wat wil zeggen dat de hoofddirectory van het model op iedere locatie kan worden geplaatst. Onder de hoofddirectory moet de volgende directorystructuur worden aangehouden:

```
...\hoofddirectory\bin\debug
...\hoofddirectory\data\input
...\hoofddirectory\data\output
...\hoofddirectory\data\settings
...\hoofddirectory\data\status
```

6.2 Executable

Templnt.exe

De te gebruiken executable staat op de volgende locatie:

```
...\hoofddirectory\bin\debug\Templnt.exe
```

Deze file moet worden 'aangeklikt' om het model te draaien.

(Na het maken van een run worden onder dezelfde subdirectory een aantal *.tmp files aangemaakt. Deze hoeven niet bewaard of ingekeken te worden.

6.3 Inputfiles

De volgende inputfiles zijn aanwezig voordat het model is gedraaid:

```
...\hoofddirectory\data\input\Cucumber_Templnt.par
                                GreenhouseClimate_Av.csv
                                KomkommerObs.csv
                                TRMxxx.dat
...\hoofddirectory\data\settings\Control.dat
                                Input_Intkam.dat
                                SetPoints.dat
```

Cucumber_Templnt.par

Dit is de gewasparamterfile. Het is van het allergrootste belang zeer terughoudend te zijn met het aanbrengen van veranderingen in deze file. De hierin gedefinieerde parameters sturen de simulatie van de gewasfysiologische processen, en de kleinste verandering kan onvoorziene gevolgen hebben en de simulatieresultaten ongewenst beïnvloeden.

Er zijn twee waarden die wel gecontroleerd moeten worden:

- De plantdichtheid ('PlantDensity') is overeenkomstig het experiment op 1,65 planten m² gesteld. Indien de plantdichtheid anders is, moet de waarde in de file worden aangepast.
- Er is aangenomen dat de lichtdoorlatendheid van de kas 50% is, gegeven de 30-jarige leeftijd en de kleine omvang, waardoor de kas vrij donker is. Mocht er een reden zijn om een hogere lichtdoorlatendheid aan te nemen, dan moet een andere TRANSMISSIVITY_FILE worden gekozen.

GreenhouseClimate_Av.csv

De originele file bevat gemiddelde klimaatgegevens, vanaf 18 december (dag 352). Deze file voorziet het model van alle klimaatgegevens die noodzakelijk zijn voor een correcte simulatie van fotosynthese, verdamping, ontwikkeling, en andere processen.

De startdatum van simulatie (in de file Control.dat) kan niet worden aangepast zonder ook de klimaatfile aan te passen. Neem contact op met Anne Elings, Plant Research International, als de begindatum van het model moet worden aangepast.

De klimaatfile mag maximaal 8761 regels bevatten. Dit komt overeen met een volledig kalenderjaar met uurlijkse gegevens. Minder regels is ook toegestaan.

Het is de bedoeling dat gaande het experiment de gemiddelde klimaatgegevens worden vervangen door actuele klimaatgegevens. Tot en met 'gisteren' worden waarnemingen in de file geplaatst. Let hierbij onder meer op het volgende:

- Breng geen veranderingen aan in de opbouw van de file en het format van de getallen.
- Om interpolatieproblemen bij een jaarovergang te voorkomen is het verstandig om een regel toe te voegen voor dag 365, uur 24, met dezelfde informatie als dag 1, uur 0 van het volgende jaar.
- De file mag geen missende waarden bevatten, en geen symbolen als '*' of '99' om een missende waarde aan te geven. Het model kan hier niet mee omgaan.
- Het is het beste om bijvoorbeeld uurlijkse klimaatgegevens op te geven als de rekenstap van het model ook een uur is.

Zie ook het eerste puntje onder paragraaf 5.5 'Het draaien van het model'.

KomkommerObs.csv

Dit is de file die de praktijkobservaties bevat. Het schrijven ervan is uitgebreid behandeld in het hoofdstuk **'Registratie van vruchtzetting en oogst in komkommer'**.

