



# Oogstvoorspeller Paprika

Ontwikkeling van een model en internetapplicatie voor  
teeltregistratie en aanvoervoorspelling bij Paprika

Fokke Buwalda

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.  
Sector Glastuinbouw  
maart 2004

© 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 onderzoek is mogelijk gemaakt door:



PT projectnummer: 11240

PPO Projectnummer: 41600066

**Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.**

Sector Glastuinbouw

Adres : Bornsesteeg 47, Wageningen  
: Postbus 167, 6700 AD Wageningen  
Tel. : 0317 - 47 83 00  
Fax : 0317 - 47 83 01  
E-mail : [info@ppo.dlo.nl](mailto:info@ppo.dlo.nl)  
Internet : [www.ppo.dlo.nl](http://www.ppo.dlo.nl)

## Voorwoord

Voor u ligt het eindverslag van het project 'Oogstvoorspeller Paprika'. Helaas is het project beëindigd voordat het heeft geleid tot een toepasbare en volledige applicatie voor telers in de praktijk.

Het project was complex van structuur omdat het succes afhing van een optimale interactie tussen drie partijen van heel verschillend karakter: onderzoekers, een commercieel bedrijf (LetsGrow.com) en een testgroep van paprikatelers. Uiteindelijk is mijn indruk achteraf dat het onvoldoende is gelukt om deze communicatie over en weer adequaat te laten verlopen. Alle drie de partijen begonnen aan het project met een voorgeschiedenis: als onderzoeker had ik op basis van voorafgaand werk al verschillende conceptmodellen ontwikkeld, die uitgingen van bepaald idee over hoe een model zou kunnen worden gebruikt ten behoeve van oogstvoorspelling, bij LetsGrow.com bestond al ervaring met oogstvoorspelling tomaat (een gewas dat op essentiële punten behoorlijk verschilt van de paprika), terwijl de testgroep al ervaring had met teeltregistratie en aanvoersvoorspelling op basis van andere systemen zoals ProZet en het registratiesysteem van The Greenery. Wat hierbij heel slecht heeft gewerkt is dat het project niet voorzag in rechtstreeks contact tussen mij als ontwikkelaar van het model en de gebruikersgroep, waardoor het registratiesysteem dat in dit project is opgezet niet goed aansloot bij de bestaande praktijk. Dit heeft ertoe geleid dat het nieuw te ontwikkelen systeem, dat eigenlijk nog niet goed werkte, moest concurreren met het bestaande dat in de ogen van de gebruikers al redelijk goed voldeed.

Het productieverloop bij paprika kan zeer dynamisch zijn, en om de processen in het gewas die deze dynamiek veroorzaken goed in een mechanistisch gewasmodel te kunnen beschrijven moest een heel nieuw stuk theorie worden ontwikkeld, omdat op essentiële punten de voorbeelden van klassieke mechanistische gewasmodellen niet goed voldeden. Verder is de noodzaak gebleken om meer aandacht te besteden aan waarnemingsfouten en ruis in de gegevens dan aanvankelijk was geraamd. Ook zijn helaas pas in een zeer laat stadium van het project datasets van de bedrijven die deelnamen aan een testgroep beschikbaar gekomen op basis waarvan de ontwikkelde modellen konden worden getoetst.

In de loop van de eerste teelt van de testgebruikers is het hierdoor helaas niet gelukt om het nieuwe model en de implementatie daarvan te ontwikkelen tot een stadium dat het zijn nut kon bewijzen. Aan de kans van de gebruikers ontstond gaandeweg steeds meer de indruk dat ze te weinig begeleiding kregen en dat er op hun feedback niet adequaat werd gereageerd. Voor mij als PPO-onderzoeker was er echter absoluut geen sprake van onwil; de realiteit was dat, in het vergevorderde stadium van het project waarin dit commentaar mij heeft bereikt, de projectplanning en de nog besteedbare uren het niet meer toelieten om nog fundamentele aspecten van de oogstvoorspeller te wijzigen.

Uiteindelijk heeft de gang van zaken dus geleid tot een betreurenswaardige, maar wel verklaarbare, vertrouwensbreuk die helaas aanleiding is geweest tot een voortijdig einde aan het project.

Niettemin heeft het project een hoop nuttige ervaring opgeleverd, en zijn op zich goed bruikbare gewasmodellen en routines voor registratie en dataverwerking gebouwd. Het lijkt goed mogelijk om deze elementen opnieuw te gebruiken in een registratie / voorspellingssysteem dat qua opzet beter aansluit bij de gangbare praktijk. Een basisvoorwaarde voor elk initiatief in deze richting blijkt te zijn dat het betere nooit de vijand mag zijn van het goede...

Fokke Buwalda,  
Wageningen, maart 2004.

# Inhoudsopgave

	pagina
1 SAMENVATTING	5
2 INLEIDING, DOELSTELLING EN PLAN VAN AANPAK	6
2.1 Probleemstelling	6
2.2 Bestaande kennis	6
2.3 Plan van aanpak	7
2.4 Randvoorwaarden	7
2.5 Te verwachten resultaten	7
3 RESULTATEN	8
3.1 Definitie registraties	8
3.2 Een samenvatting van de reacties uit de gebruikersgroep	11
4 VOORBEREIDEND WERK - UITGROEIDUUR	13
4.1 Inleiding	13
4.2 Theorie	13
4.3 Toepassing van de methode op een bestaande dataset bij paprika	15
4.4 Een dataset voor het ras Fiësta (van den Berg et al., 2001)	18
4.5 Discussie	21
5 PEPSIM1.0	22
5.1 Beschrijving van het model voor uitgroei duur van vruchten	22
5.2 Organisatie van het model	22
5.3 Resultaten	24
6 PEPSIM2.1	26
6.1 Beschrijving van het simulatiemodel voor uitgroei duur van vruchten en vruchtgewicht	26
6.2 Organisatie van het model	26
6.3 Resultaten	28
6.4 Discussie	31
7 PEPSIM 3.1	32
7.1 Beschrijving van het model	32
8 PEPSIM 4.1	39
8.1 Rekenen op basis van wekelijkse invoer	39
8.2 Organisatie van het model	39
8.3 Dialoog met de gebruiker	42
9 EVALUATIE KWALITEIT VOORSPELLING TE OOGSTEN AANTALLEN VRUCHTEN PER WEEK MET VERSCHILLENDE VERSIES VAN DE OOGSTVOORSPELLER PAPIKA	48
9.1 Testprocedure	48
9.2 Resultaten	49
9.3 Discussie	52
10 ALGEMENE DISCUSSIE EN AANBEVELINGEN	53
BIJLAGE 1 - PRODUCTONTWIKKELING	54
BIJLAGE 2 - GEBRUIKTE DATASETS	55

# 1 Samenvatting

Dit project had tot doel om op basis van een systeem voor teeltregistratie en een modelmatige beschrijving van de bepalende gewasfysiologische processen een oogstvoorspeller te ontwikkelen voor paprika, en deze te implementeren via Internet in samenwerking met het teeltadviesbureau LetsGrow.com. Gestreefd werd naar het aanbieden van een applicatie via internet voor prognose van in de komende weken te oogsten aantallen en kilo's vruchten, gemiddeld vruchtgewicht en te verwachten vruchtzetting. Er was voorzien in een gefaseerde implementatie: eerst het registratiesysteem, daarna aantallen vruchten, vervolgens versgewicht van de productie, en tenslotte vruchtzetting.

Het hier voorliggende rapport beschrijft de vier opeenvolgende versies van het gewasmodel dat door PPO is ontwikkeld ten behoeve van deze prognose. De eerste versie voorspelt uitgroei duur, de tweede het oogstgewicht erbij, terwijl de derde versie zich vooral onderscheidde door een betere integratie en calibratie van de afzonderlijke deelprocessen. Bij de vierde versie lag de nadruk op praktische aspecten en het vergroten van de nauwkeurigheid. Er is er een routine voor het wekelijks binnenhalen en bewerken van registratiegegevens ontwikkeld, waarbij weekgegevens werden geclusterd tot zetsels, en waarbij op basis van gemiddeld weer enkele weken vooruit kon worden gerekend. Binnen het kader van dit project is het niet mogelijk gebleken om een module voor de voorspelling van vruchtzetting te ontwikkelen die aan de gestelde nauwkeurigheidseisen voldeed.

## 2 Inleiding, doelstelling en plan van aanpak

### 2.1 Probleemstelling

Bij de teelt van paprika worden telers geconfronteerd met wisselingen in vruchtzetting waardoor schommelingen in verhouding tussen vegetatieve delen en vruchten (plantbalans) optreden. Oogstvoorspelling op langere termijn (4-10 weken) wordt hierdoor sterk bemoeilijkt, terwijl dit vanuit planningsoverwegingen zeer wenselijk zou zijn. Uit lopend onderzoek (temperatuurintegratie paprika) blijkt dat via het zogenaamde RRT stuurmodel (waarin onder meer stralings- en temperatuursommen opgenomen zijn) de plantbalans beïnvloed kan worden. Uit de informatie die dit model levert gedurende lopende proeven kan voor elke plantbalans direct een temperatuursetpoint met bandbreedte worden afgeleid voor integrerende klimaatregelaars (deze waarden blijken te fluctueren). In principe kan het model echter ook worden gebruikt om een oogstvoorspelling te doen. Het model berekent de uitgroei duur van vruchten op basis van temperatuursommen. Voor de geldende instellingen van de klimaatcomputer, en gebruik makend van de weersverwachting en gegevens over het langjarig gemiddeld klimaat, kan een verwachting van de accumulatie van graaddagen worden berekend. Hiermee kan op basis van de geregistreerde zetting een aanvoersvoorspelling worden berekend voor de komende 6 - 8 weken, afhankelijk van de uitgroei duur van de vruchten. Omgekeerd kan de voorspelfunctie ook worden gebruikt om van tevoren een indicatie te krijgen van te verwachten effecten van bepaalde klimaatinstellingen (o.a. ook toepassing van temperatuurintegratie) op het aanvoerverloop. Het systeem kan worden uitgebreid met functies voor assimilatie en allocatie van biomassa, om tevens een schatting te krijgen van de productie in kg vruchten  $m^2$  en het gemiddeld vruchtgewicht. Een tweede mogelijke uitbreiding is het voorspellen van de vruchtzetting op basis van het concept plantbalans. Hierdoor wordt het in principe mogelijk om nog verder vooruit te voorspellen, en ook om een periode met moeilijke zetting van tevoren te zien aankomen.

Het systeem kan zo worden opgezet dat ingevoerde registratiegegevens in de loop van de teelt al worden verwerkt om het achterliggende model voor het betreffende bedrijf en ras te valideren, zodat de betrouwbaarheid van de voorspellingen inzichtelijk wordt en geleidelijk toeneemt. Omdat veel telers al gewend zijn het grootste deel van de benodigde informatie te verzamelen voor bestaande registratie en planningsdiensten zoals Groeinet en Prozet en de teeltvoorspeller tomaat van Letsgrow.com leek er een goede kans op acceptatie door de praktijk aanwezig.

### 2.2 Bestaande kennis

Uit de literatuur is redelijk veel bekend over gewasgroei bij paprika en de modellering daarvan. Door PPO zijn in de loop van een eerder project twee modellen voor paprika ontwikkeld: een eenvoudig model voor de plantbalans en een relatief complex dynamisch model voor zetting, uitgroei duur en productie. Voor de oogstvoorspeller zijn enkele elementen uit het dynamische model worden gecombineerd met het plantbalansmodel. Gestreefd werd naar het meest eenvoudige en robuuste model waarmee voldoende voorspellende kracht kon worden bereikt. De uiteindelijk benodigde combinatie van elementen kon pas in de loop van het project worden bepaald aan de hand van tussentijdse toetsing van het functioneren van de oogstvoorspeller.

