

Grenswaarden voor temperatuurfluctuaties van verschillende duur bij siergewassen

Verslag van een teeltproef met modelgestuurd temperatuursverloop
Deelverslag 3: Toetsing van een dynamisch gewasmodel voor groei, ontwikkeling en sierwaarde van Kalanchoe.

F. Buwalda

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

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

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

Dit is een vertrouwelijk document, uitsluitend bedoeld voor intern gebruik binnen PPO dan wel met toestemming door derden. Niets uit dit document mag worden gebruikt, vermenigvuldigd of verspreid voor extern gebruik.



Dit project werd uitgevoerd in opdracht van:
NOVEM
Productschap Tuinbouw
Ministerie van LNV

Projectnummer: 41505074

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Sector Glastuinbouw

Adres : Kruisbroekweg 5
2771 KT Naaldwijk

Tel. : 0174-636700

Fax : 0174-636835

E-mail : info.ppo@wur.nl

Internet : www.ppo.dlo.nl

Inhoudsopgave

pagina

VOORWOORD	5
1 INLEIDING	6
2 WERKWIJZE.....	7
3 RESULTATEN	8
3.1 Toetsing van de groeifunctie.....	8
3.1.1 Invloed remmen op groeifunctie	9
3.1.2 Toetsing groeifunctie najaar 2003.....	12
3.2 Ontwikkelingsprocessen	12
3.2.1 Bladparen aan de hoofdscheut - Nodia.....	12
3.2.2 Bloeistadium.....	14
3.2.3 Reactietijd	16
3.2.4 Vorming van zij scheuten	17
3.3 Verdeling van biomassa in de plant.....	20
4 DISCUSSIE	25
4.1 Groei	25
4.2 Begincondities	26
4.3 Ontwikkeling.....	26
4.4 Uitlopen van zij scheuten en verdeling van biomassa in de plant	27
LITERATUUR.....	29

Voorwoord

Voor u ligt het deel 3 van het vierde rapport van het project: "**Grenswaarden voor temperatuurfluctuaties bij siergewassen**".

Na de definitiestudie (Rapport 1) en de basis experimenten voor de modelvorming (Rapport 2) is in 2003-2004 een experiment uitgevoerd, waarin het kasklimaat gestuurd is op basis van een door een model (Rapport 3) berekende gewenste kasttemperatuur.

Om de analyse van dit experiment overzichtelijk te houden is de rapportage opgesplitst in een aantal deelrapporten.

Deel 1 geeft het temperatuurverloop, energieverbruik en een overzicht van de teeltresultaten.

Deel 2 werkt het teeltsturingsmodel uit.

Deel 3 is de toetsing van het dynamisch gewasmodel voor groei, ontwikkeling en sierwaarde van Kalanchoe.

Deel 4 levert een analyse van verschillende scenario's die met het model zijn door te rekenen

Deel 5 beschrijft de mogelijkheden bij Potchrysant, Begonia en Saintpaulia

Aan dit project hebben diverse collega's meegewerkt. In het bijzonder worden bedankt Claudia Jillessen, Henny van Gurp, Dik Zonnenberg, Filip van Noort, Peter Korsten en Peter Lagas.

De weg van het oorspronkelijke project voorstel via experimenten en verwerking is geen rechte lijn geweest.

Steeds moest worden bijgestuurd omdat zaken anders liepen dan vooraf gedacht.

Uiteindelijk schrijven de beide opstellers van het projectvoorstel uit 2000 gezamenlijk de diverse deelverslagen.

Fokke Buwalda en Arie de Gelder.

1 Inleiding

Het gewasmodel zoals beschreven in rapport 3 van dit project (zie ook Buwalda et al., 2004) is ontwikkeld en gekalibreerd op basis van de resultaten van een teeltproef uitgevoerd in het najaar van 2003. Met het oog op een algemene toepasbaarheid van het model is het van belang dat het ook in andere perioden van het jaar accurate simulatieresultaten op kan leveren. De algemene theorie met betrekking tot het totstandkomen van uitwendige kwaliteit (sierwaarde) zoals uiteengezet in rapport 1 (Buwalda, 2003) is gebaseerd op het idee dat de laterale groei (uitgroeien van zijscheuten) en allocatie van biomassa naar generatieve delen de belangrijkste kwaliteitsbepalende processen zijn. Verondersteld wordt dat de verhouding tussen groeisnelheid en ontwikkelingstempo de bepalende factor is voor beide processen.

2 Werkwijze

In het kader van dit project zijn twee teeltproeven uitgevoerd met twee lichtniveaus en drie temperatuurniveaus. De factor licht werd gevarieerd door middel van het al of niet toepassen van assimilatiebelichting (SON-T 400W) de temperatuurtrappen werden gerealiseerd door middel van verschillende instellingen van het temperatuursetpoint (16, 19 en 22°C). Als derde experimentele factor werden planten die regelmatig zijn geremd met ALAR vergeleken met planten die niet zijn geremd. De proeven zijn uitgevoerd in het najaar van 2002 en in het voorjaar van 2003, in 4 gelijke kasafdelingen van de voormalige PPO-vestiging Horst (Rapport 2).

Het model zoals beschreven in het rapport 3: 'Gewasmodel' kon de resultaten van de proef, uitgevoerd in het voorjaar van 2003, goed narekenen. Om de algemene geldigheid van het model te onderzoeken is het eerst getoetst op een dataset beschikbaar uit een teeltproef, uitgevoerd in het najaar van 2002. Op basis van de uitslagen van deze toetsing is het model op enkele punten aangepast. Vervolgens is het model gevalideerd op basis van de resultaten van de stuurproef, uitgevoerd in de periode september 2003 – januari 2004. In deze afsluitende proef fungeerde een afdeling als referentie; daar werd het klimaat, in overleg met telers, zo veel mogelijk conform praktijk geregeld. Het klimaat in de overige drie afdelingen werd door een speciaal ontwikkeld stuurprogramma geregeld, waarbij per afdeling verschillende niveaus van de plantbalans-doelfunctie werden nagestreefd (Rapport 4 deelverslag 2: Stuurmodel).

Voor de toetsing van het model is achtereenvolgens is gekeken naar groeiprocessen, ontwikkelingsprocessen en kwaliteitsbepalende processen, met name het uitlopen van zijscheuten en de hoeveelheid biomassa, die de plant in bloei investeerde.

3 Resultaten

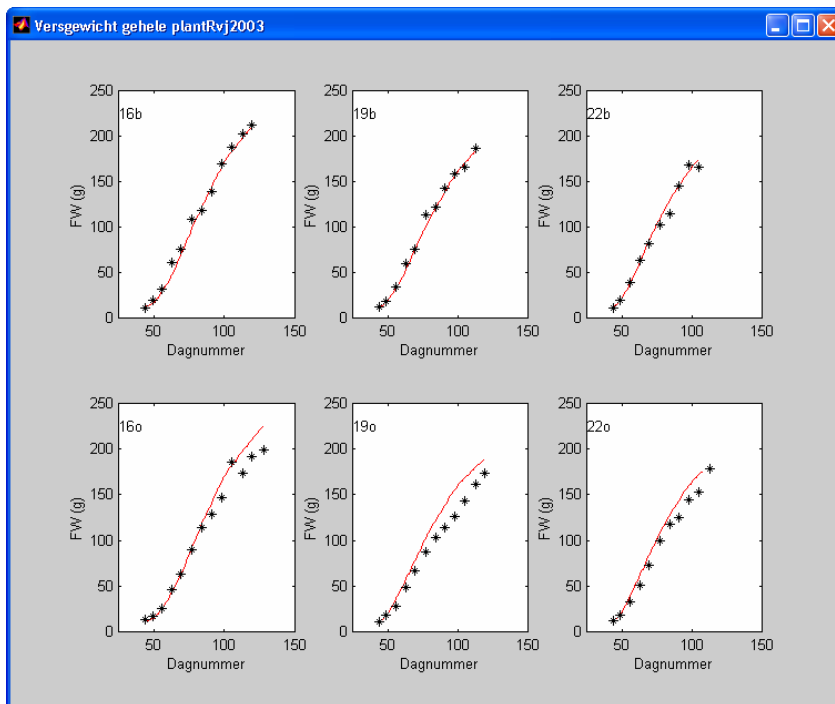
3.1 Toetsing van de groeifunctie

In het najaar van 2002 is in het kader van dit project een proef uitgevoerd die vergelijkbaar was qua opzet en uitvoering als de proef in het voorjaar van 2003, waarop het oorspronkelijke model was gekalibreerd (Rapport 2). Bij het narekenen van de gemeten groei in deze proef bleek de waargenomen groei duidelijk te worden onderschat. De oorspronkelijk toegepaste groeifunctie in het model ging simpelweg uit van een vaste lichtbenuttingsefficiëntie. Kennelijk lag echter de geproduceerde hoeveelheid biomassa per opgevangen mol PAR-licht bij het lagere lichtniveau in het najaar aanzienlijk hoger. Dit effect is ook bekend bij andere gewassen, zoals tomaat (Heuvelink, 1996) en chrysant (Lee, 2002; Körner, 2003). Met het effect dat de efficiëntie van lichtbenutting afhankelijk is van het lichtniveau kan rekening worden gehouden door in plaats van een lineair verband een verzadigingskromme als uitgangspunt te nemen. Een algemeen toegepaste formule is:

$$A = A_{\max} * (1 - \exp(-LUE * I / A_{\max})),$$

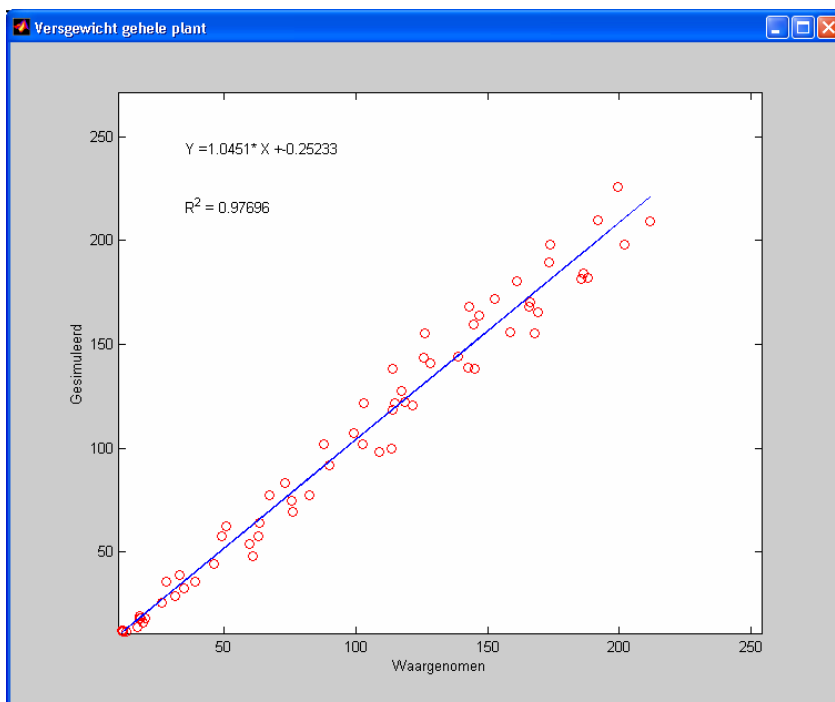
waarbij A staat voor de assimilatiesnelheid, A_{\max} voor assimilatiesnelheid bij verzadigend lichtniveau, LUE voor de lichtbenuttingsefficiëntie, en I voor het PAR-lichtniveau (Heuvelink 1996). Bij het ontwikkelen van het model voor Kalanchoe is gekozen om versgewicht als uitgangspunt voor de groeifunctie te nemen, omdat dit voor telers als potentiële gebruikers van het model gemakkelijker is te bepalen dan het drooggewicht. Het model berekent de dagelijks beschikbare hoeveelheid assimilaten, uitgedrukt als versgewicht-equivalent ($\text{g(vers) m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). Voor LUE werd de waarde $62 \text{ g(vers) mol}^{-1} \text{ PAR}$ gekozen en voor A_{\max} de waarde $300 \text{ g(vers) m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Bij analyse bleek bij de oorspronkelijke calibratie van de uitgroefuncties de groei in alle behandelingen gedurende een groot deel van de teelt te worden beperkt door de assimilatenvraag, en niet door het aanbod. Dit is niet in overeenstemming met het gegeven dat het gehalte aan droge stof bij Kalanchoe onveranderlijk was bij alle licht / temperatuurcombinaties, wat er op wijst dat de planten geen reservestoffen opsloegen. Ook gaat de balanstheorie voor generatieve allocatie en zijnscheutvorming uit van verschillen in afstemming tussen vraag en aanbod van assimilaten. Bij planten die onder alle voorkomende licht / temperatuurcombinaties over een overschot aan assimilaten beschikken zijn geen verschillen in zijnscheutvorming en allocatie naar bloei te verwachten, wat niet in overeenstemming is met de waarnemingen. Om die reden is het potentiële eindgewicht van de uitgroefuncties voor phytomeren in de hoofdscheut en voor zijnscheuten en bloemhoofdjes opgehoogd. Verder is een reductiefactor van 0.4 aan het model toegevoegd voor de relatie tussen assimilatenvraag en versgewichttoename van de generatieve delen, omdat gebleken is dat het percentage droge stof vrij sterk verschilt tussen vegetatieve en generatieve delen (4% respectievelijk 10%).