TRMxxx.dat

Deze files bevat gegevens omtrent de lichtdoorlatendheid van het kasdek. Er mogen in deze files geen aanpassingen worden aangebracht. Er zijn drie verschillende files beschikbaar, te weten voor 50%, 65% en 70% lichtdoorlatendheid van het kasdek.

Control.dat

Geef in de file Control.dat aan hoeveel minuten het model moet draaien (via ShellFinishTime). De rekeneenheid is een minuut, een dag bevat 1440 minuten, zodat het aantal dagen * 1440 moet worden opgegeven. Als de gevraagde rekenperiode niet wordt gedekt door de informatie in de klimaatfile, komt er een waarschuwing naar het scherm en wordt de simulatie beëindigd.

Er wordt een reguliere berekening voor alle dagen uitgevoerd, en een berekening bij drie stralingsniveaus voor alleen de laatste dag. Voor iedere einddag moet ShellFinishTime dus opnieuw worden gedefinieerd.

In principe mag ook ShellTimeStep (dit is de rekenstap) worden aangepast, maar dit wordt niet geadviseerd. Een rekenstap groter dan 60 minuten gaat ten koste van de nauwkeurigheid, en een rekenstap kleiner dan 60 minuten vereist al snel veel rekentijd.

Input_intkam.dat

In de file Input_Intkam.dat zijn twee belangrijke files gedefinieerd.

- De naam van de gewasfile, die nu gedefinieerd is als GreenhCropFile = 'Cucumber_Templnt.par'. Alleen als de hierin gedefinieerde parameters in verschillende behandelingen verschillende waarden hebben, heeft een naamsverandering zin.
- De naam van de klimaatfile, die nu gedefinieerd is als GreenhClimateFile = 'GreenhouseClimate_Av.csv'. Als verschillende behandelingen in verschillende kaskompartimenten zijn geplaatst, is het aannemelijk dat de klimaatfiles verschillend zullen zijn. Dit kan worden aangegeven met verschillende filenamen (maximaal 30 tekens).

SetPoints.dat

Dit is eveneens een belangrijke inputfile. In SetPoints.dat moet worden opgegeven tussen welke grenzen de temperatuur door het model gevarieerd mag worden (TempBoundary_Min en TempBoundary_Max). Gezien de behandelingen in het experiment zijn dat de volgende grenzen:

- 16 en 24 °C
- 19 en 21.7 °C
- 17.5 en 22.8 °C

(Het controle setpoint voor temperatuur was 20.5 °C)

Daarnaast moet worden opgegeven met welk verschil de temperatuur door het model steeds moet worden opgehoogd (TempStep). Invoeren van een waarde 0.1 °C is geen bezwaar, ook niet gezien de rekentijd.

De informatie in VAV_SetPointTable mag niet worden aangepast.

6.4 Outputfiles

De volgende files zijn aanwezig nadat het model is gedraaid:

```
... \hoofddirectory\data\output\Errors.out
                               Temp_Sel.csv
```

Errors.out

Als het model onverhoopt niet mocht te draaien, of erg vreemde resultaten geven, is het goed om te kijken of deze file meer bevat dan alleen de regel 'Errors from Intkam greenhouse model'. Als er meer informatie volgt, is er een waarschuwing geweest. Geef deze dan door aan Anne Elings, Plant Research International.

Temp_Sel.csv

Dit is de belangrijkste uitvoerfile, die iedere simulatie opnieuw wordt aangemaakt. Let er dus op dat de gegevens ergens anders worden opgeslagen. Achtereenvolgens wordt de volgende informatie gegeven:

- Day : De dag van het jaar waarvoor de temperatuurberekeningen zijn uitgevoerd.
- RadLevel : Het stralingsniveau (met stappen van 10% oplopend van 10% tot 200% van de normale straling).
- GIRadDay : De totale straling op de doorgerekende dag (J m^{-2})
- DesiredSoSi : De nagestreefde verhouding tussen source en sink.
- SimulatedSoSi : De uiteindelijk gesimuleerde verhouding tussen source en sink, dit is de verhouding die het meest de nagestreefde waarde benaderde.
- TempSelected : De luchttemperatuur binnen in de kas die de beste gesimuleerde source-sink verhouding gaf.