Bij de start van het project 'oogstvoorspeller Paprika' was door PPO in samenwerking met Letsgrow.com al ervaring opgedaan met oogstvoorspelling bij tomaat via internet. In korte tijd is hierbij gebleken dat een relatief groot aantal gebruikers deze oogstvoorspelling gebruikt c.q. uittest. Beoogd werd om van deze ervaring gebruik te maken bij het ontwikkelen van de oogstvoorspeller paprika.

## 2.3 Plan van aanpak

Doel was te komen tot een oogstvoorspeller op basis van gedetailleerde gewasgegevens in combinatie met klimaatgegevens. Deze gegevens konden worden gebruikt voor het kalibreren van het model. In fase 1 werd een eerste versie van de oogstvoorspeller op basis van uitgroeiduur in relatie tot temperatuursommen ontworpen. Gedurende en na afloop van fase 1 is intensieve overlegd met Letsgrow.com over de (on)mogelijkheden van het model, en welke marges getolereerd zouden kunnen worden.

In fase 2 van het project zou modelversie 1 worden getoetst op onafhankelijke data verkregen op tientallen praktijkbedrijven met een verscheidenheid aan teelten (rood, groen, geel). Gedurende deze fase heeft Letsgrow.com de dataverzameling via internet beschikbaar gemaakt voor PPO en tevens zorg gedragen voor de begeleiding van de bedrijven. Uit deze gegevens zou moeten blijken in hoeverre de door Letsgrow.com gewenste nauwkeurigheid gehaald kon worden.

Naast versie 1 van het model was het de bedoeling om een versie 2 van het model bij een aantal bedrijven te laten meelopen. Deze versie van het model zou, behalve de aanvoerspelling in stuks, voorzien in het voorspellen van de productie in kg per m<sup>2</sup> per week. Tevens was er een derde versie voorzien die naast de oogstvoorspelling ook vruchtzetting kon voorspellen op basis van teeltregistraties en klimaatgegevens.

## 2.4 Randvoorwaarden

Letsgrow.com formuleerde de eisen te stellen aan versie 1 en 2 als volgt:

Voorspelling op dagbasis van de oogst voor minimaal de komende vier weken voor zowel groene paprika als gekleurde. De voorspelling bestaat uit aantal vruchten per m<sup>2</sup>, gemiddeld vruchtgewicht en totale productie per m<sup>2</sup>.

- Beperkte hoeveelheid initiële parameters bij start van de teelt.
- Alle in te voeren parameters en registratiegegevens moeten eenvoudig te bepalen zijn.
- Het minimale registratie-interval is een dag (24 uur).
- Het aantal te registreren gegevens moet tot een minimum worden beperkt.
- De in te voeren parameters mogen geen rasspecifieke gegevens bevatten.
- De betrouwbaarheid onder normale omstandigheden moet bij een juist gebruik van het product en bij kwalitatief goede registratie minimaal 95% bedragen.
- Het model moet wereldwijd toepasbaar zijn

Letsgrow.com formuleerde hun visie op versie 3 en de randvoorwaarden als volgt:

Het voorspellen en sturen van de zetting is een additionele module op versie 2. Voorspelling van de zetting op dagbasis en het inzichtelijk maken van de relatie met de mogelijkheden tot sturing van de zetting.

## 2.5 Te verwachten resultaten

Een beslissingsondersteunend model dat op basis van gedetailleerde gewasgegevens in combinatie met klimaatgegevens (licht- temperatuursom, meerjarig gemiddelde klimaatgegevens) en bedrijfsgegevens (teeltplan, registratie van plantbelasting, uitgroeiduur en gerealiseerde opbrengsten) de samenhang inzichtelijk maakt tussen weers- en seizoensinvloeden, setpoints voor kasluchttemperatuur en effecten daarvan op productieverloop (versie 1 en 2). In versie 3 zullen naast productieverloop op basis van gerealiseerde zetting tevens plantbelasting en zetting voorspeld worden. Bij gegeven klimaatinstellingen kan het model worden gebruikt voor registratie en oogstvoorspelling, anderzijds kan bij een gewenst productieverloop worden berekend welke klimaatinstellingen nodig zijn voor de realisatie daarvan. Het model zal via Letsgrow.com worden ondersteund, geïmplementeerd en vermarkt.

## 3 Resultaten

### 3.1 Definitie registraties

De kwaliteit van de berekeningen en voorspellingen van elk model hangt af van de kwaliteit van de ingevoerde gegevens. Daaraan zitten verschillende aspecten:

- worden alle factoren gemeten die van significante invloed zijn op het te simuleren proces?
- worden de metingen goed uitgevoerd? Criteria zijn nauwkeurigheid, precisie, consistentie en eenduidigheid
- worden de uit te voeren metingen door de doelgroep (de tuinders) geaccepteerd?

*Een eerste lijst met te meten gegevens werd opgesteld op 6 september 2002:*

Parameter	Omschrijving
radwkreal	gemeten globale stralingssom afgelopen week (weertoren; $J\ cm^{-2}\ wk^{-1}$ )
tempwkreal	gerealiseerde gemiddelde kasttemperatuur afgelopen week ( $^{\circ}C$ )
Sstand	gemiddelde schermstand afgelopen week
LAI	Geschatte leaf area index ( $m^2\ blad / m^2\ kas$ )
Plantbelm2	plantbelasting (vruchten per $m^2$ )
Zetting	aantal gezet afgelopen week (vruchten per $m^2$ )
Nnjongste	nodiumnummer jongste zichtbare nodium
nnbloei	nodiumnummer bloeiend nodium
nnezet	nodiumnummer waar zetting plaatsvindt
nnoogst	nodiumnummer waarvan wordt geoogst
vruchtenm2tot	totaal aantal geoogste vruchten afgelopen week ( $vr\ m^{-2}$ )
kgm2tot	versgewicht totaal geoogste vruchten afgelopen week ( $kg\ m^{-2}$ )
vruchtenm21ek	aantal 1e keus geoogst afgelopen week ( $vr\ m^{-2}$ )
kgm21ek	versgewicht 1e keus geoogst afgelopen week ( $kg\ m^{-2}$ )
neusrot	aantal vruchten met neusrot verwijderd afgelopen week
UGD	uitgroeiduur (d) van deze week geoogste vruchten
kleur	kleur van geoogste vruchten
getopt	plant getopt (0 = nee, 1 = ja)
opmerkingwk	ruimte voor opmerkingen

NB wat betreft gerealiseerde straling: er wordt een serie berekeningen toegepast om uit de stralingssom van de weertoren uiteindelijk de door het gewas geabsorbeerde hoeveelheid PAR-licht te schatten. De keten van benaderingen en veronderstellingen kan belangrijk korter worden als er bovenin het gewas PAR-licht zou worden gemeten.

De bovenstaande lijst was opgesteld op basis van ervaringen met tellen en labelen in de temperatuurproef met Paprika in Klazienaveen (2000), en de ervaring met vereenvoudigde registratie in het project Praktijkdemonstratie MTI (van den Berg et al., 2001).

Een tweede versie kwam in overleg met LetsGrow enkele weken later tot stand op 15 oktober 2002. Op basis van deze specificatie is door LG begonnen met het opzetten van registratiepagina's en het instrueren van telers.



### *Specificatie benodigde data voor het oogstvoorspellingsmodel paprika*

Algemeen: de rekenstap voor het model is 1 dag. Het model zal daarom in de huidige opzet optimaal draaien wanneer alle gegevens op dagbasis beschikbaar zijn. Het model geeft ook redelijk goede voorspellingen met gegevens op weekbasis. Door deze gegevens om te rekenen naar dagbasis kunnen ze in het model worden ingevoerd. Er zijn binnen het model modules beschikbaar om deze bewerkingen uit te voeren. Een praktisch haalbare aanpak die waarschijnlijk nog voldoende voorspellende kracht zal opleveren lijkt te zijn: klimaatgegevens op dagbasis, gewas- en productiegegevens op weekbasis. Mogelijk zal het opsplitsen van klimaatgegevens naar afzonderlijke dag- en nachtgemiddelden nog significante verbeteringen opleveren. Dit aspect is nog niet getoetst, en verschillen tussen dag en nacht zitten momenteel niet in het model. Het model maakt geen onderscheid in vruchten naar kwaliteitsklassen.

*Er zijn voor het model 4 soorten gegevens nodig:*

#### 1. algemene, eenmalige of incidentele gegevens

- ras (of eventueel categorie)\*
- leeftijd van het gewas (plantdag = dag 1 + plantdatum) \*
- eindkleur, bont of groen oogsten (eindkleur = default)<sup>1</sup>
- aantal stengels per m<sup>2</sup>\*
- vruchtsnoei (afleiden uit plantlast; verwijderen uit vmat aannemen dat oudste vruchten blijven hangen)\*
- lichttransmissiefactor kas \*
- lichttransmissiefactor energiescherm<sup>1,2,3</sup>
- scherminstellingen (vaste tijden per periode of drempel buitentemperatuur in geval van klimaatgegevens op uur- of dag/nachtbasis)<sup>2</sup>

#### 2. gewas- en productiewaarnemingen

- plantbelasting (hangend aantal vruchten per m<sup>2</sup>)\*
- gvg (kl 1 + 2) per m<sup>2</sup>\*
- geoogst gewicht vruchten kg (kl 1 + 2) per m<sup>2</sup>\*
- aantal van telveld
- oogstverliezen
- gemiddelde uitgroei duur geoogste vruchten (dagen)\*
- nodiumnummer jongste bloemetjes<sup>1</sup>
- dagnummer waarop de kop uit het gewas is gehaald\*

#### 3. klimaatgegevens

- stralingssom (J cm<sup>-2</sup>) van weertoren \*
- kastemperatuur (dag<sup>1</sup>-, nacht<sup>1</sup>- en etmaalgemiddelde)\*
- buitentemperatuur (dag<sup>2</sup>-, nacht<sup>2</sup>- en etmaalgemiddelde<sup>2</sup>)
- CO<sub>2</sub> in ppm, gemiddelde over dagperiode<sup>1</sup>
- schermstand (dag- nacht- en etmaalgemiddelde)<sup>3</sup>

#### 4. feed-backgegevens

- berekende uitgroei duur is korter of langer dan in werkelijkheid<sup>1</sup>

Markeringen:

\* = absoluut noodzakelijk

<sup>1</sup> = optioneel

<sup>2</sup> = nodig bij correctie licht voor schermstand, indirecte methode

Een discussiepunt dat in de loop van het project telkens opnieuw opdook was de vraag of voldoende nauwkeurigheid kan worden bereikt wanneer de vruchtzetting wordt berekend op basis van wekelijkse registraties van oogstgegevens en aantal hangende vruchten per plant. Alternatief is het direct tellen van

nieuw gezette vruchten. Ook allebei doen en dan een gemiddelde nemen is een mogelijkheid. Beide methoden hebben nadelen:

- voor direct tellen is een labeltje nodig op de plek tot waar de vorige waarnemingsdag is geteld. Dit is echter moeilijk vanwege de kans op late abortie: ook vruchtjes die al de omvang van 13 mm hebben bereikt kunnen nog wel eens aborteren. Verder zal het voorkomen dat vruchtjes die in een bepaalde week net niet mogen worden meegeteld een week later wel mee zouden moeten worden geteld en daarbij de kans lopen om te worden overgeslagen.