Met de genoemde aanpassingen van het model bleek het model de gemeten groei in de voorjaarsproef redelijk goed te kunnen simuleren (Figuur 1) en was er sprake van een goed verband tussen waargenomen en gesimuleerde plantgewichten (Figuur 2). In dit geval is de overeenstemming tussen gesimuleerde en gemeten data iets groter voor belichte planten (16b, 19b, 22b) dan voor onbelichte planten, waar sprake lijkt te zijn van een lichte overschatting. Werd met het zelfde model het verloop van de groei in de najaarsteelt van 2002 nagerekend, dan bleek eveneens een redelijk goede overeenkomst te bestaan (Figuur 3). Ook in dit geval was er sprake van een vrij sterk verband tussen waargenomen en gesimuleerde gewichten (Figuur 4). Wel blijkt uit Figuur 3 en Figuur 4 dat de gesimuleerde gewichtstoename in het begin van de teelt in het najaar van 2002 wat minder snel op gang kwam dan de gemeten groei.



Figuur 1– Verloop van het versgewicht (g) van de gehele plant in de proef, uitgevoerd in het voorjaar van 2003. In dit geval is de strekkingsgroei geremd met ALAR. Er waren zes behandelingen-combinaties van temperatuursetpoint (16, 19 en 22°C) en het al of niet toepassen van assimilatiebelichting (b of o = belicht, onbelicht).

De sterretjes geven de waargenomen gewichten weer, de rode lijnen de gesimuleerde waarden. De tijdschaal is in dagnummers, dag 1 = 1 januari 2003.



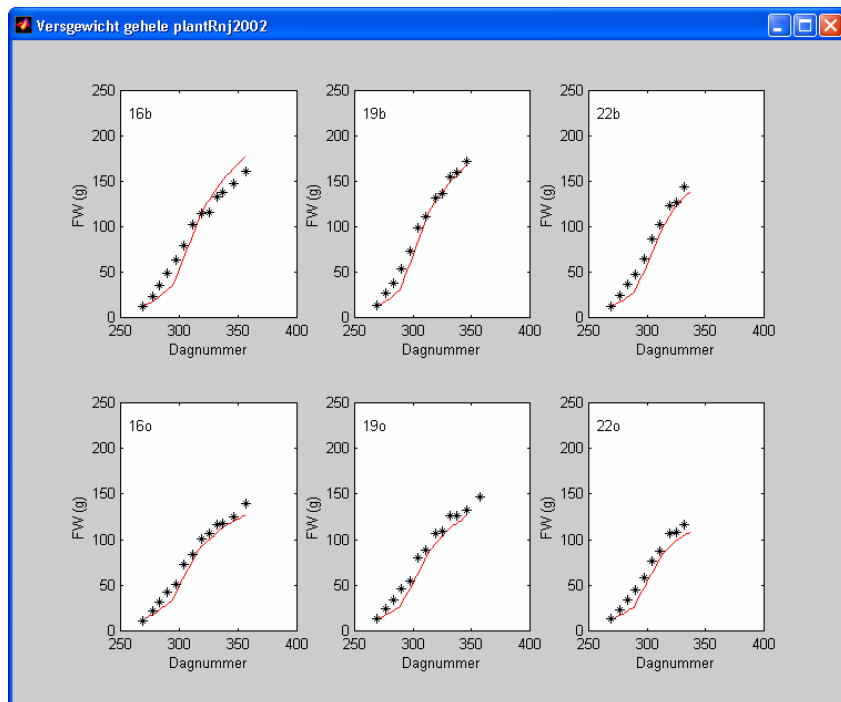
Figuur 2– Regressie van de gesimuleerde waarden van het versgewicht van de gehele plant (g) tegen de gemeten waarden. De gegevens zijn gelijk aan die in Figuur 1.

In de linkerbovenhoek staat de gefitte regressie-vergelijking weergegeven, R^2 is een maat voor de overeenstemming tussen gemeten en gesimuleerde gegevens (% variatie verklaard).

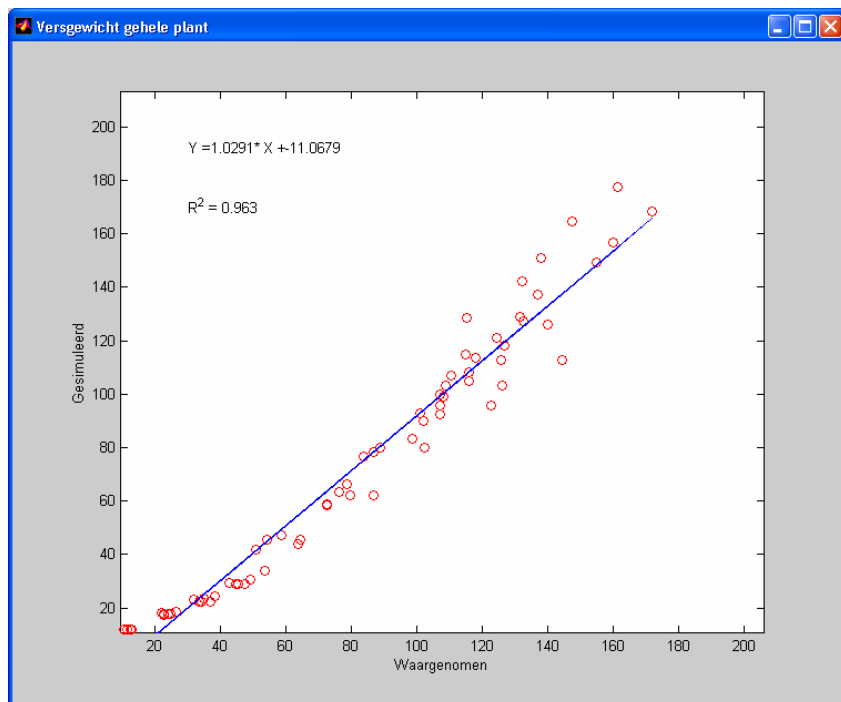
3.1.1 Invloed remmen op groeifunctie

In de zelfde proeven is ook gemeten aan planten die niet met groeiregulatoren zijn behandeld. In tegenstelling tot de meeste moderne rassen heeft het ras 'Tenorio', dat in deze proeven onderwerp van studie was, enkele malen in de teelt een dosis remstof nodig om de gewenste compacte plantvorm te krijgen. Wanneer het model met de zelfde parameterisering werd gebruikt om de groei van niet geremde planten in de voorjaarsteelt van 2003 na te rekenen, dan bleek de biomassaproductie iets lager te worden

ingeschat. In dit geval werd de groei van de onbelichte planten bij alle drie de temperatuurniveaus correct ingeschat, maar bij de belichte planten kwam het eindgewicht enkele procenten te laag uit. De regressie van gesimuleerde gewichten tegen meetwaarden kwam uit op $Y = 0.92 * X + 3.9$; $R^2 = 0.99$. Ook bij het narekenen van de resultaten met betrekking tot niet geremde planten in de najaarsteelt van 2002 geldt dat de biomassa productie te laag werd ingeschat. In dit geval werd een regressie van $Y = 0.96 * X - 9.8$ berekend, met een $R^2 = 0.95$. Evenals bij de geremde planten bleek de gesimuleerde groei wat later op gang te komen dan in werkelijkheid. Wat betreft de eindgewichten was er sprake van een onderschatting met enkele procenten bij 19 en 22°C, zowel in de belichte als in de onbelichte behandelingen. Dit betekent dat planten die niet met remstof zijn behandeld iets sneller groeien dan geremde planten.



Figuur 3 - Verloop van de groei in de proef, uitgevoerd in het najaar van 2002. Voor details zie de toelichting bij Figuur 1.

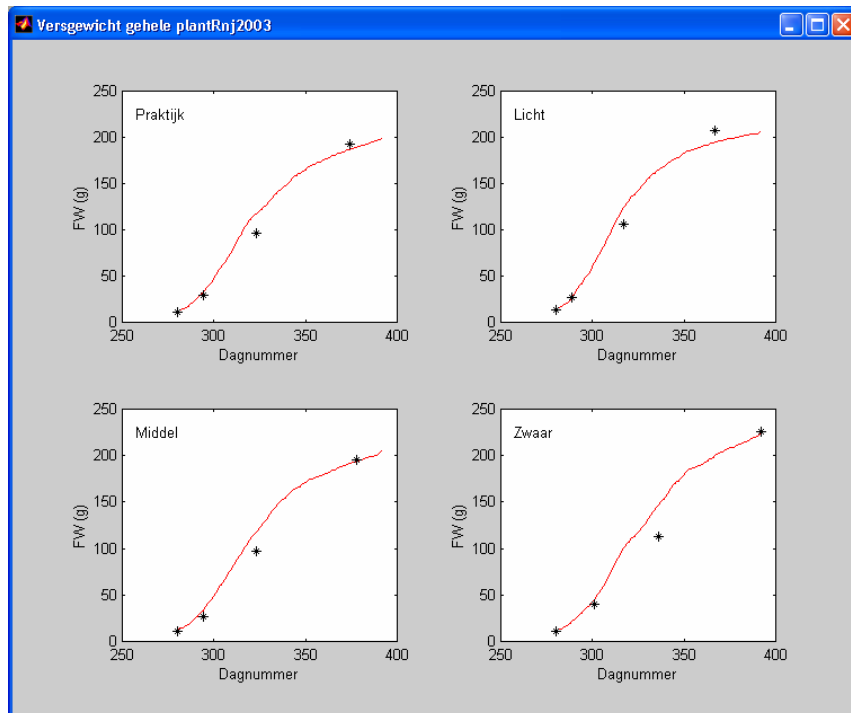


Figuur 4 - Regressie van de gesimuleerde waarden van het versgewicht van de gehele plant (g) tegen de gemeten waarden. De gegevens zijn gelijk aan die in Figuur 3

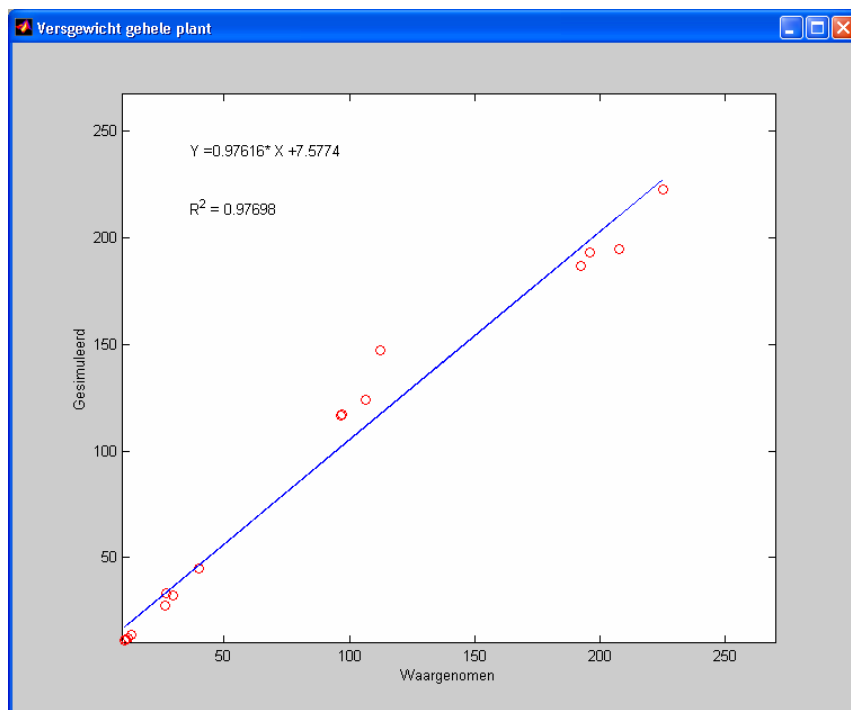
Voor verdere bijzonderheden zie de toelichting bij Figuur 2.

Er zou nadere studie nodig zijn om uit te zoeken of de geringere groei van de geremde planten wordt veroorzaakt door een minder snelle bladstrekking waardoor de lichtonderschepping vermindert, of door een vertraagde verwerkingsnelheid van assimilaten (verminderde sinkwerking).

Door aanpassing van de parameters in het model die met een van beide processen te maken hebben is het mogelijk om het model zo te kalibreren dat ook de groei van niet geremde planten goed wordt gesimuleerd. In ieder geval kan de conclusie worden getrokken dat de groeifunctie van in het model apart moet worden geparаметeriseerd voor geremde en ongeremde planten.



Figuur 5 - Verloop van de groei in de stuurproef, uitgevoerd in het najaar van 2003. De lengtegroei van deze planten werd geremd met ALAR. In de referentiebehandeling 'praktijk' werd het klimaat in overleg met telers zo veel mogelijk ingesteld zoals gebruikelijk is op een normaal productiebedrijf. In de drie overige behandelingen werd het klimaat door het stuurmodel geregeld, waarbij drie niveaus van plantbalans werden nagestreefd: licht, middel en zwaar.