Zie ook paragraaf 3.4.

6.5 Interne files

De volgende files zijn eveneens aanwezig nadat het model is gedraaid:

```
... \hoofddirectory\data\status\ISDump.dat
                                ISDumpSize.dat
                                ISLength.dat
```

Deze drie files worden door het model aangemaakt om het meerdere malen doorrekenen van eenzelfde dag te versnellen. Ze zijn voor de gebruiker van geen belang en hoeven niet te worden bewaard. De files mogen na afloop van de simulatie worden verwijderd, aangezien ze iedere simulatie opnieuw worden aangemaakt.

6.6 Het draaien van het model

1. Bouw de klimaatfile. Het is de bedoeling dat tot en met 'gisteren' waarnemingen in de klimaatfile worden geplaatst, zodat tot en met 'gisteren' met het werkelijke klimaat wordt gerekend. Vandaag wordt met gemiddelde klimaatgegevens gerekend.
2. Specificeer in input_intkam.dat de te gebruiken klimaatfile.
3. Geef in de file Control.dat aan hoeveel minuten het model moet draaien door ShellFinishTime te specificeren. De rekeneenheid is een minuut, een dag bevat 1440 minuten, zodat het aantal dagen * 1440 moet worden opgegeven.
4. Geef in SetPoints.dat de temperatuurgrenzen (TempBoundary_Min, TempBoundary_Max) en de stap waarmee de temperatuur steeds wordt opgehoogd (TempStep) aan.
5. Dubbelklik op de file TempInt.exe.
6. Het model rekent alle dagen eenmaal door, en de laatste dag 20 maal voor 20 verschillende stralingsniveaus (10%, 20%, ..., 200% van de straling zoals die in de klimaatfile is opgegeven).
7. De uitvoer wordt geplaatst in de file Temp_Sel.csv, welke na modelbeëindiging kan worden geopend.
8. Bewaar de gegevens in Temp_Sel.csv elders, omdat Temp_Sel.csv bij de volgende simulatie wordt overgeschreven.
9. Verwerk de gegevens.

7. Toekomstige modelontwikkelingen

7.1 Optimaliseren aan het begin van de nachtperiode

In de praktijk wordt tijdens de lichtperiode een zeker temperatuurverloop gerealiseerd en worden bij zonsondergang (of daaromtrent) temperatuursetpoints voor de donkerperiode ingesteld. Deze werkwijze is ook in de PPO experimenten gehanteerd. Deze nachttregeling zorgt ervoor dat op 24-uurbasis de zoveel mogelijk juiste gemiddelde dagtemperatuur wordt gerealiseerd. Op dit moment is de straling tot en met 'vandaag' bekend, waar goed gebruik van gemaakt zou kunnen worden als temperatuuroptimalisaties niet aan het begin, maar aan het einde van de dag zouden worden uitgevoerd. Er bestaat dan geen onzekerheid meer ten aanzien van het effect van straling op SoSi.

In deze opzet zouden bij zonsondergang het volgende plaatsvinden:

1. Berekening van de assimilatenproductie, gebruik makend van de actuele stralingsgegevens.
2. Berekening van optimale nachtttemperatuur (tot aan zonsopkomst) dusdanig dat de optimale SoSi wordt berekend.
3. Schatting van het temperatuursetpoint voor de volgende dagperiode.

Het zou vanuit deze optiek overwogen moeten worden om het model niet te laten rekenen van middernacht tot middernacht, maar van zonsondergang tot zonsondergang. Dit heeft vergaande implicaties voor de wijze waarop het model omgaat met de synchronisatie van tijd en momenten van diverse berekeningen. Er zouden dan voorzieningen moeten worden getroffen, of gebruik moeten worden gemaakt van schattingen, zodat juist kan worden omgegaan met het feit dat het moment van zonsondergang niet steeds op hetzelfde tijdstip plaatsvindt.