- voor het berekenen van zetting uit wekelijkse veranderingen in aantal hangende vruchten en oogstregistraties geldt dat met name de telling van het aantal hangende vruchten variatie vertoont: er is soms sprake van flinke verschillen tussen individuele planten, vruchten kunnen dubbel geteld worden, andere over het hoofd gezien. Het problematische aspect is dat de aantallen hangende vruchten gemiddeld ongeveer een orde groter zijn dan de zetting die uit het verschil wordt berekend.

Op 12 december 2003 is een nieuwe procedure voorgesteld; hier is echter in het project geen vervolg aan gegeven. De nieuwe procedure benadrukt het precies bepalen van het verschil met de voorafgaande week. Gelukkig is een paprikaplant redelijk eenvoudig van opbouw: aan elk nodium komt normaal hooguit 1 stamvrucht plus 1 rankvrucht. Het ontwikkelingstempo ligt in de buurt van 1 nodium per week. De vereiste inspanning bij het wekelijks tellen en labelen is dus ook relatief beperkt. Tijdens zettinggolven kunnen meerdere nodia tegelijk aan het zetten zijn, in de tussenliggende periode zal het waarnemen eenvoudiger zijn.

#### *Algemene punten:*

Bij het veel voorkomende 2-stengelsysteem wordt van de telplanten maar 1 van de 2 stengels geteld. Let op dat er evenveel stengels aan de padkant en aan de binnenkant van het bed worden geteld.

Zorg voor nodiumlabels met 4 invulvakjes: 1 = weeknummer, 2 = dagnummer, 3 = aantal gezette vruchten, 4 = verschil aantal gezette vruchten t.o.v. vorige week. Het lijkt mij handig om in het eerste vakje het weeknummer alvast voor te drukken en om de labels per week een andere kleur te geven.

Zorg voor een boek met waarnemingslijsten, 1 per week, in dezelfde kleuren als de weeklabels, met het weeknummer voorgedrukt. De indeling van de weeklijsten is: een kop met de codes of nummers van de telplanten, per telplant 2 kolommen. De lijst bestaat uit 50 genummerde regels, 1 regel per nodium (regelnummer = nodiumnummer).

#### *Beschrijving van de wekelijkse procedure:*

1. Schrijf bovenaan op de betreffende weeklijst het dagnummer van waarneming.
2. Zoek het jongste nodium met gezette vruchten, en tel het aantal gezette vruchten aan dat nodium (criterium: ringsleutel 13). Bepaal van dit nodium het nodiumnummer, geteld vanaf de splitsing. In de praktijk tel je natuurlijk vanaf het hoogste gelabelde nodium van vorige week. Hang aan dit nodium een label met weeknummer (vakje 1), nodiumnummer (vakje 2) en aantal gezette vruchten aan dit nodium (vakje 3).
3. Kijk of er zich tussen het hoogste gelabelde nodium van vorige week en het zojuist gelabelde nodium eventueel nog een of meer nodia bevinden. Hang ook aan deze nodia labels met dagnummer, nodiumnummer en aantal gezette vruchten per nodium. Als er aan eventuele tussenliggende nodia geen gezette vruchten zitten, label ze dan toch en noteer 0 in vakje 3.
4. Tel van de vorige week gelabelde nodia (herkenbaar aan de labelkleur) nogmaals het aantal gezette vruchten per nodium. Als het aantal verschilt van dat in vakje 3 op het betreffende label, noteer dan in vakje 4 HET VERSCHIL met vakje 3: +1 voor 1 extra vrucht gezet, -1 voor een eventuele late abortie.
5. Bereken de netto zetting van deze week als de optelling van de getallen in vakje 3 van labels van deze week plus de getallen in vakje 4 van de labels van vorige week.
6. Noteer op de lijst in kolom 1 van de betreffende telplant op de regel van het hoogste gelabelde nodium de bij punt 4 berekende netto zetting.
7. Controleer of er aan de telstengel oogstbare vruchten zitten. Zo ja, oogst deze en noteer het aantal

geogste vruchten op de lijst, in kolom 1 die bij de betreffende telplant hoort, op de regel die bij het nodiumnummer hoort waarvan is geogst. Noteer daarnaast in kolom 2 de week van zetting van het label dat bij het nodium van de geogste vrucht hoort. Als er op het label dat bij de geogste vrucht hoort een positief getal staat ingevuld in vakje 4, tel dan 0.5 op bij het weeknummer (bijv 13.5 in plaats van 13).

Als het heel erg tegen zit zou het bij punt 3 nodig kunnen blijken om twee weken terug te kijken (dat is niet de verwachting). Helaas zou dat wat meer werk opleveren en er zou dan nog een vijfde vakje nodig zijn op het label, en de berekening van de netto zetting wordt wat complexer. Ook als het criterium van ringsleutel 13 heel effectief is en er bij vruchten van deze grootte nauwelijks nog abortie optreedt blijft stap 3 waarschijnlijk wel nodig omdat de kans vrij groot is dat vruchtjes die deze week net niet als gezet mogen worden geteld een week later wel aan het criterium kunnen blijken te voldoen.

*Hoe is het uiteindelijk in LG terecht gekomen:*

A. Teeltregistratie:

- 1 = jaar
- 2 = weeknr
- 3 = gemiddelde temp afgelopen week
- 4 = gemiddelde stralingsom per dag afgelopen week
- 5 t/m 8 = verwachte weektemp komende 4 weken
- 9 = gvg afgelopen week
- 10 = kg oogst afgelopen week
- 11 = aantal vruchten geogst uit telveld afgelopen week
- 12 = oogststadium deze week
- 13 = oogststadium komende week
- 14 = plantbelasting
- 15 = aantal vroegtijdig verwijderde vruchten afgelopen week
- 16 = nodiumnummer van vroegtijdig verwijderde vruchten
- 17 = nodiumnummer jongste bloemen
- 18 = datum kop uit het gewas
- 19 t/m 25 = UGD per dag afgelopen week

B. Klimaatregistratie:

- gerealiseerde etmaaltemp per dag afgelopen week
- gerealiseerde stralingsom per dag afgelopen week

## 3.2 Een samenvatting van de reacties uit de gebruikersgroep

- Het is niet mogelijk om in te vullen van welke week er vruchtjes geaborteerd zijn.
- Telers zijn gewend om abortie op basis van weeknummers te registreren, niet op basis van okselnummers. In het registratieprogramma kan maar 1 okselnummer worden ingevuld, terwijl een paprika soms wel op 3 oksels tegelijk bloeit (hoofd en zijoksels)
- Hoe ga je bij het berekenen van de plantbelasting om met vroegtijdig verwijderde vruchten?
- Wordt er rekening gehouden met energiebelasting (een begrip gehanteerd in Prozet)? Antwoord is ja.
- Kunnen oude registratiegegevens worden ingevuld om te kijken of het nieuwe systeem betere voorspellingen oplevert dan het bestaande?
- Registratie van nodiumnummers moet in hele cijfers; eigenlijk zou 1 decimaal meer wenselijk zijn.
- Tussen twee zettinggolven in is het moeilijk om voldoende planten te vinden om labels te hangen.
- Het is wenselijk om ook de verwachte lengtegroei weer te geven i.v.m. inplannen van gewaswerk.
- Wat wordt precies onder bonte vruchten verstaan? Is dat het percentage dat bij de veiling nog in een doorgekleurde partij mag worden aangevoerd?

Verder als algemene punten: Telers werken al jaren met het programma Prozet (naar tevredenheid, maar dit programma houdt op te bestaan). Sinds de maart 2003 is het ook mogelijk om bij het Greenery Aanvoer Programma (Greenery AP) gegevens invoeren die leiden tot goede voorspellingen m.b.t. de verwachte oogst. Dit programma is gebaseerd op Prozet.

Men vraagt zich af of het verstandig is iets geheel nieuws te gaan ontwikkelen als er al iets bestaat wat in de basis goed werkt en waar men tevreden over is.

Deze feedback uit de testgroep werd pas in de loop van de teelt duidelijk, toen het registratiesysteem al was opgezet aan de hand van de ontwikkelde prototype modellen. Door de opzet en fasering van het project bleek het niet meer mogelijk om aan een belangrijk deel van deze terechte kritiekpunten nog adequaat gevolg te geven.

## 4 Voorbereidend werk - uitgroei duur

### 4.1 Inleiding

Het bepalen en voorspellen van de uitgroei duur van vruchten is een noodzakelijk onderdeel van de oogstvoorspeller. Het achteraf vaststellen van de uitgroei duur gebeurde door middel van labelen: bij de zetting werden jonge vruchten aan representatieve planten voorzien van een label en een dagnummer. Bij de oogst wordt de uitgroei duur bepaald uit het verschil tussen oogstdagnummer en zettingdagnummer.

Behalve op basis van labels kan de uitgroei duur ook worden berekend, wat voor het model de basis vormt voor een voorspelling. Ontwikkelingsprocessen verlopen over het algemeen sneller naarmate de temperatuur hoger is. De techniek van het bijhouden van temperatuursommen per ontwikkelingsfase wordt al vanaf de 18e eeuw toegepast. Hierbij worden de temperatuursommen berekend door gerealiseerde etmaaltemperaturen over de duur van de betreffende ontwikkelingsfase te sommeren. De etmaaltemperatuur wordt hierbij verminderd met de drempeltemperatuur, dat is de temperatuur waar beneden de ontwikkelingsprocessen stilstaan.

De kracht van deze benadering zit in de combinatie van eenvoud en een relatief grote voorspellende waarde. De achterliggende aanname is dat temperatuur de dominante factor is voor ontwikkeling, en dat met eventuele andere invloeden zoals daglengte op een andere manier rekening wordt gehouden of dat ze verwaarloosbaar zijn. Een verdere aanname is dat de temperatuurrespons in het relevante domein lineair is. Over het algemeen wordt er van uitgegaan dat deze aanname geldig is voor het temperatuurtraject dat normaal in kassen voorkomt.