Figuur 6 - Regressie van de gesimuleerde waarden van het versgewicht van de gehele plant (g) tegen de gemeten waarden. De gegevens zijn gelijk aan die in Figuur 5. Voor verdere bijzonderheden zie de toelichting bij Figuur 2.

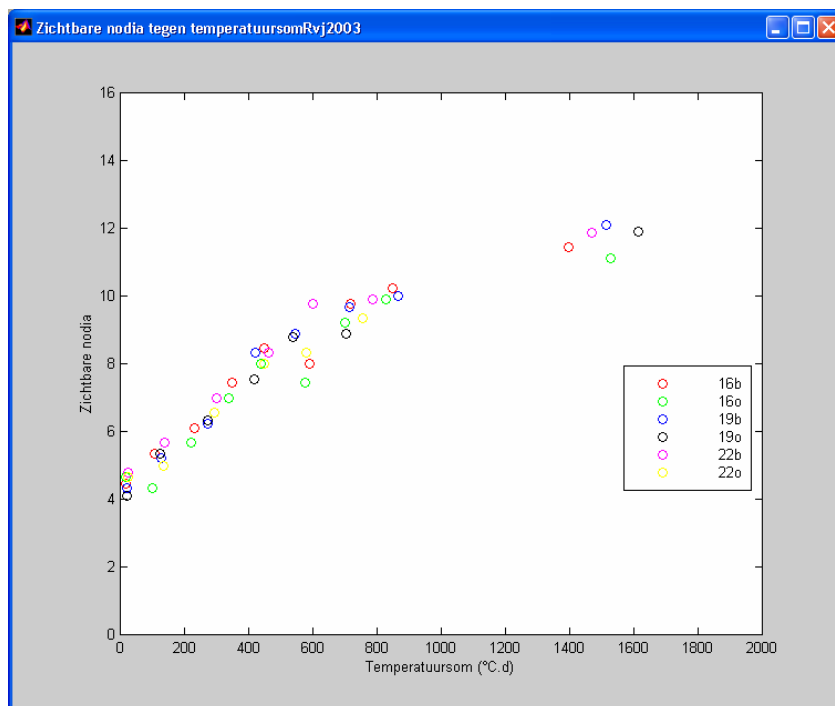
3.1.2 Toetsing groeifunctie najaar 2003

Wanneer het groeimodel wordt toegepast voor het narekenen van de groei van planten in de stuurproef die in het najaar van 2003 is uitgevoerd, dan blijkt dat de eindgewichten correct worden gesimuleerd (Figuur 5). Het verloop van de berekende gewichtstoename blijkt echter enigszins af te wijken van de gemeten waarden: in alle gevallen wordt het versgewicht van de planten in bloeistadium 3 (afhankelijk van de behandeling gemeten in de periode tussen dag 315 en 340) enigszins overschat. De regressie van gesimuleerde op gemeten versgewichten komt uit op $Y = 0.97 * X + 7.58$; $R^2 = 0.98$. De simulaties voor niet geremde planten in de najaarsproef van 2003 vertonen het zelfde beeld, waarbij net als in de teelten van najaar 2002 en voorjaar 2003 de gesimuleerde eindgewichten iets lager uitkwamen. In dit geval werd een regressie van gesimuleerde tegen gemeten waarden berekend van $Y = 0.98 * X + 11.9$; $R^2 = 0.97$.

3.2 Ontwikkelingsprocessen

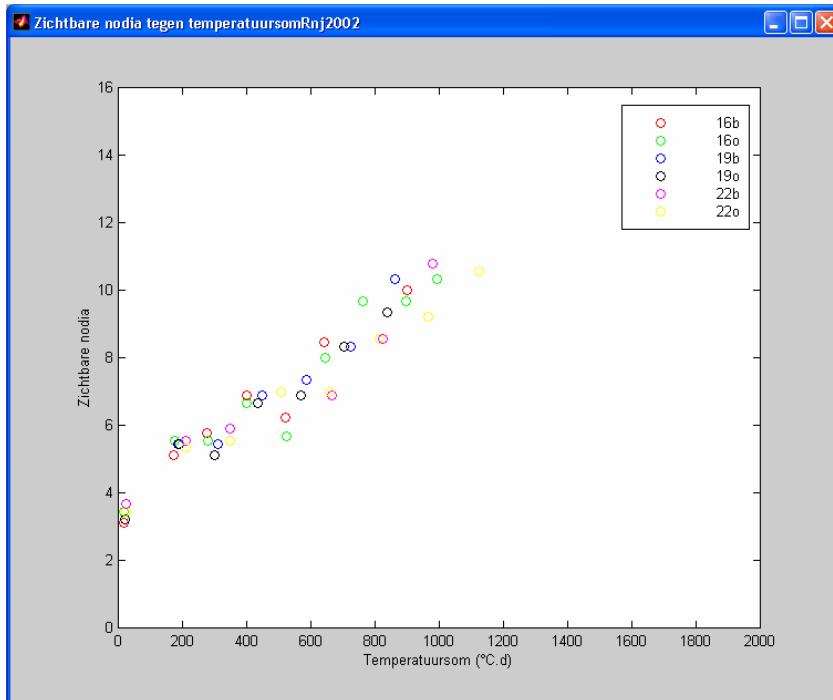
3.2.1 Bladparen aan de hoofdscheut - Nodia

Wat betreft ontwikkeling zijn in deze proeven verschillende kenmerken geregistreerd: het aantal zichtbare nodia (bladparen) van de hoofdscheut, het bloeistadium, en de responstijd (van begin KD tot bloei).

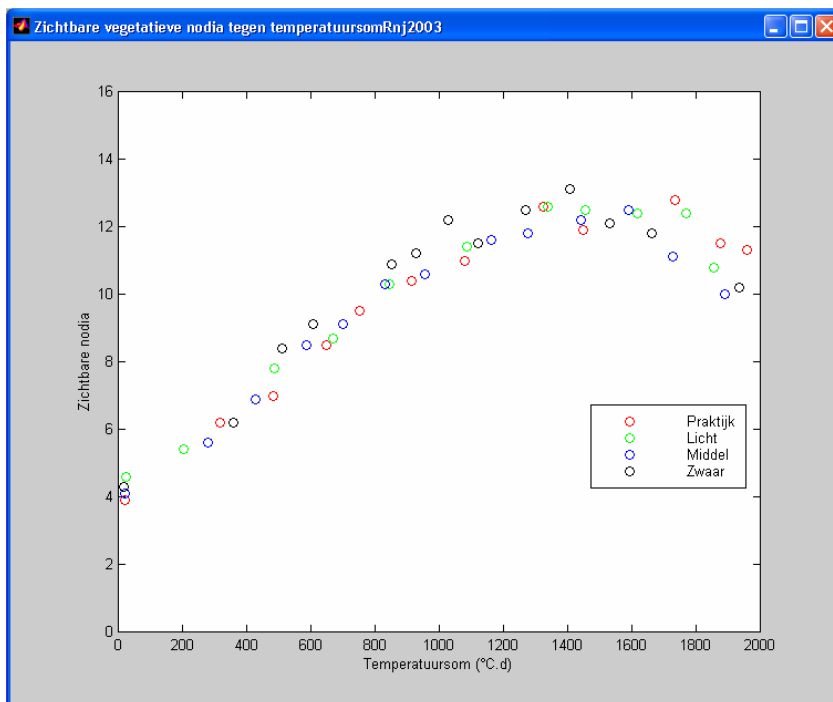


Figuur 7- Het aantal zichtbare vegetatieve nodia van de hoofdscheut in de proef van voorjaar 2003, uitgezet tegen de temperatuursom. De kleur van de symbooltjes geeft de combinatie van licht en temperatuursetpoint van de betreffende behandeling aan.

Figuur 7 geeft het verloop weer van het aantal zichtbare vegetatieve nodia in de hoofdscheut in de voorjaarsproef van 2003. Het algemene patroon is een constante toename gedurende de eerste 800 graaddagen, gevolgd door een geleidelijke afvlakking. Dit is in overeenstemming met de verwachting, omdat het aantal nodia ook in werkelijkheid aan een maximum is gebonden door de bloei-inductie. Wanneer een temperatuur van 0°C wordt gekozen als drempelwaarde voor de vegetatieve ontwikkeling en 1800 graaddagen als uitgroeiduur, dan blijkt dat de zichtbaarheid van de nodia bij alle combinaties van licht en temperatuur dezelfde curve volgt. Dit betekent dat de uitgroei van nodia wordt bepaald door de temperatuursom en dat de feitelijke klimaatomstandigheden wat betreft licht- en temperatuurniveau niet uitmaken. Dit beeld wordt bevestigd in Figuur 8, waaruit blijkt dat het aantal zichtbare nodia ook in de proef van najaar 2002 een curve met dezelfde hellingshoek volgden. De beginwaarden liggen in dit geval wat lager, waarschijnlijk omdat het stekmateriaal wat korter was gesneden.



Figuur 8- Het aantal zichtbare vegetatieve nodia van de hoofdscheut in de proef van najaar 2002, uitgezet tegen de temperatuursom. De kleur van de symbooltjes geeft de combinatie van licht en temperatuursetpoint van de betreffende behandeling aan.

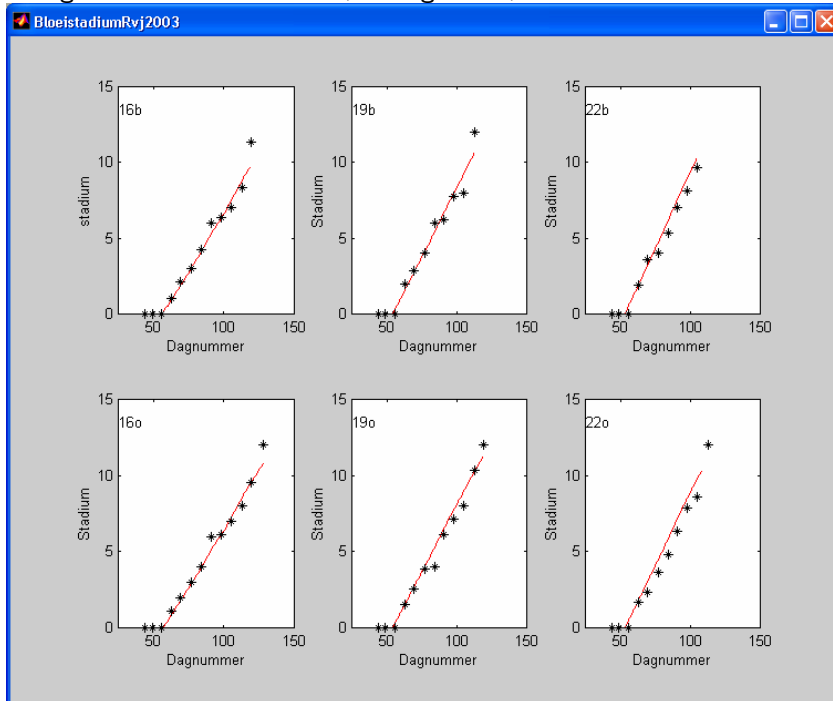


Figuur 9- Het aantal zichtbare vegetatieve nodia van de hoofdscheut in de proef van najaar 2003, uitgezet tegen de temperatuursom. De kleur van de symbooltjes geeft de combinatie van licht en temperatuursetpoint van de betreffende behandeling aan.

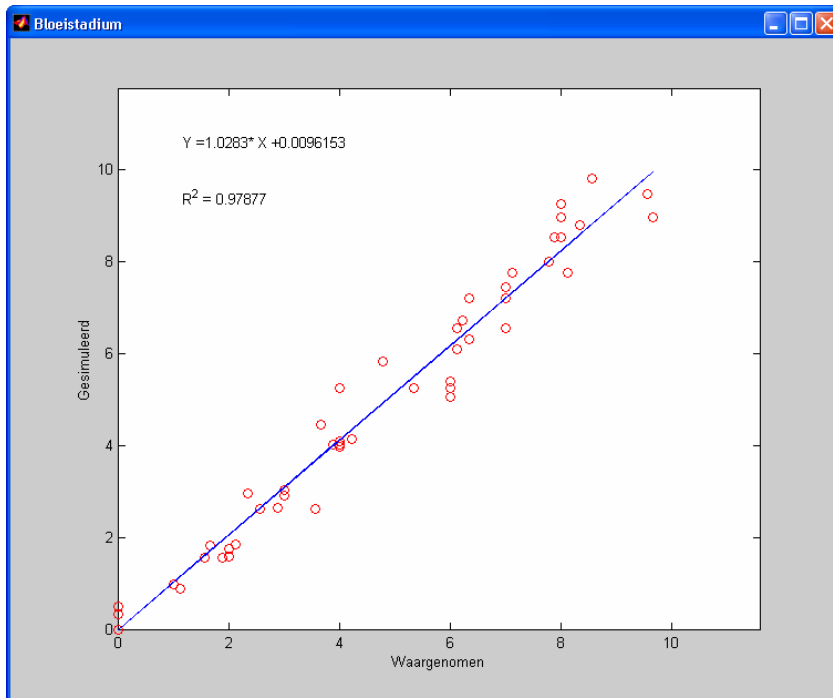
De resultaten van de stuurproef in het najaar van 2003 zijn hiermee in overeenstemming. In dit geval lijkt de curve aan het eind weer af te lopen; de verklaring daarvoor is dat nodia die aanvankelijk als vegetatief waren meegeteld later als generatief zijn geteld. De resultaten bevestigen dat het uitgroeien van vegetatieve phytomeren van Kalanchoe een proces is dat over een zeer brede range aan omstandigheden wordt bepaald door de temperatuursom, en dat seizoen, licht- of temperatuurniveau of het wel of niet optreden van grote variaties in temperatuur geen invloed hebben.