7.2 Voortschrijdend gemiddelde

Voor het weekend wordt er op vrijdag drie dagen vooruit gerekend, wat een grote foutenbron kan zijn als de voorspellingen van straling sterk afwijken van de daadwerkelijke straling. En dit is heel goed mogelijk voor een periode van drie dagen. Een mogelijke oplossing zou zijn om de berekening van het temperatuursetpoint niet te baseren op een dag, maar op bijvoorbeeld de klimaatomstandigheden van de afgelopen drie (of een ander aantal) dagen. Dit resulteert mogelijk in een demping van extreme temperatuur-setpoints, die mogelijk in een verminderde foutenbron voor het weekend resulteren.

8. Referenties

- Janse, J., B. Houter, B. Berkhout & E. Rijpsma, 2003.
Optimalisatie temperatuur komkommer. PPO rapport (in voorbereiding).
- Marcelis, L.F.M., 1994.
Fruit growth and dry matter partitioning in cucumber. Proefschrift LandbouwUniversiteit Wageningen. 173p.
- Marcelis, L.F.M. & H. Gijzen, 1998a.
Evaluation under commercial conditions of a model of prediction of the yield and quality of cucumber fruits.
Scientia Horticulturae 76: 171-181.
- Marcelis, L.F.M. & H. Gijzen, 1998b.
A model for prediction of yield and quality of cucumber fruits. *Acta Horticulturae* 476: 237-242.
- Marcelis, L.F.M., H.A.G.M. van den Boogaard & E. Meinen, 2000.
Control of crop growth and nutrient supply by the combined use of crop models and plant sensors. In: Proc. Int. Conf. Modelling and Control in Agriculture, Horticulture and Post-Harvested Processing. IFAC, pp. 351-356.
- Uffelen, J.A.M. van & G. Hey, 1977.
De nachttemperatuur bij de komkommer. *Tuinderij* 17: 54-57.
- Woerden, S.C. van (red.), 2001.
Kwantitatieve informatie voor de glastuinbouw 2001-2002. Groenten-Snijbloemen-Potplanten. PPO 510.

Bijlage I.

Dagnummers

dag	jan	feb	maart	april	mei	juni	juli	aug	sep	okt	nov	dec
1	1	32	60	91	121	152	182	213	244	274	305	335
2	2	33	61	92	122	153	183	214	245	275	306	336
3	3	34	62	93	123	154	184	215	246	276	307	337
4	4	35	63	94	124	155	185	216	247	277	308	338
5	5	36	64	95	125	156	186	217	248	278	309	339
6	6	37	65	96	126	157	187	218	249	279	310	340
7	7	38	66	97	127	158	188	219	250	280	311	341
8	8	39	67	98	128	159	189	220	251	281	312	342
9	9	40	68	99	129	160	190	221	252	282	313	343
10	10	41	69	100	130	161	191	222	253	283	314	344
11	11	42	70	101	131	162	192	223	254	284	315	345
12	12	43	71	102	132	163	193	224	255	285	316	346
13	13	44	72	103	133	164	194	225	256	286	317	347
14	14	45	73	104	134	165	195	226	257	287	318	348
15	15	46	74	105	135	166	196	227	258	288	319	349
16	16	47	75	106	136	167	197	228	259	289	320	350
17	17	48	76	107	137	168	198	229	260	290	321	351
18	18	49	77	108	138	169	199	230	261	291	322	352
19	19	50	78	109	139	170	200	231	262	292	323	353
20	20	51	79	110	140	171	201	232	263	293	324	354
21	21	52	80	111	141	172	202	233	264	294	325	355
22	22	53	81	112	142	173	203	234	265	295	326	356
23	23	54	82	113	143	174	204	235	266	296	327	357
24	24	55	83	114	144	175	205	236	267	297	328	358
25	25	56	84	115	145	176	206	237	268	298	329	359
26	26	57	85	116	146	177	207	238	269	299	330	360
27	27	58	86	117	147	178	208	239	270	300	331	361
28	28	59	87	118	148	179	209	240	271	301	332	362
29	29		88	119	149	180	210	241	272	302	333	363
30	30		89	120	150	181	211	242	273	303	334	364
31	31		90		151		212	243		304		365