### 4.2 Theorie

De temperatuursom TU voor een ontwikkelingsstap met duur D wordt berekend door over de opeenvolgende tussenliggende perioden met een duur van  $\Delta t_j$  de gemiddelde temperatuur te berekenen, verminderd met de drempeltemperatuur  $T_b$ , en deze te sommeren. Afhankelijk van de eenheid van  $\Delta t_j$  (doorgaans uren of dagen) wordt de eenheid van TU resp. graaduren of graaddagen. Wanneer de gemiddelde temperatuur  $T_j$  over een bepaalde periode lager is dan  $T_b$  dan wordt de bijdrage van die periode aan de temperatuursom 0, en dus niet negatief. In formulevorm:

$$TU = \sum \{\max (T_j - T_b), 0\} * \Delta t_j, \quad \text{gesommeerd over D}$$

De algemene vorm is:

$$D = TU / \sum \{\max (T_j - T_b), 0\} * \Delta t_j, \quad \text{gesommeerd over duur D}$$

Zolang  $T_j$  niet onder  $T_b$  komt, vereenvoudigt formule (2) tot:

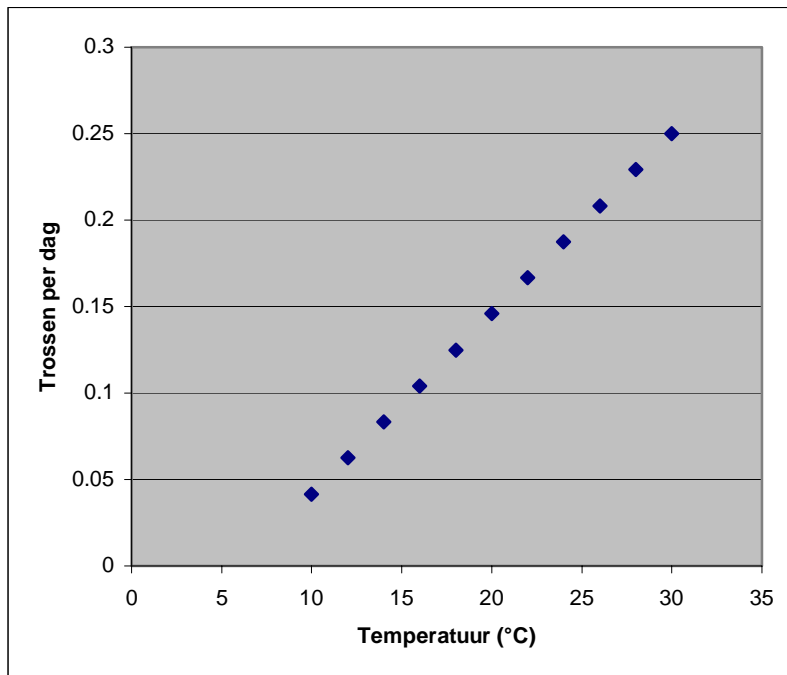
$$D = TU / (T_m - T_b)$$

Het verband is niet lineair omdat het een reciproke functie van  $T_j$  of  $T_m$  betreft. Wel een lineaire temperatuurrespons heeft de ontwikkelingssnelheid, in dit verband de toename in rijpheid stadium per dag. Deze grootheid is verwant aan de plastochron of phyllochron, waarin de bladafsplitsingssnelheid vaak wordt uitgedrukt. In formulevorm:

$$1 / D = (T_m - T_b) / TU$$

waarbij dezelfde beperking geldt dat  $T_j$  niet onder  $T_b$  mag zijn gekomen.

Bij het berekenen van temperatuursommen op basis van teeltregistraties kan de complicatie optreden dat de drempeltemperatuur niet bekend is. Deze waarde moet dan worden geschat of worden afgeleid uit geregistreerde gegevens. Een praktische benadering bij oogstvoorspelling kan zijn om aanvankelijk op basis van literatuurwaarden of schattingen te voorspellen, waarbij de binnenkomende registratiegegevens worden gebruikt om achteraf de feitelijke temperatuursom en drempeltemperatuur voor de specifieke combinatie van soort/ras/teeltsysteem te berekenen.



*Fig. 1 -Als voorbeeld voor de rijpingssnelheid van paprikavruchten geeft deze grafiek de snelheid van afsplitsing van nieuwe trossen bij tomaat, uitgedrukt in aantal nieuwe trossen per dag.*

Deze parameters  $TU$  en  $T_b$  kunnen efficiënt uit registratiegegevens worden berekend door de lineaire regressie te berekenen van de schijnbare temperatuursom (aanname:  $T_b = 0$ ) op de gemeten duur van de betreffende ontwikkelingsstap bij verschillende temperatuurniveaus. De ware temperatuursom is dan de constante in de lineaire vergelijking, de x-coëfficiënt is de drempeltemperatuur (fig. 3). De algebraïsche afleiding ontstaat door het herschikken van formule (3):

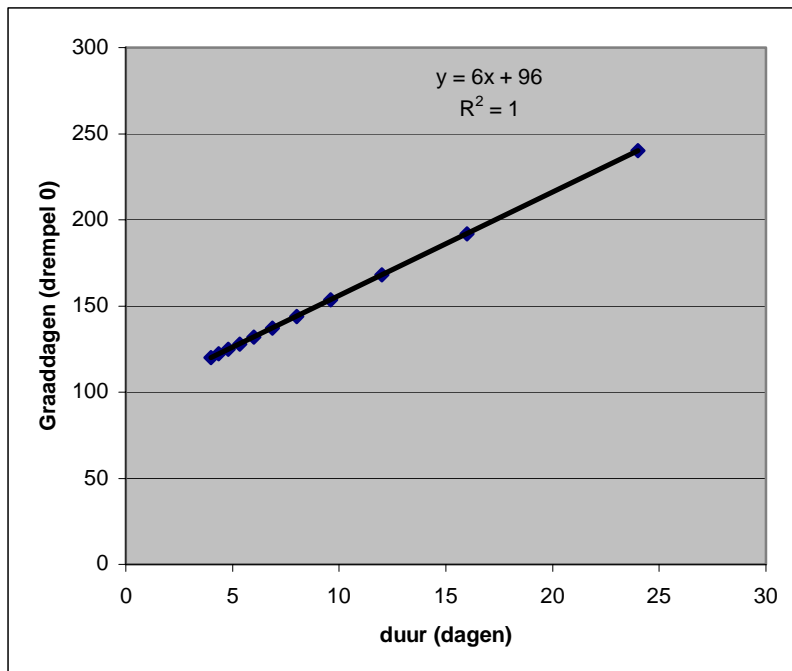
$$T_m = TU / D + T_b \tag{5}$$

$$T_m * D = TU + T_b * D \tag{6}$$

De benodigde registratiegegevens  $D$  en  $T_m * D$  zijn door de gebruiker eenvoudig zelf te bepalen door middel van tellen / labelen en het sommeren van etmaaltemperaturen uit de klimaatcomputer over de betreffende periode.

$T_m$ (°C)	D (dagen)	$T_m * D$ (graaddagen)
10	24.0	240.0
12	16.0	192.0
14	12.0	168.0
16	9.6	153.6
18	8.0	144.0
20	6.9	137.1
22	6.0	132.0
24	5.3	128.0
26	4.8	124.8
28	4.4	122.2
30	4.0	120.0

*Tabel 1 - Een kunstmatige dataset gebaseerd op het getallenvoorbeeld in fig. 1. Kolom 3 is de schijnbare temperatuursom onder aanname van een drempeltemperatuur  $T_b = 0$ .*



*Figuur 2 – het bepalen van de werkelijke temperatuursom en de drempeltemperatuur uit de gegevens in tabel 1 (dezelfde informatie die voor fig 1 en 2 is gebruikt). De gezochte getallen komen als resp. de constante en de x-coëfficiënt uit te regressievergelijking.*

### 4.3 Toepassing van de methode op een bestaande dataset bij paprika

Maaswinkel et al. (1991) rapporteerden temperatuuronderzoek bij paprika cv. Mazurka (Rijk Zwaan). In dit onderzoek is het temperatuurniveau gevarieerd en is de uitgroeiduur van de vruchten gemeten. Twee setpoints voor de dagtemperatuur (DT) werden gecombineerd met drie setpoints voor de nachttemperatuur (NT). De codering van de behandelingen is DT/NT. Het verloop in de tijd van gemiddelde weektemperaturen per behandeling (gemiddelde van 4 afdelingen) staat weergegeven in tabel 2. Duidelijk is te zien dat de nachttemperaturen van 15°C minder goed gerealiseerd werden naarmate de teelt vorderde. In week 7, 9 en 11 zijn gezette vruchten gelabeld om de uitgroeiduur te bepalen.

Behandeling	Weeknummer													
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
24/15	19.4	19.9	19.8	20.6	20.8	20.8	21	21.1	22	21.5	21.8	21.8	23.2	22.3
24/18	20.9	21.2	21.1	21.5	21.8	21.8	22	22	22.7	22.4	22.7	22.4	23	22
24/21	22.3	22.5	22.5	22.8	23	23	23.1	23.1	23.7	23.3	23.5	23.3	23.6	23.6
21/15	18.2	18.7	18.5	19.1	19.3	19.2	19.5	19.4	20.5	19.7	20.1	19.9	20.6	20.5
21/18	19.7	20	19.8	20	20.2	20.2	20.4	20.3	21.3	20.5	20.9	20.5	21.1	21
21/21	21.1	21.4	21.2	21.3	21.5	21.4	21.5	21.3	22.1	21.5	21.8	21.3	21.8	21.7

Tabel 2 – weekgemiddelden van de ruimtetemperatuur in de proef van Maaswinkel et al. (1991), afgeleid uit bijlage 5 van het rapport.

Behandeling	Gelabeld in week:		
	7	9	11
24/15	69	67	60
24/18	64	64	59
24/21	60	56	56
21/15	75	71	62
21/18	67	67	61
21/21	64	60	59

Tabel 3 – Gemeten uitgroei duur (dagen) van vruchten van paprika 'Mazurka', onderscheiden naar week waarin is gelabeld. Gegevens ontleend aan bijlage 12 bij het rapport van Maaswinkel et al. (1991).

Op basis van de gemeten uitgroei duur in tabel 3 kan worden bepaald welke weekgemiddelden in tabel 2 gebruikt moeten worden voor de berekening van de gemiddelde temperatuur  $T_m$ . De uitgroei duur wordt uitgedrukt in weken en afgerond naar gehele getallen. Deze worden gebruikt om het aantal kolommen in tabel 2 te bepalen waarover wordt gemiddeld, gerekend vanaf de week van labeling. Vervolgens kan de schijnbare temperatuursom  $T_m * D$  worden berekend. De resultaten staan weergegeven in tabel 4.

Behandeling	Gelabeld in week:		
	7	9	11
24/15	1428	1415	1293
24/18	1387	1408	1311
24/21	1373	1292	1302
21/15	1447	1386	1228
21/18	1356	1367	1257
21/21	1371	1291	1271

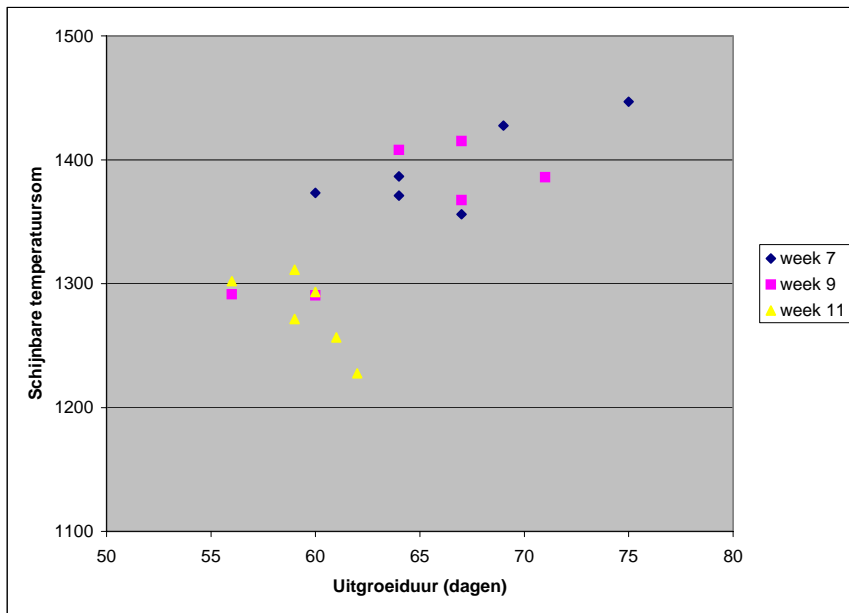
Tabel 4 – Schijnbare temperatuursommen (graaddagen, aanname basistemperatuur  $T_b = 0$ ) van vruchten van paprika 'Mazurka', onderscheiden naar week waarin is gelabeld. Gegevens ontleend aan het rapport van Maaswinkel et al. (1991).