3.2.2 Bloeistadium

Een andere belangrijke indicator van de gewasontwikkeling is het bloeistadium. Figuur 10 toont het verloop van het geregistreerde bloeistadium. Hierbij is de indeling in stadia gebruikt zoals gedefinieerd op de website van LetsGrow.com, waarbij stadium 10 het veilingrijpe stadium is. Er is in de proef nog waargenomen tot stadium 12 (volledige bloei).



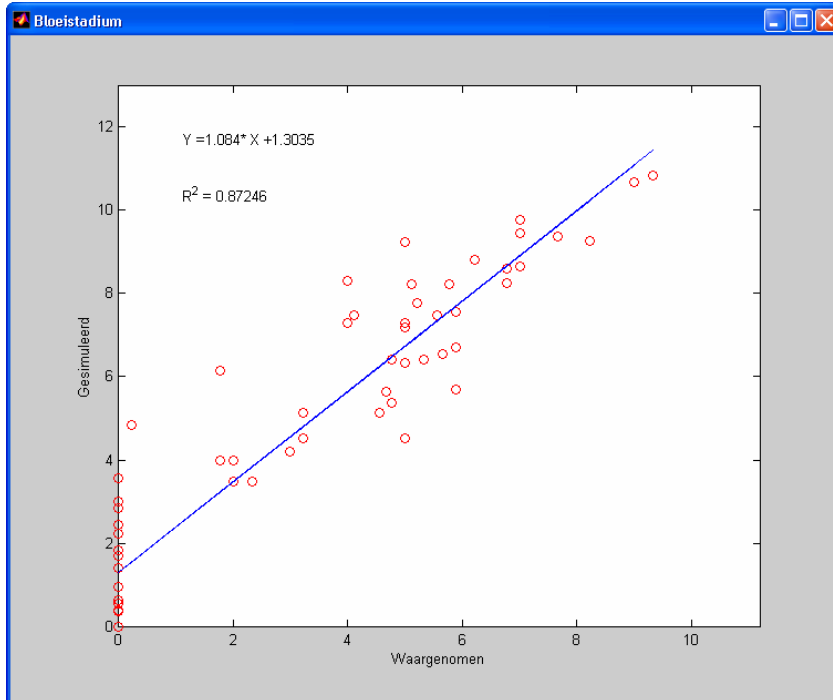
Figuur 10- Ontwikkeling in de tijd van het bloeistadium geregistreerd (sterretjes) en gesimuleerd (lijn) in de proef van voorjaar 2003. Voor verdere toelichting zie het bijschrift bij Figuur 1.



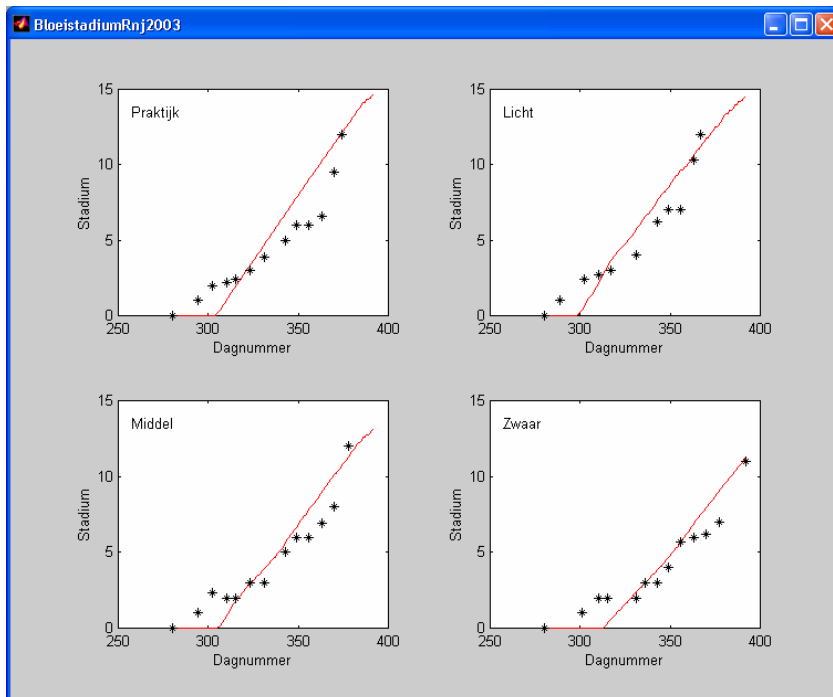
Figuur 11- Regressie van de gesimuleerde waarden van het bloeistadium tegen de waargenomen waarden. De gegevens zijn gelijk aan die in Figuur 10. Voor verdere bijzonderheden zie de toelichting bij Figuur 2.

De grafieken laten zien dat het model tot en met bloeistadium 10 de geregistreerde gegevens goed volgt. In alle gevallen is stadium 12 afwijkend; vanaf stadium 10 is er dus geen sprake meer van een rechtlijnig verband met de temperatuursom. Omdat telers in de praktijk de planten in stadium 10 rapen geldt dat niet

als een bezwaar. In Figuur 11 is te zien dat er sprake is van een goede overeenstemming tussen gesimuleerde en geregistreerde bloeistadia. De calibratie van dit onderdeel van het model kan helaas niet zuiver worden vergeleken met de gegevens uit de proef van najaar 2002, omdat in die proef de bloei-inductie afwijkend is verlopen als gevolg van blootstelling van de planten aan stoorlicht in de korte dag fase. De hoge regressiecoëfficiënt in Figuur 12 geeft aan dat de waargenomen bloei significant achterliep bij de verwachting; ook is er duidelijk sprake van een aanzienlijke spreiding.

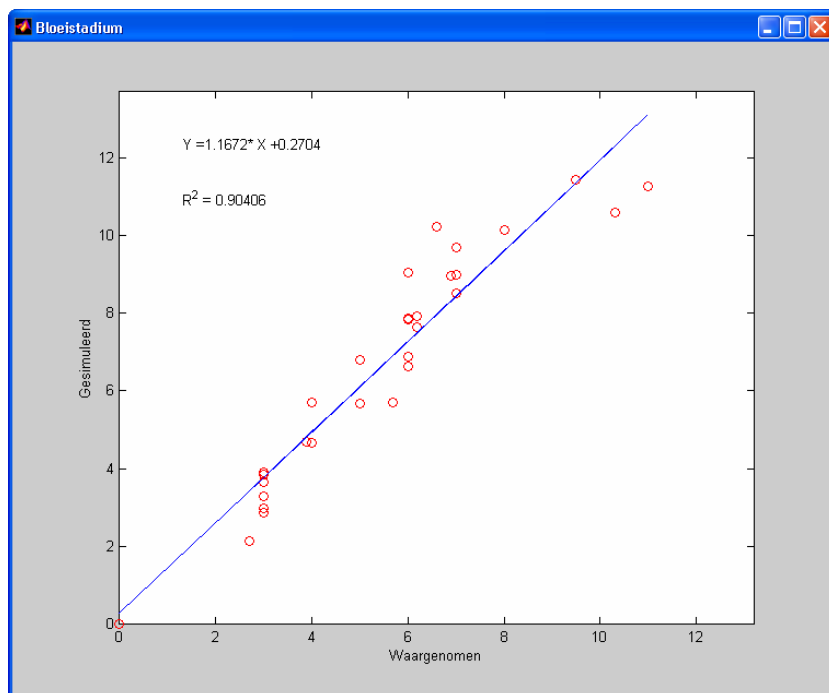


Figuur 12- Regressie van de gesimuleerde waarden van het bloeistadium tegen de waargenomen waarden in de proef van najaar 2002. Voor verdere bijzonderheden zie de toelichting bij Figuur 2



Figuur 13- Ontwikkeling in de tijd van het bloeistadium geregistreerd (sterretjes) en gesimuleerd (lijn) in de proef van najaar 2003. Voor verdere toelichting zie het bijschrift bij Figuur 5.

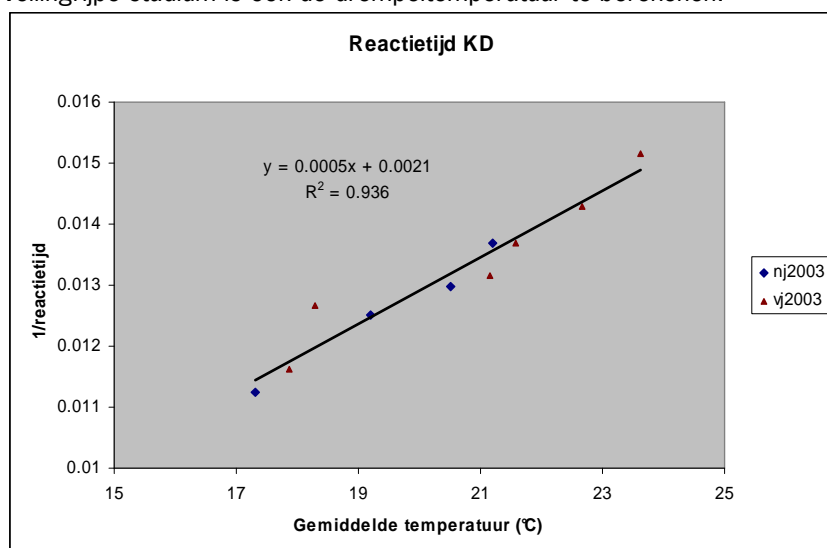
In de stuurproef van najaar 2003 was het helaas niet mogelijk om het bloeistadium gedurende de hele teelt door een zelfde, ervaren persoon te laten waarnemen. De geregistreerde bloeistadia 1 en 2 waren met zekerheid onjuist, en zijn daarom niet mee in aanmerking genomen bij het berekenen van de regressie van gesimuleerde op waargenomen bloeistadia. Met deze aanpassing blijken de gesimuleerde bloeistadia in de stuurproef redelijk goed overeen te komen met de geregistreerde gegevens (Figuur 14). In ieder geval wordt stadium 10 (veilingrijp) correct gesimuleerd.



Figuur 14- Regressie van de gesimuleerde waarden van het bloeistadium tegen de waargenomen waarden in de proef van najaar 2003. Voor verdere bijzonderheden zie de toelichting bij Figuur 2

3.2.3 Reactietijd

Een derde aspect van gewasontwikkeling dat kan worden gecontroleerd is de reactietijd. De generatieve ontwikkelingssnelheid kan worden berekend als $1 / \text{reactietijd}$ in dagen. In het ideale geval van perfecte temperatuurintegratie is deze snelheid recht evenredig met de gemiddelde temperatuur gedurende de korte dag periode. Door de regressie te berekenen van ontwikkelingssnelheid bij verschillende temperaturniveaus tegen de gemiddelde temperaturen tijdens de periode van begin korte dag tot aan het veilingrijpe stadium is ook de drempeltemperatuur te berekenen.

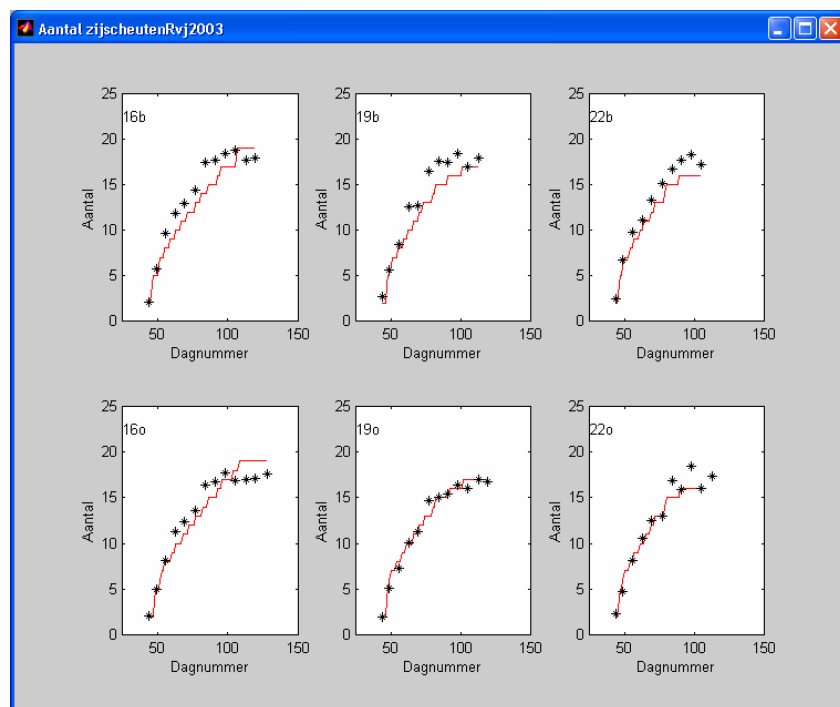


Figuur 15- Regressie van de snelheid van generatieve ontwikkeling ($1 / \text{reactietijd}$ in dagen) tegen de gemiddelde temperatuur tijdens de korte dag periode. Driehoekjes: gegevens uit de teelt met 3 temperaturniveaus en 2 lichtniveaus in het voorjaar van 2003; ruitjes: gegevens uit de stuurproef in het najaar van 2003. De vergelijking staat voor de gefitte regressie op de gecombineerde gegevens van de twee proeven; R^2 is het percentage variatie verklaard.