Bij grafische weergave blijken alle punten redelijk op dezelfde lijn (fit 1:  $T_m * D = 8.56 * D + 811$ ;  $R^2 = 0.70$ ) te liggen, behalve de punten (61, 1257) en (62, 1228) uit labelweek 11. Worden deze twee punten mede in aanmerking genomen, dan verzwakt het verband (fit 2:  $T_m * D = 9.32 * D + 753$ ;  $R^2 = 0.56$ ). Het effect van het verschil tussen de twee gefitte lijnen op voorspellingen van D is echter betrekkelijk gering (tabel D5), namelijk hooguit 1 dag ofwel iets minder dan 2%.

$T_m$	Uitgroei duur D (dagen)			
	vast	TS ( $T_b = 0$ )	fit 1	fit 2
18	63.4	74.6	86.0	86.7
19.5	63.4	68.9	74.2	73.9
21	63.4	64.0	65.2	64.4
22.5	63.4	59.7	58.2	57.1

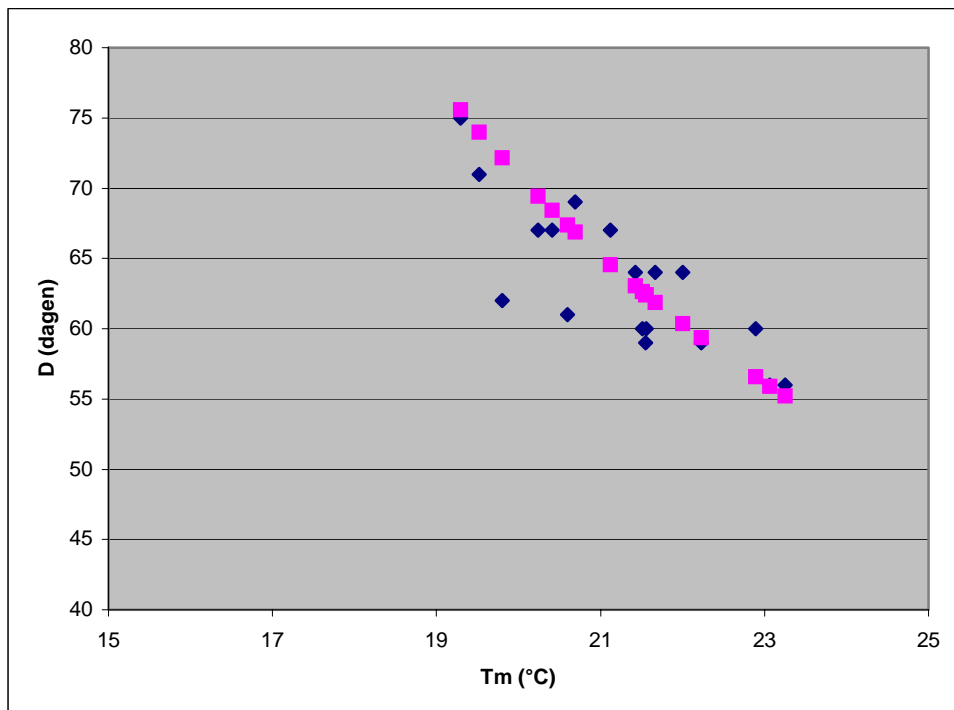
Tabel 5 – Uitgroei duur (dagen) in relatie met temperatuurniveau  $T_m$  ( $^{\circ}C$ ) zonder rekening te houden met temperatuursommen (vast = gemiddelde van tabel 3), zonder rekening te houden met de drempeltemperatuur ( $T_b = 0$ ; gemiddelde van tabel 4) en voorspeld op basis van de twee regressielijnen (fit 1 en fit 2) die in fig. 3 kunnen worden gefit.





Figuur 3 – Schijnbare temperatuursommen, uitgezet tegen uitgroeiduur, onderscheiden naar week van labeling (gegevens uit tabel 3 en 4).

De schatting van uitgroeiduur op basis van temperatuursom en drempel geeft wel forse verschillen met de verwachting op basis van een vaste uitgroeiduur van 63.4 dagen (gemiddelde van tabel 3), namelijk 23 dagen langer bij 18 °C tot 5 dagen korter bij 22.5 °C. De verwachte uitgroeiduur op basis van de schijnbare temperatuursom ( $T_b$  gesteld op 0; gemiddelde van tabel 4) ligt tussen de beide extremen in. De asymmetrie in het effect van temperatuurniveau op de verwachte uitgroeiduur heeft te maken met het feit dat er geen sprake is van een lineair verband tussen deze grootheden (fig. 1).



Figuur 4 – verband tussen gemiddelde temperatuur  $T_m$  gedurende de uitgroeiperiode (°C) en de uitgroeiduur  $D$  (dagen) in de proef van Maaswinkel et al. (1991). Vierkantjes: voorspelde  $D$  op basis van  $T_b = 8.56$  °C en  $TU = 811$  graaddagen (fig. 5, fit 1); ruitjes: waargenomen  $D$  (gecombineerde data van 3 labelweken).

## 4.4 Een dataset voor het ras Fiësta (van den Berg et al., 2001)

Week	Afdeling			
	1	2	3	4
12	8.50	8.50	8.40	8.00
13	8.50	8.17	8.40	8.33
14	8.33	9.20	8.79	8.54
15	9.83	9.60	7.33	7.50
16	8.50	8.25	7.86	7.43
17	8.00	8.16	8.00	8.25
18	8.07	8.08	8.45	8.40
19	8.89	8.57	9.50	8.33
20	8.33	8.14	8.13	7.54
21	6.30	7.11	6.88	6.13
22	6.96	6.95	7.00	6.74
23	7.04	7.22	7.13	7.05
24	6.92	7.22	7.38	7.20
25	7.00	7.00	8.00	7.50
26	6.08	6.08	6.13	6.07
27	6.94	6.83	6.64	6.73
28	6.56	7.05	7.10	6.74
29	7.25	7.30	6.89	7.08
30	6.80	7.00	7.25	7.10
31	7.06	7.42	7.21	7.44
32	7.30	7.74	7.45	7.44
33	7.57	8.17	7.82	7.83
34	7.70	7.47	8.33	7.00
35	8.00	7.45	7.70	7.59
36	8.21	8.40	7.70	8.73
37	7.47	7.79	7.87	7.58
38	7.71	8.00	7.36	7.53
39	7.11	7.67	8.10	7.58
40	7.33	7.85	7.64	8.06
41	7.86	8.33	8.38	9.00

*Tabel 6 – Geregistreeerde uitgroei duur (weken) van paprika Fiësta per afdeling per week (van den Berg et al., 2001).*

In het jaar 2000 is op verschillende praktijkbedrijven een demonstratieproef uitgevoerd met de integrerende klimaatregelaar Econaut CTI op de Economic procescomputer van Hoogendoorn Automatisering B.V. (van den Berg et al., 2001). Onder de deelnemende bedrijven was ook een paprikabedrijf, waar het gele ras Fiësta werd geteeld in 4 vakken. Twee vakken (1, 2) werden conventioneel geregeld, terwijl in de overige (3, 4) met temperatuurintegratie werd gewerkt. Het belangrijkste verschil was een grotere bandbreedte van gerealiseerde temperaturen in 3 en 4 in vergelijking met 1 en 2, bij vrijwel gelijk temperatuurniveau. De onderlinge verschillen tussen 1 en 2 en tussen 3 en 4 waren veel geringer. Tijdens de proef is in alle afdelingen uitgroei duur geregistreerd (tabel 6). Verschillen tussen de afdelingen qua productie, kwaliteit en energieverbruik waren overigens verwaarloosbaar.

De gemiddelde temperatuur  $T_m$  over de periode van uitgroei D (tabel 7) werd berekend door de uitgroei duur af te ronden op hele weken en vervolgens in een tabel met gerealiseerde weektemperaturen per oogstweek over het relevante aantal weken te middelen. Nu kon weer de schijnbare temperatuursom (graaddagen) worden berekend door  $7 \cdot$  de uitgroei duur in weken (tabel 6) te vermenigvuldigen met  $T_m$ . De waarde van  $T_d$  en TU konden op basis van deze gegevens weer worden bepaald met behulp van lineaire regressie. De regressiecoëfficiënten per afdeling zijn goed vergelijkbaar en vertonen een betere  $R^2$ -waarde dan in de Mazurka-dataset (tabel 8).

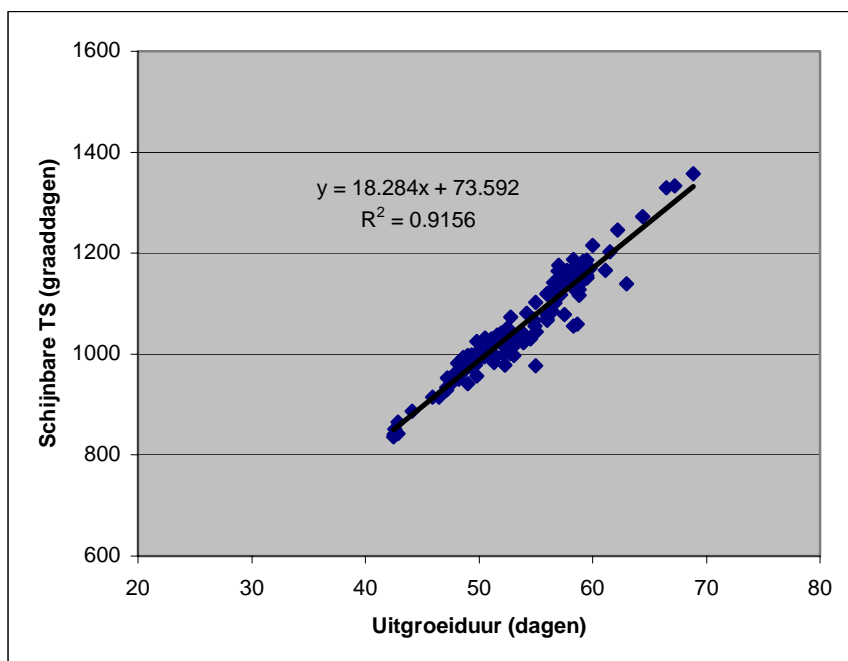
Week	Afdeling			
	1	2	3	4
12	19.3	19.4	19.2	19.2
13	19.4	19.6	19.4	19.4
14	19.7	19.8	19.6	19.6
15	19.7	19.8	20.0	20.0
16	19.9	20.2	20.0	20.0
17	20.0	20.2	20.0	19.9
18	20.0	20.2	20.0	19.9
19	20.0	20.3	20.0	20.1
20	20.4	20.6	20.5	20.3
21	20.1	20.6	20.4	20.2
22	20.2	20.4	20.2	20.2
23	20.1	20.4	20.1	20.2
24	20.2	20.4	20.1	20.1
25	20.1	20.3	20.0	20.0
26	19.8	20.0	19.6	19.7
27	19.8	20.1	19.7	19.7
28	19.9	20.2	19.8	19.8
29	19.8	20.2	19.7	19.7
30	19.8	20.1	19.8	19.7
31	19.7	20.1	19.7	19.6
32	19.6	20.0	19.7	19.6
33	19.5	19.9	19.5	19.4
34	19.3	19.5	19.4	19.2
35	19.1	19.1	19.3	19.2
36	18.8	19.0	19.0	19.1
37	18.7	18.9	19.0	18.8
38	19.0	19.1	19.3	19.0
39	19.2	19.2	19.4	19.2
40	19.2	19.2	19.3	19.2
41	17.8	18.1	18.1	18.1

*Tabel 7 – Berekende gemiddelde ruimtetemperatuur ( $T_m$  in °C) tijdens de uitgroeiperiode D van paprika Fiësta per afdeling per oogstweek (van den Berg et al., 2001).*

De berekende waarden voor uitgroeiduur ( $TU = 73.6$  graaddagen) en drempeltemperatuur ( $T_b = 18.3$  °C) blijken voor Fiësta nogal te verschillen van die voor Mazurka in het voorgaande voorbeeld. Kennelijk is er sprake van een flink raseffect. De gevonden regressies suggereren dat Fiësta een warmtebehoefstig ras is, en dat in bepaalde seizoenen de vruchten actief rijpgestookt moeten worden. Ondanks het sterke verband (alle  $R^2$ -waarden boven 0.90 in tabel 8) vormen de extreem hoge drempelwaarden en de gevonden verschillen in TU-waarden een wankele basis voor het voorspellen van uitgroeiduur. Een praktische beperking is dat de drempelwaarden midden in het bereik van normale kastemperaturen liggen, waardoor details als het temperatuurverloop op 5-minutenbasis relevant worden. Voordat deze conclusie kan worden getrokken is het raadzaam om eerst de resultaten en de methode waarmee ze zijn berekend kritisch te bekijken.