In Figuur 15 staan gegevens van de generatieve ontwikkelingssnelheid weergegeven uit de licht / temperatuurtrappenproef uit het voorjaar van 2003 en uit de stuurproef van najaar 2003. Het is duidelijk dat de gegevens van beide proeven netjes op dezelfde rechte lijn passen. Dit laat zien dat de reactiesnelheid van Kalanchoe in verschillende seizoenen en onder zeer contrasterende temperatuurregimes met de zelfde lineaire temperatuurfunctie kunnen worden beschreven. Als de drempeltemperatuur bekend is, kan de reactietijd (RT) van Kalanchoe dus met een eenvoudige graaddagenfunctie worden berekend. Op de gecombineerde data is een regressielijn gefit: $1 / RT = 0.000543 * T (^{\circ}C) + 0.002065$; $R^2 = 0.94$. De drempeltemperatuur kan worden berekend door het punt $1 / RT = 0$ te vinden. Dit blijkt bij $-3.8^{\circ}C$ te liggen. De temperatuursom voor de reactietijd is dan 1842 graaddagen, gerekend vanaf de drempeltemperatuur. Zeven van de 10 punten in Figuur 15 hebben betrekking op behandelingen waarin de temperatuur ongeveer even constant is gehouden als in de praktijk gebruikelijk is (alle gegevens uit de voorjaarsproef van 2003 en de praktijkreferentie uit de stuurproef van najaar 2003). De overige drie punten staan voor behandelingen waarin de temperatuur zeer extreem is gevarieerd, met etmaaltemperaturen van 14 tot $26^{\circ}C$ en binnen het etmaal ook nog een flinke bandbreedte. Dat de ontwikkelingssnelheid in al deze gevallen met de zelfde temperatuurfunctie kan worden beschreven is een zeer sterke aanwijzing dat Kalanchoe een bijzonder geschikt gewas is voor het toepassen van temperatuurintegratie.

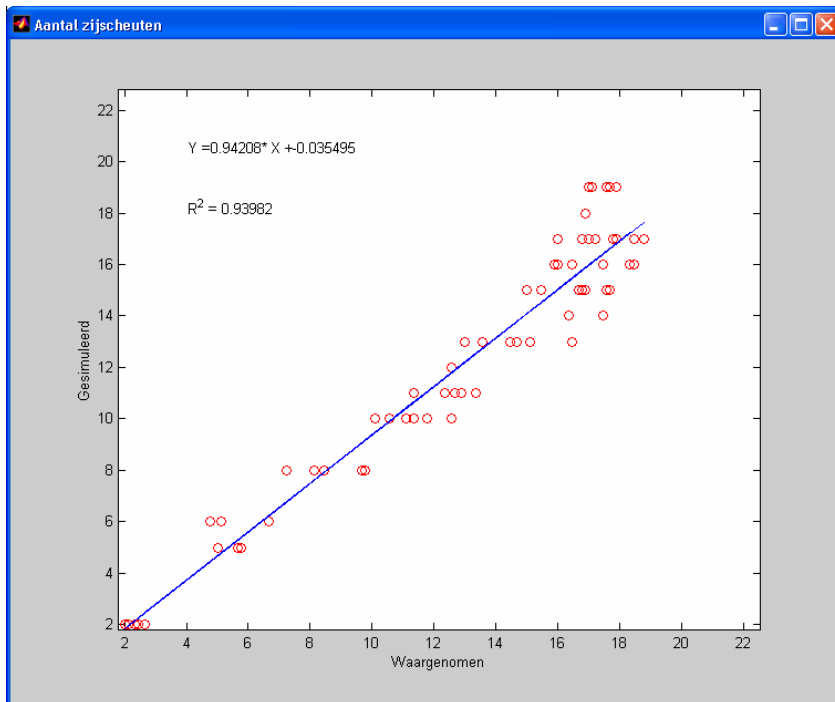
3.2.4 Vorming van zijscheuten

Een belangrijk onderdeel van het model is de functie die het uitlopen van zijscheuten beschrijft. Het model gaat uit van de vereenvoudigende aanname dat aan het begin van de teelt alle vegetatieve phytomeren al aanwezig zijn.

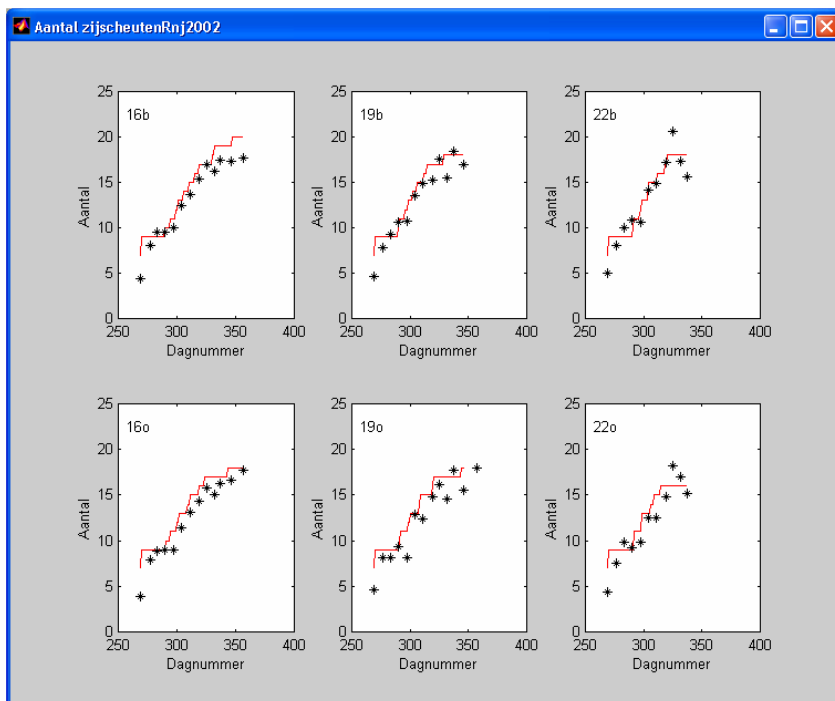


Figuur 16- Ontwikkeling in de tijd van het aantal zijscheuten geregistreerd (sterretjes) en gesimuleerd (lijn) in de proef van voorjaar 2003. Voor verdere toelichting zie het bijschrift bij Figuur 1.

Een phytomeer is een basiselement in de plantopbouw: een stuk stengel (internodium), een nodium met daaraan twee bladeren en twee okselknoppen. De jongste phytomeren blijven nog enige tijd onzichtbaar door hun microscopische afmetingen. Het model veronderstelt dat de plant een signaalstof maakt die het uitlopen van zijscheuten stimuleert. Aangenomen wordt dat de concentratie van deze stof evenredig is met de verhouding tussen de beschikbaarheid van assimilaten (source) en de vraag naar assimilaten voor groei en onderhoudsprocessen. Zo zal een plant meer geneigd zijn om zijscheuten te laten uitlopen naarmate de hoeveelheid beschikbare assimilaten ruimer is ten opzichte van de behoefte. De gevoeligheid van de okselknoppen voor dit signaal is afhankelijk van het ontwikkelingsstadium van het phytomeer waar ze bijhoren.



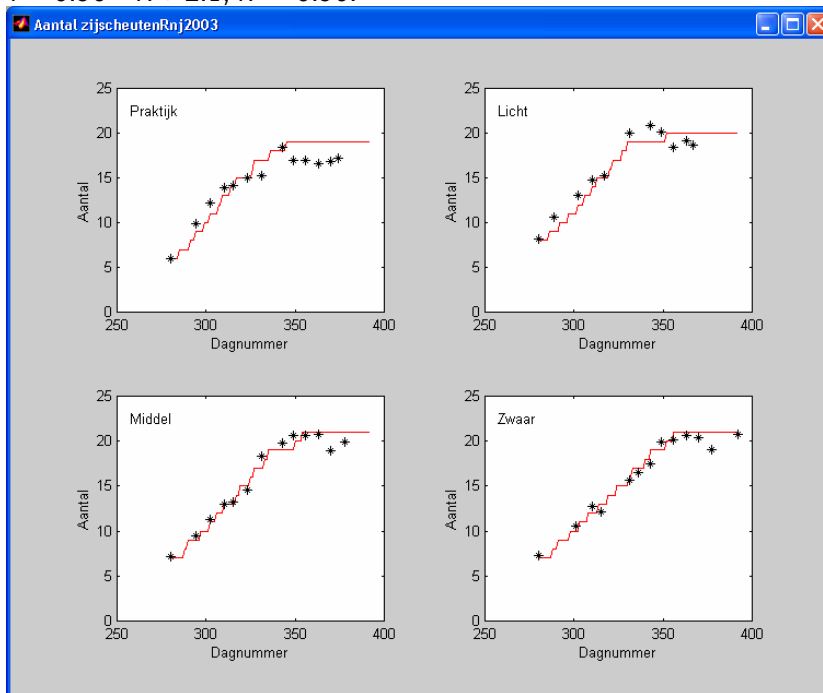
Figuur 17- Regressie van de gesimuleerde waarden van het aantal zij scheuten tegen de waargenomen waarden in de proef van voorjaar 2003. De gegevens corresponderen met die van Figuur 16. Voor verdere bijzonderheden zie de toelichting bij Figuur 2.



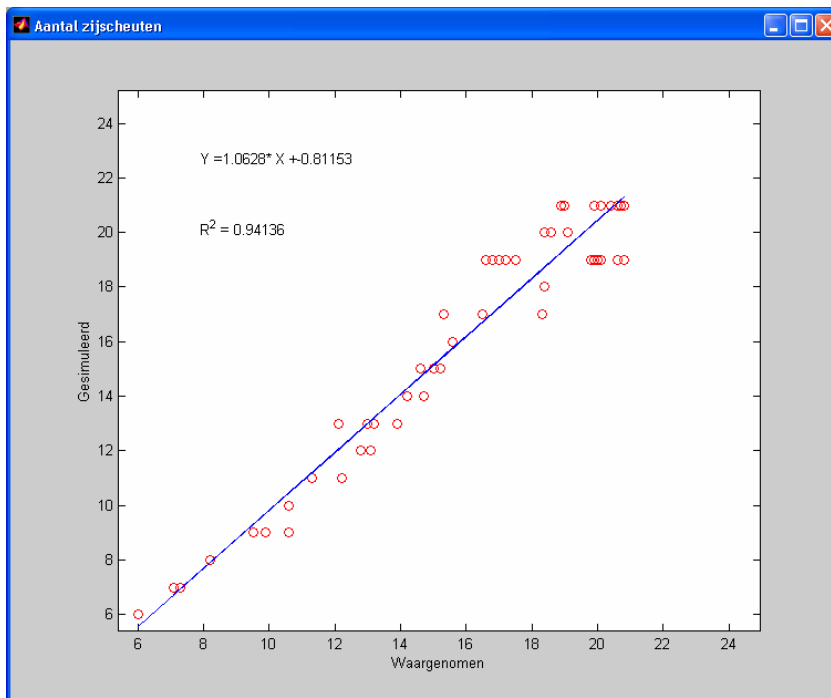
Figuur 18- Ontwikkeling in de tijd van het aantal zij scheuten geregistreerd (sterretjes) en gesimuleerd (lijn) in de proef van najaar 2002. Voor verdere toelichting zie het bijschrift bij Figuur 1.

Figuur 16 geeft het verloop van het aantal uitgelopen zij scheuten weer in de voorjaarsteelt van 2003. Het aantal uitgelopen zij scheuten nam in het begin van de teelt snel toe en vlakke later af. Het model rekt goed mee met deze trend. Met 11 phytomeren die aanwezig zijn in het stekje is 22 het maximum, maar dat wordt in geen van de licht / temperatuur behandelingen gerealiseerd. In deze proef zijn geen grote contrasten in aantallen zij scheuten ontstaan. Wel blijken de onbelichte planten bij 19 en 22°C minder zij scheuten te hebben gevormd. Er is sprake van een behoorlijk sterk verband tussen het waargenomen en het gesimuleerde aantal zij scheuten. Over het algemeen blijkt in deze proef het aantal met enkele procenten

te worden onderschat door het model, maar de eindwaarden blijken toch op het correcte niveau uit te komen (Figuur 17). Ook het verloop van het waargenomen aantal zij scheuten in de corresponderende proef van najaar 2002 wordt redelijk goed door het model nagerekend (Figuur 18). In dit geval waren de behandlungscontrasten iets groter. Bij zowel de belichte als de onbelichte planten, geteeld bij een setpoint van 22°C zijn in de weken voorafgaand aan de eindogst op onverklaarbare wijze meer scheuten geteld dan aan het eind. Bij belichte planten geteeld bij 16°C verwachtte het model meer zij scheuten dan uiteindelijk zijn geteld. In deze dataset komt de regressie van gesimuleerde tegen waargenomen zij scheuten uit op $Y = 0.90 * X + 2.1$, $R^2 = 0.90$.



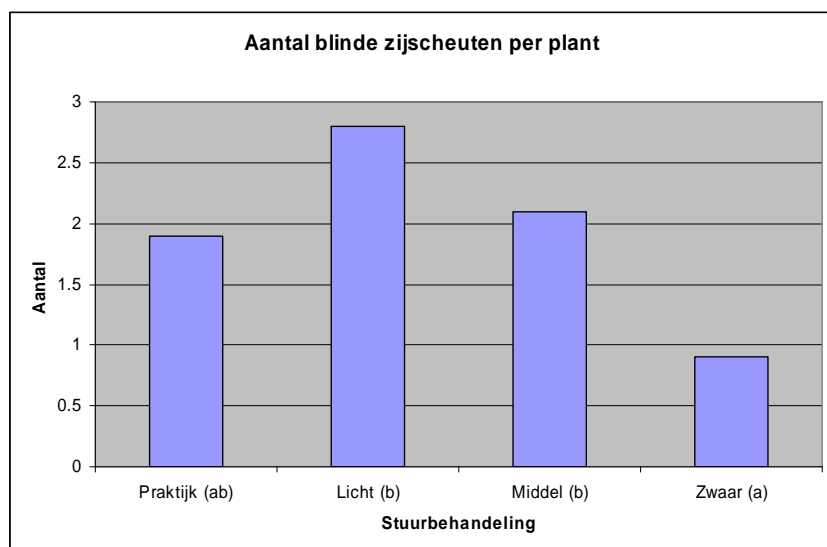
Figuur 19- Ontwikkeling in de tijd van het aantal zij scheuten geregistreerd (sterretjes) en gesimuleerd (lijn) in de stuurproef van najaar 2003. Voor verdere toelichting zie het bijschrift bij Figuur 5.



Figuur 20- Regressie van de gesimuleerde waarden van het aantal zij scheuten tegen de waargenomen waarden in de stuurproef van najaar 2003. De gegevens corresponderen met die in Figuur 19. Voor verdere bijzonderheden zie de toelichting bij Figuur 2

Wordt met het model met dezelfde parameterisering het uitlopen van zijscheuten in de stuurproef van najaar 2003 gesimuleerd dan blijkt het model de waargenomen ontwikkeling goed te volgen (Figuur 19). In de beginfase van deze proef is het extreem zonnig weer geweest waardoor alle zijscheuten uit de bladoksels die in die periode zichtbaar werden zijn uitgelopen. Dit is waarschijnlijk de reden dat de behandelingscontrasten minder groot zijn uitgekomen dan verwacht. Niettemin zijn in de stuurbehandeling die leidde tot een zware plantbalans uiteindelijk significant meer zijscheuten geteld. In deze proef blijkt de regressie van gesimuleerde tegen waargenomen gegevens zeer goed te zijn (Figuur 20).

Een aspect van de zijscheutvorming dat eigenlijk pas in de loop van de stuurproef duidelijk werd is dat niet altijd alle gevormde zijscheuten zich volledig ontwikkelen. Een aantal blijft relatief klein en komt niet tot bloei, of vormt veel minder bloemetjes dan een normaal ontwikkelde zijscheut. In de praktijk worden dit 'blinde' scheuten genoemd. Bij het tellen van de zijscheuten zijn deze onderontwikkelde scheuten meegeteld, terwijl ze eigenlijk geen bijdrage leveren aan de uitwendige kwaliteit (sierwaarde) van het gewas. Bij de eind oogst in de stuurproef van najaar 2003 zijn de blinde scheuten wel apart geteld, en inderdaad bleken de getelde aantallen goed te kloppen met de door het stuurmodel nagestreefde behandelingscontrasten (Figuur 21). Bij een eventuele verdere ontwikkeling van het model is dit een punt dat zeker aandacht verdient.

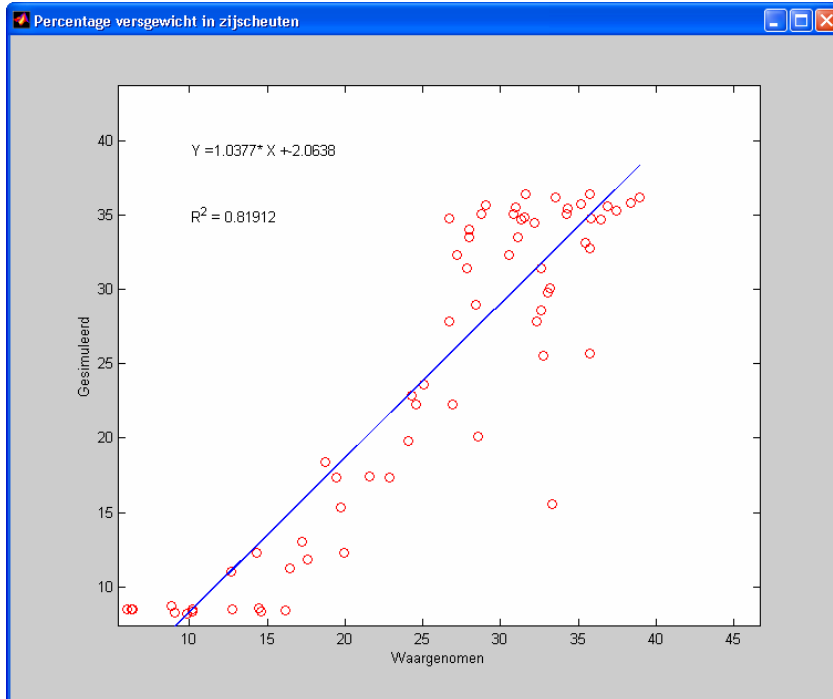


Figuur 21 - Aantal onderontwikkelde zijscheuten per plant in het veilingrijpe stadium in de stuurproef van najaar 2003. In de praktijkbehandeling werd het klimaat conform praktijk geregeld, licht, middel en zwaar zijn de niveaus van plantbalans die het stuurmodel nastreefde. Behandelingslabels gevolgd door de zelfde letter zijn statistisch niet significant verschillend.

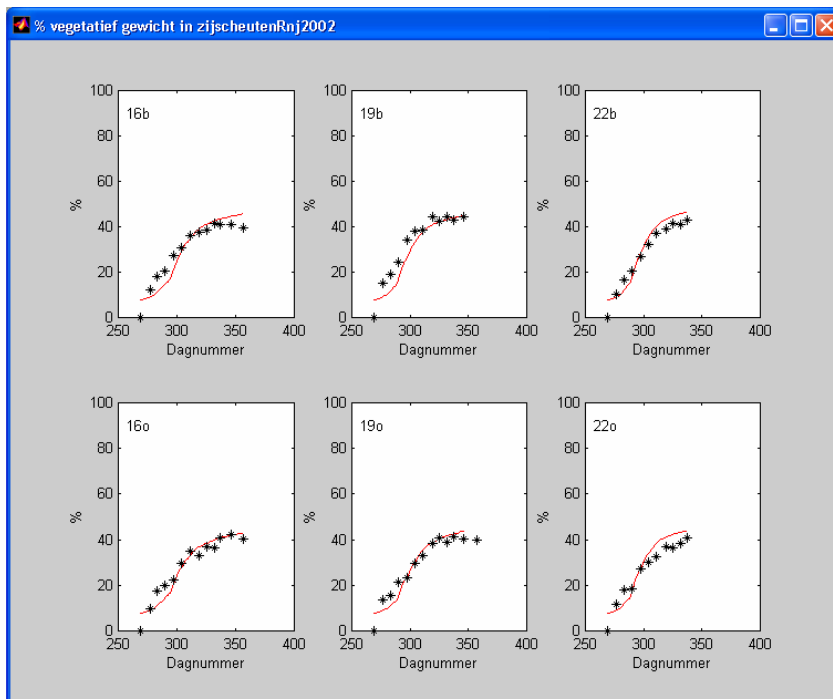
3.3 Verdeling van biomassa in de plant

Hoe de beschikbare biomassa in de plant wordt verdeeld is over het algemeen afhankelijk van de relatieve sinksterkte van de verschillende organen die op dat moment uitgroeien. De sinksterkte per orgaan wordt bepaald door de potentiële groei. De hoeveelheid assimilaten die een orgaan naar zich toe trekt wordt bepaald door de beschikbaarheid van assimilaten en door de snelheid waarmee het orgaan op dat moment kan groeien. Wanneer de uitgroeï van een orgaan niet wordt beperkt door de beschikbaarheid van assimilaten, dan zal de absolute gewichtstoename in de tijd over het algemeen een S-vormige kromme volgen. De assimilatenvraag van een jong orgaan is nog beperkt, ergens halverwege de ontwikkeling is de potentiële groei maximaal, en tegen de tijd dat de uitgroeï zijn voltooiing nadert neemt de assimilatenvraag voor groei weer af tot die uiteindelijk op nul uitkomt. Het eindgewicht van het betreffende plantendeel wordt bepaald door de integraal van de source / sink-afhankelijke dagelijkse groei. De uitgroeï van de verschillende plantendelen in het model voor Kalanchoe is ook op deze manier beschreven. Het model zoals gekalibreerd op de data in de voorjaarsproef van 2003 blijkt het aandeel biomassa in zijscheuten redelijk

goed te kunnen narekenen; de regressie van gesimuleerde tegen waargenomen data komt uit op $Y = 1.04 * X - 2.06$; $R^2 = 0.82$, waarbij de lage R^2 vooral wordt veroorzaakt door 1 afwijkende waarneming (Figuur 22). Verder blijkt het model het gewicht van de zij scheuten in jonge planten wat te onderschatten. Dit blijkt ook het geval te zijn wanneer de eerder uitgevoerde teeltproef van najaar 2002 wordt nagerekend (Figuur 23). Het relatieve gewichtsaandeel in de zij scheuten is aanvankelijk gering en komt uiteindelijk in de buurt van 40%, waarbij geen duidelijke behandelingseffecten zijn te zien. Waargenomen behandelingscontrasten wat betreft eindgewicht van de zij scheuten blijken dus vooral te maken te hebben met effecten van lichtniveau en teeltduur op het totaalgewicht van de plant. Voor deze dataset komt de regressie van gesimuleerde tegen waargenomen gegevens uit op $Y = 0.96 * X + 0.47$; $R^2 = 0.89$.

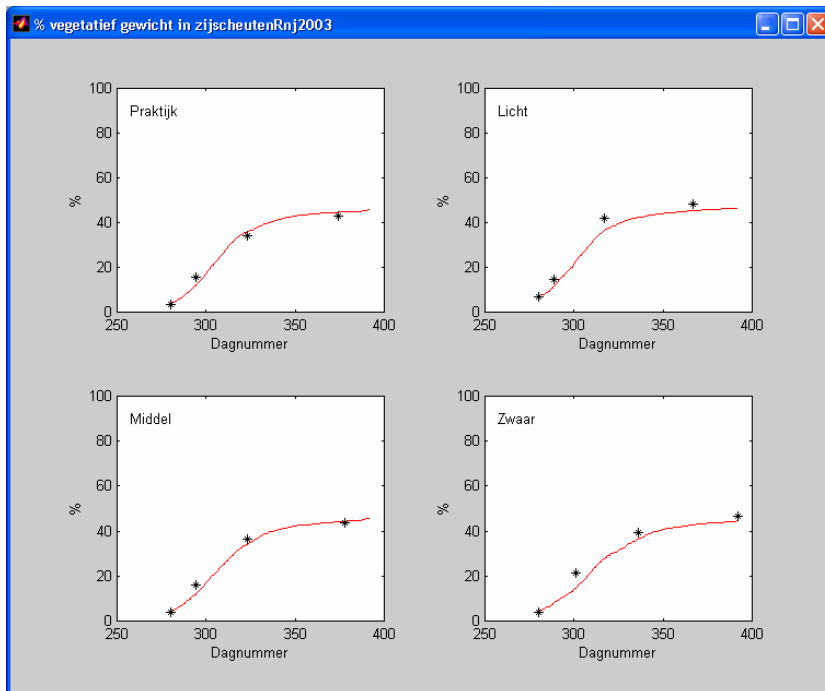


Figuur 22- Regressie van de gesimuleerde waarden van het percentage versgewicht van de gehele plant dat wordt vertegenwoordigd door de zij scheuten tegen de waargenomen waarden in de proef van voorjaar 2003. Voor verdere bijzonderheden zie de toelichting bij Figuur 2.