Afdeling	$T_b$	TU	$R^2$
1	18.9	35.8	0.93
2	17.9	102.1	0.9
3	18.6	58.2	0.92
4	17.1	133.2	0.92

*Tabel 8 – Drempeltemperatuur  $T_b$  (°C), graaddagensom en determinatiecoëfficiënt per afdeling in de proef met Fiësta (van den Berg et al., 2001).*



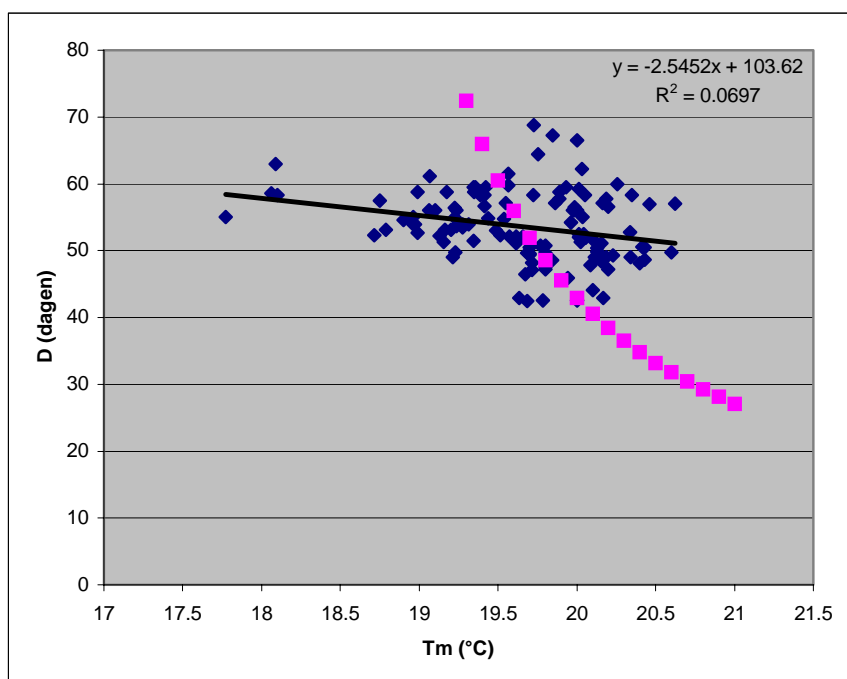
*Figuur 5 – lineaire regressie van de schijnbare graaddagensom op de waargenomen uitgroeiduur D. Gecombineerde data voor 4 afdelingen in de proef met Fiësta (van den Berg et al., 2001).*

Wordt op basis van de in fig. 5 gevonden schattingen van  $T_b$  en TU het effect van  $T_m$  op de verwachte uitgroeiduur D berekend, dan blijkt de trend hierin aanzienlijk af te wijken van het waargenomen verband (fig. D8): het waargenomen effect van  $T_m$  op D is veel geringer dan op grond van de berekening wordt verwacht. Dit wijst er inderdaad op dat er in de berekening iets niet klopt.

Afwijkingen worden veroorzaakt doordat niet aan de aannamen wordt voldaan die ten grondslag liggen er aan de methode van het berekenen van TU en  $T_b$  op basis van  $T_m$  en D. De drie belangrijkste aannamen zijn: (1) de feitelijke kasttemperatuur waaruit  $T_m$  wordt berekend blijft steeds boven  $T_b$ ; (2) de temperatuurrepons is in het relevante temperatuurbereik lineair; (3) De uitgroeiduur wordt uitsluitend bepaald door de factor temperatuur.

Om het effect van aanname (1) op het afleiden van de parameters te onderzoeken is een eenvoudig simulatiemodelletje gemaakt, waarmee het effect van een hoge drempeltemperatuur kan worden bepaald. De resultaten laten zien (tabel 9) dat een verhoging van  $T_b$  tot het niveau van  $T_m$  (reeks van 14 – 24°C plus ruis) leidt tot een geleidelijk toenemende overschatting van TU en een onderschatting van  $T_b$ .

$T_b$ simulatie	TU berekend	$T_b$ berekend	$R^2$ berekening	<i>Tabel 9 – effect van <math>T_b</math> in een gesimuleerde dataset op de berekende TU en <math>T_b</math> (voor uitleg zie tekst)</i>
10	1009	9.96	1.0	
12	1005	11.99	1.0	
14	1008	13.97	1.0	
16	1061	15.67	1.0	
18	1212	17.06	1.0	
20	1312	18.99	0.99	



*Figuur 6 – verband tussen uitgroeiduur D (dagen) en gemiddelde temperatuur over de uitgroeiperiode  $T_m$  (°C) bij Fiësta. Vierkantjes: berekende D op basis van  $T_b$  en TU uit fig. 6; ruitjes: waargenomen D. Gecombineerde data voor 4 afdelingen (van den Berg et al., 2001).*

Het effect van het onterecht meetellen van waarden van ruimtetemperaturen beneden  $T_b$  kan dus geen verklaring vormen voor de hoge waarden van  $T_b$  en de relatief lage waarden van TU die bij Fiësta werden berekend. Overigens blijkt TU ook bij grote verschillen tussen  $T_m$  en  $T_b$  lichtelijk te worden overschat. Dit is te verklaren doordat op dagbasis is gesimuleerd waarbij de vruchten zijn geoogst zodra TU was overschreden. De overschatting met enkele graaduren is gelijk aan de gemiddelde overschrijding van TU op de dag dat het simulatiemodel besloot ze te oogsten.

## 4.5 Discussie

Het voorspellen van uitgroeiduur bij paprika op basis van temperatuurintegralen geeft bij het ras Mazurka een aanzienlijke verbetering ten opzichte van de voorspelling op basis van een vaste uitgroeiduur in dagen. De benodigde parameters  $T_b$  (drempeltemperatuur in °C) en TU (temperatuursom in graaddagen) zijn op eenvoudige wijze af te leiden uit de door de teler geregistreerde uitgroeiduur D (dagen) en de gemiddelde temperatuur tijdens de uitgroei ( $T_m$  in °C). De methode is echter alleen bruikbaar wanneer wordt voldaan aan de drie onderliggende aannamen: (1) de ruimtetemperatuur komt niet onder de drempelwaarde; (2) het effect van temperatuur op de ontwikkelingssnelheid is in het relevante temperatuurbereik lineair; (3) uitgroei wordt bepaald door temperatuur en effecten van andere factoren zijn verwaarloosbaar. De slechte fit in fig. 6 wijst erop dat er bij het ras Fiësta waarschijnlijk toch andere factoren in het spel zijn. Paprikatelers beweren dat de uitgroeiduur kan worden beïnvloed door de plantbelasting. Daarom is in versie 1 van het model dat is ontwikkeld voor de oogstvoorspeller een invloed van de plantbelasting op de uitgroeiduur opgenomen.

## 5 PepSim1.0

### 5.1 Beschrijving van het model voor uitgroei duur van vruchten

PepSim 1.0 was de eerste versie van het model oogstvoorspeller, ontwikkeld in de periode rond december 2002. Het simuleert alleen uitgroei duur op basis van waargenomen zetting, berekend uit aantal vruchten aan de plant en wekelijkse oogstgegevens. Verder wordt de kwaliteit van de simulatieresultaten geëvalueerd. Het model is gekalibreerd op basis van 4 datasets afkomstig uit het PPO-project Praktijkdemonstratie Meerdaagse Temperatuurintegratie (van den Berg et al., 2001).

Het principe van het model is dat een boekhouding wordt bijgehouden van aantallen gezette vruchten per dag. Hiertoe worden de datasets op weekbasis eerst omgerekend naar dagbasis. Per dag wordt de ontwikkeling van alle vruchten berekend, afgemeten op een genormaliseerde schaal van 0 tot 1. Dagelijks wordt gekeken welke vruchten ontwikkelingsstadium 1 hebben bereikt en deze worden geoogst. Van de geoogste vruchten wordt de uitgroei duur bepaald als het verschil tussen het oogstdagnummer en het zettingdagnummer. Van alle vruchten aan de plant apart wordt, afhankelijk van de temperatuur en het ontwikkelingsstadium, de sinksterkte berekend met een Richards-functie. De verhouding tussen geabsorbeerd licht (source) en de gesommeerde sinksterkte over alle vruchten (sink) geeft een indicatie van de plantbalans. De grootte van de dagelijkse ontwikkelingsstap wordt bepaald als het product van een simpele graaddagenfunctie en een verzadigingsfunctie van plantbalans. Lage waarden van plantbalans verkleinen zo de dagelijkse toename in ontwikkeling van de vruchten, waardoor de uitgroei duur wordt verlengd.

Functie:	Omschrijving:
PepSim1.m	De hoofdfunctie van het model
AwtData.m	Dataset temperatuur
SsumData.m	Dataset straling
UgdData.m	Dataset waargenomen uitgroei duur
ZetData.m	Dataset waargenomen zetting
Week2Dag.m	Omrekenen weekgegevens naar dagbasis
MovAvg7	Afvlakfunctie
CalcSinkVeg.m	Berekent vegetatieve sinksterkte
CalcSink1.m	Berekent generatieve sinksterkte
CalcPlantBal.m	Berekent plantbalans
CalcDagOntw.m	Berekent dagelijkse ontwikkeling vruchten
OmatConv.m	Bewerkt gegevens in oogstmatrix
PlotUgd.m	Genereert grafieken met resultaten
ParamList.m	Lijst met alle gebruikte parameters

*Een lijst van de verschillende functies die onderdeel vormen van het model Pepsim 1.0*