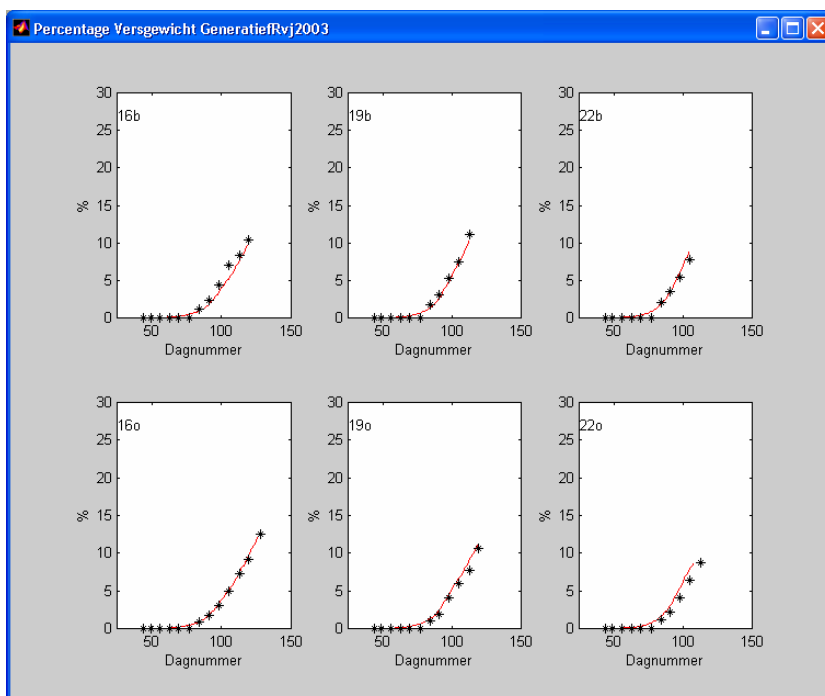


Figuur 23- Ontwikkeling in de tijd van het aandeel versgewicht in de zij scheuten (%), geregistreerd (sterretjes) en gesimuleerd (lijn) in de stuurproef van najaar 2003. Voor verdere toelichting zie het bijschrift bij Figuur 1.

Het model blijkt ook de allocatie van biomassa naar zij scheuten in de stuurproef van najaar 2003 behoorlijk goed te kunnen simuleren (Figuur 24). Het aandeel versgewicht in zij scheuten is ook in dit geval vrij constant, maar komt iets hoger uit (rond 43%) dan in de eerdere proeven. De kwaliteit van de simulatie is iets beter voor de referentiebehandeling dan voor de drie stuurbehandelingen, waar het gewichts-aandeel in de zij scheuten systematisch met enkele procenten blijkt te worden onderschat. Dit effect hangt samen met een overschatting van de groei van de hoofdscheut. De regressie van gesimuleerde percentages op waargenomen gegevens komt voor deze dataset uit op $Y = 0.93 * X - 0.30$; $R^2 = 0.98$.

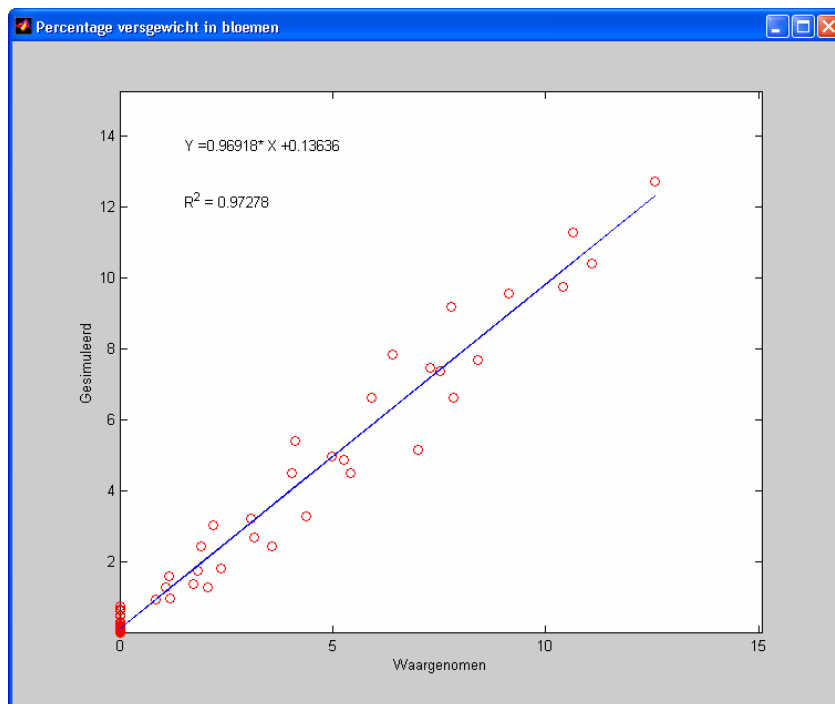


Figuur 24- Ontwikkeling in de tijd van het aandeel versgewicht in de zij scheuten (%), geregistreerd (sterretjes) en gesimuleerd (lijn) in de stuurproef van najaar 2003. Voor verdere toelichting zie het bijschrift bij Figuur 5.



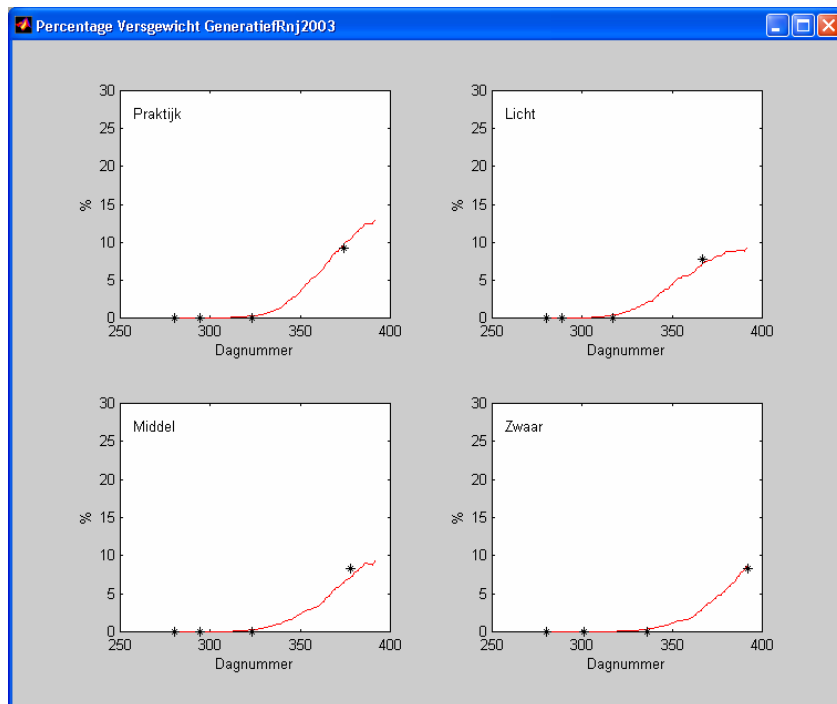
Figuur 25- Ontwikkeling in de tijd van het aandeel versgewicht in de bloenhoofdjes (%), geregistreerd (sterretjes) en gesimuleerd (lijn) in de proef van voorjaar 2003. Voor verdere toelichting zie het bijschrift bij Figuur 1.

Figuur 25 toont het verloop in de tijd van het aandeel biomassa dat de planten investeerden in bloemhoofdjes (%) in de licht / temperatuurproef van voorjaar 2003. De percentages liggen duidelijk lager in de planten die bij een temperatuursetpoint van 22°C werden opgekweekt. De verwachting was dat het aandeel bij 16°C het hoogst zou zijn, maar in ieder geval voor de belichte planten blijkt dit niet het geval te zijn. Een mogelijke verklaring kan zijn dat deze planten relatief veel vegetatieve biomassa hadden gevormd (Figuur 1), waardoor relatief hoge respiratielasten zijn ontstaan, waardoor in de laatste fase van de teelt, als de groei voornamelijk voor rekening van de bloemen komt, de beschikbare hoeveelheid biomassa werd beperkt. De overeenstemming tussen gesimuleerde en waargenomen percentages is voor deze dataset vrij goed: $Y = 0.97 * X + 0.14$; $R^2 = 0.97$ (Figuur 26).



Figuur 26- Regressie van de gesimuleerde waarden van het percentage versgewicht van de gehele plant dat wordt vertegenwoordigd door de bloemen tegen de waargenomen waarden in de proef van voorjaar 2003. Voor verdere bijzonderheden zie de toelichting bij Figuur 2.

Figuur 27- Ontwikkeling in de tijd van het aandeel versgewicht in de bloemen (%), geregistreerd (sterretjes) en gesimuleerd (lijn) in de stuurproef van najaar 2003. Voor verdere toelichting zie het bijschrift bij Figuur 5.



Wordt met hetzelfde model de verdeling van biomassa naar de bloemen in de stuurproef van najaar 2003 nagerekend, dan blijkt het eindniveau redelijk goed te worden gesimuleerd (Figuur 27). In de laatste fase van de teelt ontbreken tussentijdse waarnemingen, zodat over het verloop niet veel valt te concluderen.. Over het algemeen lag het gewichtsaandeel in van de bloemen in de stuurproef lager dan in de eerdere proef (Figuur 25). Het model volgt deze trend in principe goed, wat aangeeft dat het lagere aandeel geen afwijking is die door de sterk wisselende temperaturen werd veroorzaakt; de plant gedraagt zich volgens de regels die in het model zijn vastgelegd. De meest waarschijnlijke verklaring lijkt te zijn dat het een seizoenseffect betreft; pas in de laatste fase van de teelt investeert de plant het overgrote deel van de beschikbare assimilaten in de uitgroei van bloemen. Het zal dan zeker uitmaken of deze fase in de donkerste maanden december - januari valt (zoals in de stuurproef) of in de lichte maanden april - mei zoals het geval was in de voorjaarsteelt van 2003.

4 Discussie

4.1 Groei

Doel van dit project was om ruimte te vinden voor energiebesparing door toepassing van temperatuurintegratie en op dit principe gebaseerde optimaliserende klimaatregelaars. Die ruimte wordt gezocht in een koppeling van temperatuurintegratie aan het begrip planmatig telen. Hiervoor dient een verband worden gelegd tussen de lichtintegraal, de gewenste teelttemperatuur, het wijderzetschema en de eindspecificatie (in termen van afleverdatum en gewenste kwaliteit). Op grond van dit verband kan de tolerantie van het gewas voor tijdelijke afwijkingen in de totstandkoming van de licht- en temperatuurintegraal worden gekwantificeerd. Verondersteld wordt dat deze tolerantie de optimaliseringsruimte bepaalt die beschikbaar is voor geavanceerde energiezuinige klimaatregelaars. Kwantitatieve informatie over integratieruimte en grenswaarden zal het voor de teler ook eenvoudiger maken om temperatuurintegratie te integreren in de totale bedrijfsvoering en om maximaal gebruik te maken van de mogelijkheden voor energiebesparing die een integrerende klimaatregelaar biedt. In het rapport Definitiestudie is de veronderstelling uitgewerkt dat de grenswaarden voor temperatuurintegratie waarschijnlijk vooral worden bepaald door effecten van het toelaten van temperatuurafwijkingen op de haalbaarheid van het teeltdoel (gewenste einddatum van de teelt plus bepaalde kwaliteitsspecificaties) en minder door een directe verstoring van de primaire fysiologische processen zoals biomassa-productie of bloei-inductie en realisatie. Het resultaat van de in dit verslag beschreven toetsing, dat laat zien dat een model dat is gekalibreerd voor nagenoeg constante temperatuurcondities vrij goed in staat is om de het gedrag van Kalanchoe onder extreem wisselende temperatuurcondities te simuleren, bevestigt dat verstoring van primaire fysiologische processen in een breed temperatuurbereik inderdaad geen rol van betekenis speelt.

De eindspecificatie van een teelt wordt gesteld in termen van einddatum, eindgewicht en eindkwaliteit. Deze termen zijn op te vatten als de geïntegreerde resultaten van momentane fysiologische processen, zoals fotosynthese, ademhaling, uitgroei van organen, generatieve ontwikkeling, etc. Om het eindresultaat te beïnvloeden moet een teler in feite deze momentane processen zien te sturen. Heel dicht hier tegenaan ligt de vraag hoe deze momentaan verlopende processen reageren op temperatuurafwijkingen die de teler toelaat bij het geven van optimalisatieruimte aan klimaatregelaars die gebruik maken van temperatuurintegratie. Ook hier is de vraag welke invloed het verloop van een momentaan proces heeft op het eindresultaat. Een gewasmodel dat de meest relevante processen goed beschrijft kan een belangrijk hulpmiddel zijn bij het voorspellen van deze effecten.

Op het gebied van planmatig telen is eerder geprobeerd om de samenhang tussen groei, ontwikkeling en sierwaarde de verhouding tussen lichtniveau en teelttemperatuur als leidraad te nemen (de RRT-benadering; Liu & Heins, 1998). Het model dat eerder werd geformuleerd (Buwalda et al., 2004; Rapport 3: Gewasmodel) werd gekalibreerd op een dataset afkomstig uit een proef met zes licht / temperatuurcombinaties. Gezien de doelstelling van het project is ernaar gestreefd om het model zo eenvoudig en generiek mogelijk op te zetten, waarbij de RRT-benadering een belangrijke leidraad vormde. Ontwikkelingsprocessen werden daarom beschreven met behulp van eenvoudige graaddagenfuncties, groei werd evenredig verondersteld met het lichtniveau in de kas. Een verfijning die ten opzichte van de RRT-benadering al was doorgevoerd is dat de groei werd berekend op basis van geabsorbeerd licht, waarbij dus rekening werd gehouden met plantgrootte en het plantverband op de teelttafel. Dit model gaf bij calibratie op de dataset van voorjaar 2003 goede simulatieresultaten wat betreft de groei. Bij toetsing op een vergelijkbare dataset uit najaar 2002 bleek echter een verdere verfijning van het model noodzakelijk te zijn omdat het beschikbare licht in de donkere najaarsperiode met een hogere efficiëntie werd benut dan het overvloedige licht in het voorjaar. Met behulp van een exponentiële lichtresponscurve bleek het wel mogelijk te zijn om met hetzelfde model in verschillende seizoenen goede resultaten te behalen. Over het algemeen

bleek het groeimodel dus redelijk goed in staat om onder zeer verschillende omstandigheden het verloop van het versgewicht in de teelt te berekenen. Het temperatuurniveau tijdens de teelt maakte daarbij niet uit, evenmin als de temperatuurfluctuaties, die tijdens de eerste twee teelten vrij gering waren en in de laatste teelt juist zeer groot (14 - 30°C). Wat betreft de groei kan worden geconcludeerd dat Kalanchoe bijzonder ongevoelig is voor wisselende temperaturen, en daarmee in principe zeer geschikt is voor het toepassen van temperatuurintegratie.

Een van de punten in de modelontwikkeling die in de toekomst nog nadere aandacht behoeven is het wijderzetten. De dagelijks beschikbare hoeveelheid licht per plant is gemodelleerd als een verzadigingsfunctie van het versgewicht, waarbij het maximumniveau wordt bepaald door het oppervlak dat voor een individuele plant in het gehanteerde wijderzetschema beschikbaar is. Als getallenvoorbeeld: bij een plantdichtheid van 40 potten per m² en een dagelijkse lichtsom van 4 mol PAR m⁻² d⁻¹ kan een individuele plant maximaal 0.1 mol PAR-licht per dag opnemen. De verzadigingsfunctie is zo gekalibreerd dat een plant van 23 g(vers) 50% van het beschikbare licht opvangt. Strikt genomen klopt dit niet helemaal, omdat op deze manier de invloed van het wijderzetschema op het lichtonderscheppend vermogen van de plant eigenlijk iets te sterk is. In de teelt uitgevoerd in het najaar van 2002 is wat later wijdergezet dan in de praktijk gebruikelijk is, terwijl in de najaarsteelt van 2003 juist relatief wat eerder is wijdergezet dan in de praktijk. De teelt van het voorjaar 2003 zat daar wat dat betreft tussenin. De kleine afwijkingen in het begin van de berekende groeicurve die zijn gebleken (Figuur 1, Figuur 3, Figuur 5), waarbij de gesimuleerde groei in de teelt van najaar 2002 iets te laat op gang kwam, terwijl in de teelt van najaar 2003 het plantgewicht in de eerste helft van de teelt juist iets werd overschat, zijn precies in overeenstemming met het feit dat het wijderzetschema een iets te grote invloed had op de lichtbeschikbaarheid van onvolgroeide planten. Zodra de planten wat groter worden vangen ze meer en meer van het beschikbare licht op en neemt de invloed van de geconstateerde afwijking af tot nul.

4.2 Begincondities

Een algemeen probleem met dynamische gewasmodellen is de onzekerheid met betrekking tot de gewastoestand aan het begin van de simulatie. Het begingewicht van een beworteld stekje is vrij nauwkeurig te bepalen, maar het model heeft in de berekeningen ook informatie nodig die moeilijker meetbaar is, zoals het aantal phytomeren dat al is aangelegd in het groeipunt, het ontwikkelingsstadium per phytomeer en de hoeveelheid signaalstoffen voor zijscheutvorming die de okselknoppen aan het begin van de teelt al bevatten. In deze simulaties is voor alle teelten gerekend op basis van de zelfde gestandaardiseerde toestand van het uitgangsmateriaal. Er is dus niet per teelt aan deze veronderstellingen geoptimaliseerd om de simulaties beter kloppend te krijgen. Er zijn twee oorzaken aan te wijzen die mogelijk effect hebben gehad op de toestand van het uitgangsmateriaal: het stek dat is gebruikt in de beide najaarsteelten was onder zomerse omstandigheden van de moerplant geplukt, terwijl het materiaal voor de voorjaarsteelt onder winterse condities was gekweekt. Verder is in de loop van de teelt in het najaar van 2003 gebleken dat het gebruikte stek afkomstig was van oude moerplanten. Dit zou mogelijk ook een deel van de wat vertraagde groei in het begin van de teelt kunnen verklaren. Bij de bloei bleken deze planten overigens veel chimeren te vormen (vergroeiende dubbele bloemhoofdjes), wat volgens telers typerend is voor uitgangsmateriaal afkomstig van te oude moerplanten. Omdat in alle gevallen de groei toch vrij goed kon worden gesimuleerd met een en het zelfde model, kan worden geconcludeerd dat de invloed van de fysiologische toestand van het stekmateriaal op de groei hooguit vrij beperkt is.

4.3 Ontwikkeling

Ontwikkelingsprocessen worden in het model beschreven door graaddagenfuncties. De achterliggende

aanname is dat de ontwikkelingssnelheid recht evenredig is met de temperatuur. Deze eenvoudige aanname is in het hier gerapporteerde onderzoek bevestigd. Doorgaans wordt er bij deze benadering rekening gehouden met een drempeltemperatuur, waar beneden het betreffende ontwikkelingsproces stil staat. Alleen het deel van de gemiddelde dagtemperatuur dat boven de drempelwaarde uitkomt telt dan mee (Summerfield, 1994). Het kalanchoemodel is oorspronkelijk zo gekalibreerd dat de jongste nodia in de hoofdscheut, die in het model beginnen met ontwikkelingsstadium 0, in de loop van een normale teelt net helemaal uit kunnen groeien. Vanwege het gegeven dat de plant oorspronkelijk afkomstig is uit gebieden waar extreme temperaturen kunnen optreden, is de drempeltemperatuur voor ontwikkelingsprocessen op 0 gesteld. Bij een veronderstelde uitgroeiduur van 90 dagen bij 20°C komt de temperatuursom voor uitgroei uit op 1800 graaddagen. Wat betreft de reactietijd in de korte dag bleken de temperatuursom en drempeltemperatuur in dezelfde ordegrootte te liggen; de berekende temperatuursom bedroeg 1842 graaddagen; de drempelwaarde bleek op -3.8°C te liggen. Het feit dat datapunten uit een teelt met constante temperaturen op precies de zelfde lijn bleken te liggen als die uit een proef met extreme temperatuurswisselingen toont aan dat de ontwikkelingssnelheid van Kalanchoe in een zeer breed temperatuurbereik inderdaad eenvoudig recht evenredig is met de temperatuur. De gegevens wat betreft uitgroei van internodien waren hiermee in overeenstemming. Wat betreft het doorlopen van de bloeistadia: deze stadia zijn ooit eens ontworpen door de periode vanaf het zichtbaar worden van de eerste gaafrandige generatieve blaadjes tot aan het veilingrijpe stadium in 10 gelijke delen te verdelen. Wat betreft de dataset afkomstig uit voorjaar 2003 bleek deze beschrijving tot stadium 10 vrijwel perfect. Het doorlopen van stadium 10 - 12 (volle bloei) blijkt sneller te gaan en daarom buiten dit verband te vallen. Wat betreft het toetsen van het modelonderdeel voor bloeistadium op de data uit de stuurproef van najaar 2003 kan niet veel meer worden geconcludeerd dan dat de gegevens een hoop ruis bevatten en daardoor geen ordelijk lineair verloop laten zien, maar dat stadium 10 toch zeer nauwkeurig werd voorspeld. Op zich is dit het enige stadium dat ook door een ongeofende waarnemer accuraat kan worden vastgesteld: de plant heeft dan precies drie open bloementjes. Geconcludeerd wordt dat de correctheid van de functies voor ontwikkelingssnelheid in het model door deze toetsing redelijk stevig is bevestigd.

4.4 Uitlopen van zijzscheuten en verdeling van biomassa in de plant

Wat betreft het uitlopen van zijzscheuten, de gewichtsverdeling over hoofdscheut en zijzscheuten en de hoeveelheid biomassa die in de bloemhoofdjes terecht kwam bleek het model behoorlijk goed in staat om de waargenomen trends in de verschillende proeven te simuleren. Het in het model veronderstelde verband tussen groei, ontwikkeling en uitwendige kwaliteit lijkt plausibel, maar is niet onomstotelijk aangetoond. De correctheid van de principes waarop het model is gebaseerd is hiermee redelijkerwijs bevestigd, en in ieder geval niet verworpen. Helaas bleken in de stuurproef van najaar 2003 de behandlungscontrasten geringer te blijven dan bedoeld. Dit is voor een belangrijk deel te wijten aan pech: in begin proef viel een vrij langdurige zonnige periode, waardoor vooral de nagestreefde lichte plantbalans niet kon worden gerealiseerd. Hierdoor zijn bij deze behandeling onbedoeld toch alle lager gelegen zijzscheuten uitgelopen. Over het algemeen is toch een belangrijk resultaat dat sterke temperatuurswisselingen niet uit blijken te maken voor de uitgroei van zijzscheuten en de verdeling van biomassa in de plant. Ook op dit punt is er dus bij Kalanchoe sprake van veel ruimte voor temperatuurintegratie.

Een belangrijk nieuw gegeven is dat het aantal zijzscheuten dat onderontwikkeld blijft ('blinde' scheuten) een duidelijk verband bleek te houden met de nagestreefde plantbalans. Dit is een aspect dat in eerdere proeven onopgemerkt is gebleven en daardoor momenteel niet expliciet in het model is beschreven. Kennelijk reageert de plant dus niet altijd zo zwart-wit dat een zijzscheut ofwel volledig uitgroeit of helemaal wordt overgeslagen. Of hier sprake is van een gedeeltelijke abortie of dat concurrentieverhoudingen om assimilaten de doorslaggevende rol spelen is mogelijk een interessant onderwerp voor een vervolgstudie. Duidelijk is dat 'blinde' scheuten, net als scheuten die helemaal worden overgeslagen, een belangrijke rol in negatieve zin spelen bij de bepaling van de sierwaarde (gevuldheid) van de plant.

Verdere toetsing van het model kan in principe in relatief eenvoudige proeven plaatsvinden, mogelijk zelfs op praktijkbedrijven, op basis van snoeioproeven. In dit type proeven kan de verhouding tussen assimilatenbeschikbaarheid en assimilatenvraag in elk gewenst ontwikkelingsstadium worden gemanipuleerd door middel van het verwijderen van bladeren, bloemknoppen of zijscheuten. Verder kan dit type proefopzet worden gebruikt om in detail de uitgroeicurves van verschillende onderdelen te controleren door middel van regelmatig destructief te oogsten in combinatie met allometrische bepalingen.

Literatuur

- Buwalda F., 2003. Grenswaarden voor temperatuurintegratie. Een definitiestudie. PPO GT 12053
- Buwalda F., C.J.T.J. Jillessen, P.H.J. Korsten D. Zonnenberg and F. van Noort, 2004. External Quality and Timing of Flowering Pot Plants - Modelling Side Shoot Emergence and Biomass Partitioning to Flowers of Kalanchoe. Acta Hort 654: 45-54.
- Heuvelink, E. (1996). Tomato growth and yield: quantitative analysis and synthesis. Proefschrift, Landbouwniversiteit Wageningen.
- Körner, O. (2003). Crop based climate regimes for energy saving in greenhouse cultivation. Proefschrift, Wageningen Universiteit.
- Lee, J.H. (2002). Analysis and simulation of growth and yield of cut chrysanthemum. Proefschrift, Wageningen Universiteit.
- Liu & Heins, 1998 Modeling poinsettia vegetative growth and development: the response to the ratio of radiant to thermal energy. Acta Hort. 456: 133-142.
- Summerfield, R.J. Roberts, E.H. Ellis, R.H. Lawn, R.J. (1991) Towards the reliable prediction of time to flowering in six annual crops. I. The development of simple models for fluctuating field environments. Exp. Agric. 27: 11-31.