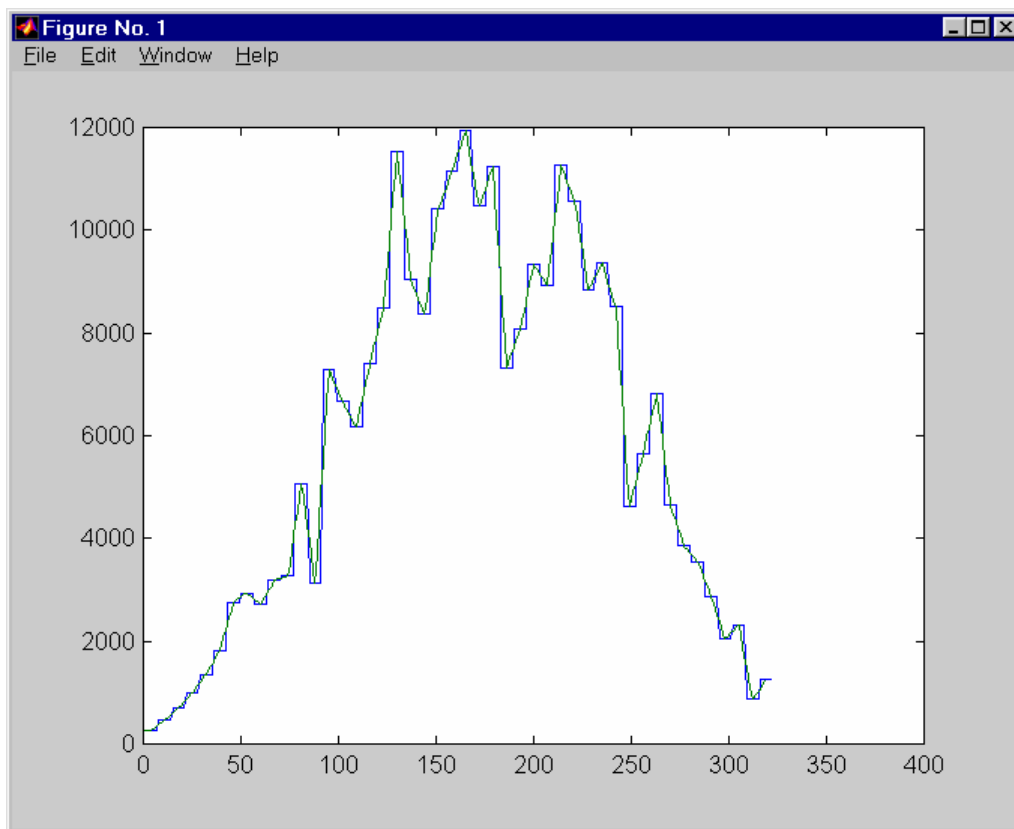
### 5.2 Organisatie van het model

Het model PepSim1.m is geprogrammeerd als functie in Matlab 5.2. Deze functie roept verschillende subfuncties aan. Het model is zo georganiseerd dat achtereenvolgens verschillende taken worden uitgevoerd:

STAP 1: LAAD PARAMETERS; Alle parameters staan in de matrix PARAM die wordt gegenereerd door de functie ParamList.m

STAP 2: LAAD DATASETS GEWASWAARNEMINGEN; Datasets ZETOBS en UGDOBS worden gegenereerd door de functies ZetData.m en UgdData.m; deze sets zijn op weekbasis. Ze worden omgezet naar dagbasis door de functie Week2Dag.m, die intern nog de afvlakfunctie MovAvg7 aanroept.

STAP 3: LAAD DATASETS KASKLIAMAAT; Datasets AWT (average weekly temperature) en STSGEWAS (stralingssom per week geabsorbeerd door het gewas) worden gegenereerd door de functies AwtData.m en SsumData.m, die vervolgens weer naar dagbasis worden geconverteerd. Er is een mogelijkheid om de temperatuur te corrigeren door de grootte van de temperatuurafwijking te specificeren in ParamList.m (default = 0). De omrekening van globale straling naar geabsorbeerde straling gaat volgens de klassieke formules: factor kastransmissie, schatting van de LAI op basis van gewasleeftijd, lichtabsorptie als exponentiële functie van LAI.



*Omrekenen van weekregistratie naar dagbasis: gegevens over plantbelasting en oogst komen 1 x per week binnen. Deze gegevens worden omgerekend naar dagbasis met een 'moving average' afvlakroutine. Eerst krijgt hierbij elke dag van de week de gemiddelde waarde van die week. Vervolgens wordt deze waarde gemiddeld met die van de voorafgaande 3 dagen en de erna komende 3 dagen. De procedure werkt dus alleen bij het rekenen achteraf; als de data voor de eerstvolgende week niet bekend zijn kan de berekening niet op deze manier worden uitgevoerd.*

STAP 4: SIMULATIES; er zijn data voor 4 verschillende afdelingen. Deze worden met een for:end-loop afgehandeld. Eerst worden per afdeling de structuren VMAT (virtuele plant) en OMAT (oogstgegevens) opgezet. Vervolgens worden de berekeningen per dag weer door een for:end-loop afgehandeld die genest is binnen de afdelingsloop.

De dagroutine bestaat uit het registreren van de waargenomen zetting in VMAT. Vervolgens wordt de plantbalans berekend met behulp van de functies CalcSinkVeg.m, CalcSink1.m, en CalcPlantBal. Op basis

van de temperatuur en de plantbalans wordt vervolgens de ontwikkeling voor de betreffende dag berekend en worden de resultaten weggeschreven in VMAT. De invloed van de plantbalans op de dagelijkse ontwikkeling hangt er van af of de kop nog in het gewas zit of niet. Daarna wordt gekeken welke vruchten oogstbaar zijn. Deze worden uit VMAT gehaald en in OMAT gezet.

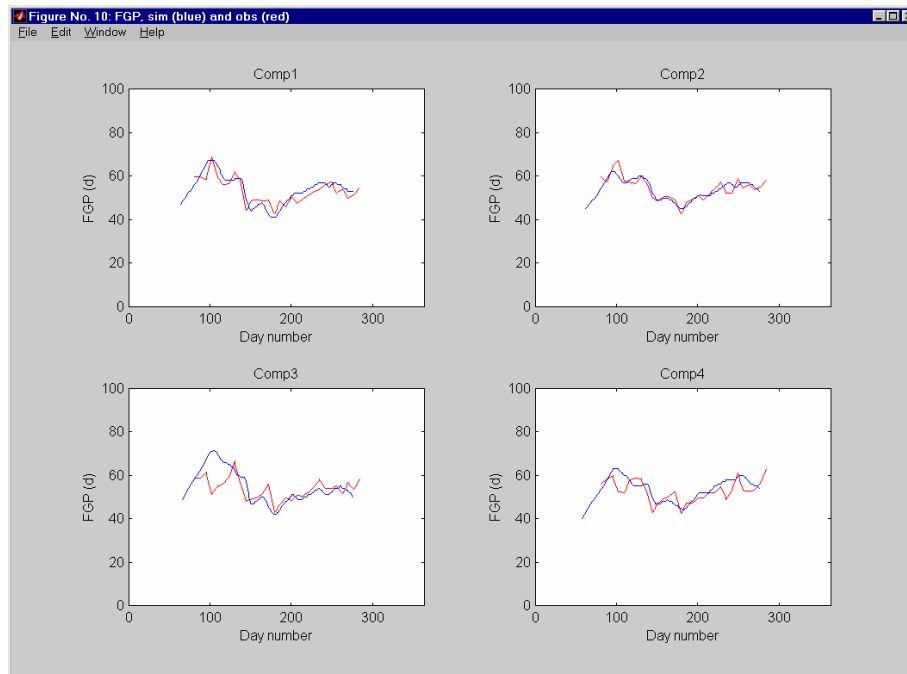
STAP 5: Omdat er zich in OMAT meerdere regels kunnen bevinden met hetzelfde oogstdagnummer word OMAT door de functie OmatConv.m omgezet in 2 nieuwe matrixen: OMATDDCUM en OMATDDAVG, waarin regels met gelijk oogstdagnummer respectievelijk zijn gesommeerd en gemiddeld.

Als STAP 6 worden de resultaten geplot. Er worden 3 plotjes gemaakt met elk 4 subplots per afdeling.

Plot 1: verloop van uitgroei duur in de tijd, per plot gesimuleerd en waargenomen.

Plot 2: regressie van gesimuleerde tegen waargenomen uitgroei duur, met berekening van  $R^2$  al maat voor goodness of fit.

Plot 3: gesimuleerde schijnbare temperatuursom van geogste vruchten, uitgezet tegen de regressielijn, berekend uit waarnemingen.

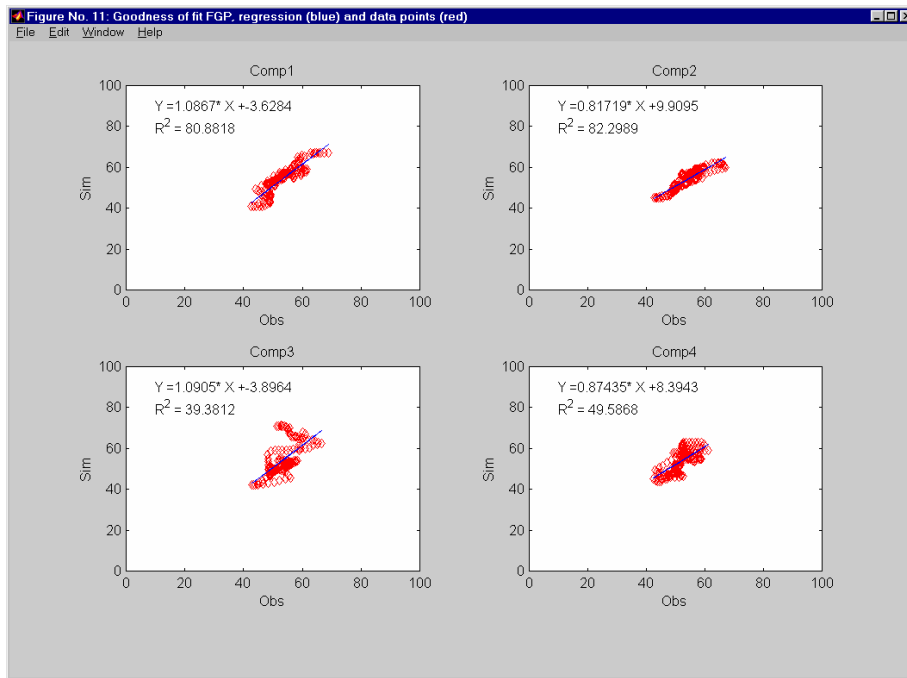


*Weergaven van  
gesimuleerde (blauw)  
en waargenomen  
uitgroei duur*

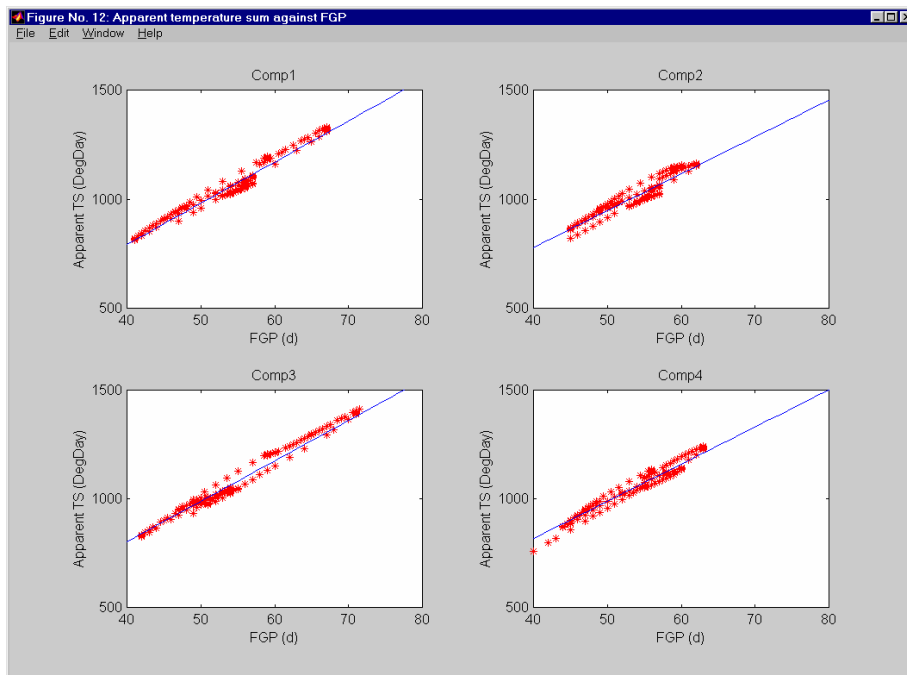
## 5.3 Resultaten

Resultaten van de simulaties staan weergegeven in de vorm van de door het model gegenereerde plotjes. De data zijn afkomstig uit de praktijkdemonstratie Econaut CTI. De bovenste 2 plots betreffen conventioneel geregelde afdelingen, de onderste 2 zijn door de Econaut geregeld. De fit is hier rond dag 100 wat minder goed. Het is niet duidelijk waar dat aan ligt.





*Gesimuleerde uitgroeiduur uitgezet tegen waargenomen uitgroeiduur, en berekende overeenstemming. In een ideaal geval is de x-coëfficiënt 1, de constante 0 en  $R^2=1$*



*Schijnbare temperatuursommen uitgezet tegen de uitgroeiduur (FGP). De blauwe lijn geeft de calibratie van het model weer*

## 6 PepSim2.1

### 6.1 Beschrijving van het simulatiemodel voor uitgroeiduur van vruchten en vruchtgewicht

In maart 2003 was de tweede versie van het model klaar. PepSim2 werkt wat betreft organisatie en voorspelling van uitgroeiduur hetzelfde als PepSim1. Functies voor de voorspelling van productie (aantallen en gewichten per week) en gemiddeld vruchtgewicht zijn als modules toegevoegd in de loopstructuur.

Het aantal dagelijks oogstbare vruchten (productie in stuks/m<sup>2</sup>) werd in principe al berekend door het model voor uitgroeiduur PepSim1. De productie in kg/m<sup>2</sup> wordt berekend aan de hand van een klassieke koolstofbalans. De beschikbare hoeveelheid assimilaten wordt berekend als een verzadigingsfunctie van de geschatte hoeveelheid licht die is geabsorbeerd door het gewas, vermenigvuldigd met een lichtproductiviteitsfactor. Deze assimilaten worden gebruikt om de respiratielasten te dekken; het restant is beschikbaar voor de groei.

De assimilaten voor groei worden verdeeld volgens de klassieke methode van relatieve sinksterkte. In het geval van sinklimitering wordt het overschot aan assimilaten bewaard in een buffer; deze assimilaten zijn de volgende dag weer beschikbaar. De buffer heeft een beperkte opslagcapaciteit en wordt gevuld volgens een verzadigingsfunctie. De het deel van het overschot aan assimilaten dat niet in de buffer past is gewoon weg (de fysiologische vertaling is feedback-remming van de fotosynthese).

### 6.2 Organisatie van het model

Het model is zo georganiseerd dat achtereenvolgens verschillende taken worden uitgevoerd.

STAP 1: LAAD PARAMETERS; Alle parameters staan in de matrix PARAM die wordt gegenereerd door de functie ParamList.m

STAP 2: LAAD DATASETS GEWASWAARNEMINGEN Datasets ZETOBS en UGDOBS worden gegenereerd door de functies DataZet.m en DataUgd.m. De datasets STOBS en KGOBS worden gegenereerd door de functies DataProdSt en DataProdKg. Deze sets zijn op weekbasis. De gegevens worden omgezet naar dagbasis door de functie ConvWeek2Dag.m, die intern nog de afvlakfunctie ConvMovAvg7 aanroept.

STAP 3: LAAD DATADSETS KASKLIMAAT Datasets AWT (average weekly temperature) en STSGEWAS (stralingssom per week geabsorbeerd door het gewas) worden gegenereerd door de functies DataAwt.m en DataSsum.m, die vervolgens weer naar dagbasis worden geconverteerd. Er is een mogelijkheid om de temperatuur te corrigeren. De omrekening van globale straling naar geabsorbeerde straling gaat volgens de klassieke formules: factor kastransmissie, schatting van de LAI op basis van gewasleeftijd, lichtabsorptie als exponentiële functie van LAI.

STAP 4: SIMULATIES Er zijn data beschikbaar voor 4 verschillende afdelingen. Deze worden met een for:end loop afgehandeld. Eerst worden de structuren VMAT (virtuele plant) en OMAT (oogstgegevens) opgezet. Vervolgens worden de berekeningen per dag weer door een for:endloop afgehandeld die genest is binnen de afdelingsloop.

De dagroutine bestaat uit het registreren van de waargenomen zetting in VMAT. Vervolgens wordt de plantbalans berekend met behulp van de functies CalcSinkVeg.m, CalcSink1.m, en CalcPlantBal. Op basis

van de dagtemperatuur en de plantbalans wordt vervolgens de ontwikkeling voor de betreffende dag berekend en worden de resultaten weggeschreven in VMAT. De invloed van de plantbalans op de dagelijkse ontwikkeling is afhankelijk van de vraag of de kop nog in het gewas zit of niet.

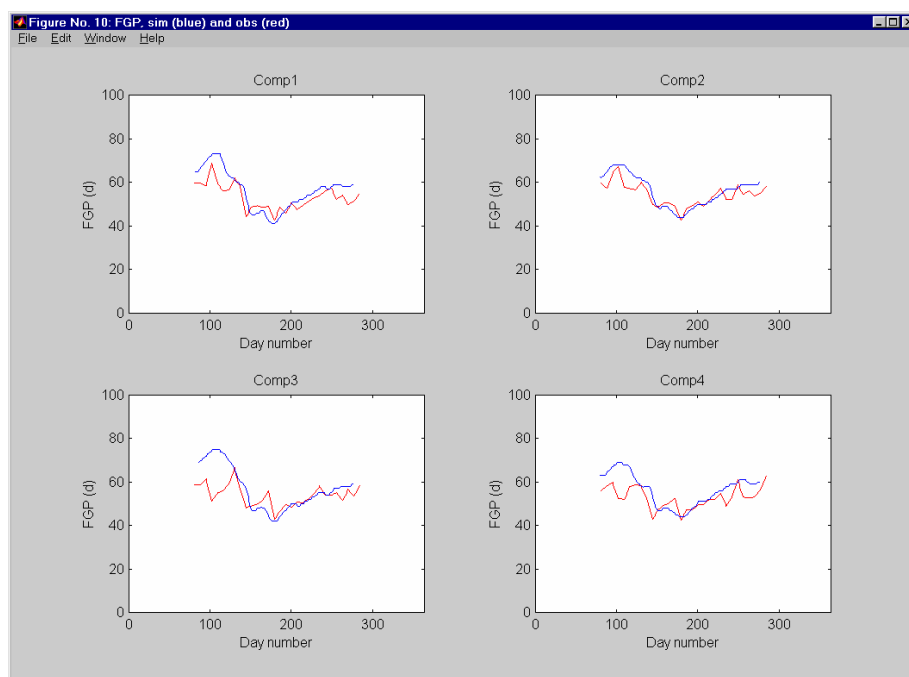
De groeifunctie CalcDagGroei.m is geprogrammeerd als een enkele module. Deze functie roept een rijtje gespecialiseerde subfuncties aan: CalcAssim.m om de assimilatie te berekenen, CalcRespVeg.m en CalcRespGen.m berekenen de respiratielasten van de vegetatieve respectievelijk generatieve delen. De dagelijkse assimilatie wordt vermeerderd met de inhoud van de CH-buffer en vermindert met de respiratielasten; het resultaat is de dagelijkse hoeveelheid assimilaten die beschikbaar is voor groei. De assimilaten worden verdeeld aan de hand van de relatieve sinksterkte, berekend door CalcPGroeiVeg.m en CalcPGroeiGen.m. De vegetatieve potentiële groei is een scalaire waarde, de generatieve is een vector met waarden per zettingsdag. De berekende vruchtgroei is weer een vector met waarden voor groei per zettingsdag. In het geval van sinkgelimiteerde groei blijven er assimilaten over; deze worden opgeslagen in de buffer

Vervolgens wordt gekeken welke vruchten oogstbaar zijn (ontwikkelingsstadium  $\geq 1$ ). Deze worden uit VMAT gehaald en in OMAT gezet.

STAP 5: Omdat er zich in OMAT meerdere regels kunnen bevinden met hetzelfde oogstdagnummer word OMAT door de functie OmatConv.m omgezet in 2 nieuwe matrixen: OMATDDCUM en OMATDDAVG, waarin regels met gelijk oogstdagnummer respectievelijk zijn gesommeerd en gemiddeld.

Als STAP 6 worden de resultaten geplote. Er worden plotjes gemaakt met elk 4 subplots per afdeling.

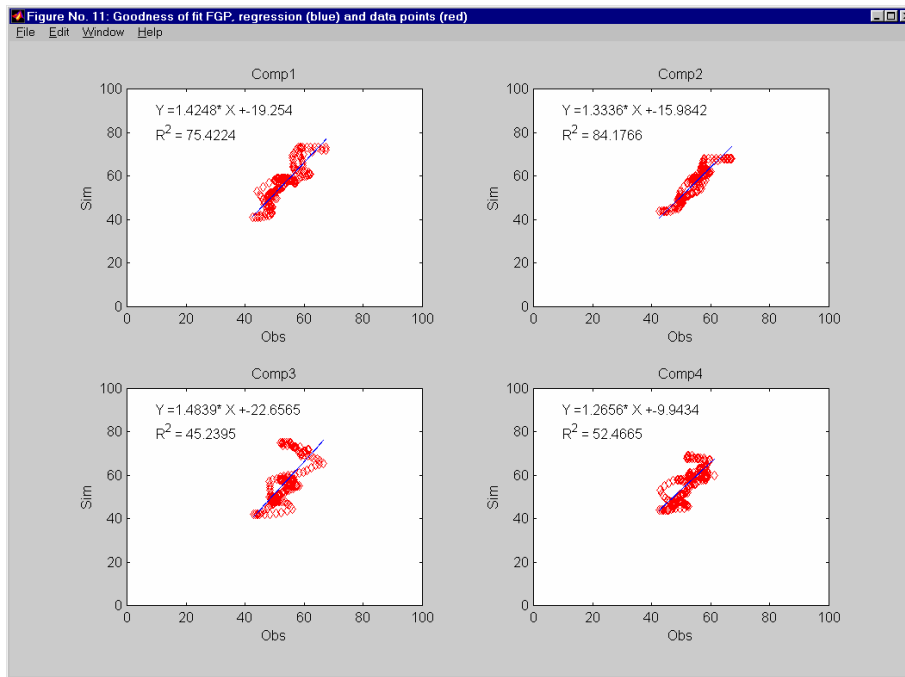
- Plot 10: verloop van uitgroeiduur in de tijd, per plot gesimuleerd en waargenomen.
- Plot 11: regressie van gesimuleerde tegen waargenomen uitgroeiduur, met berekening van lineaire regressie en  $R^2$  al maat voor goodness of fit.
- Plot 12: gesimuleerde schijnbare temperatuursom van geogste vruchten, uitgezet tegen de regressielijn, berekend uit waarnemingen.
- Plot 20: Productie in  $\text{kg/m}^2$ , gesimuleerd en waargenomen.
- Plot 30: Productie in stuks/ $\text{m}^2$ , gesimuleerd en waargenomen
- Plot 40: Gemiddeld vruchtgewicht (g), gesimuleerd en waargenomen
- Plot 50: CH-balans: verloop van de verschillende balanscomponenten in de tijd



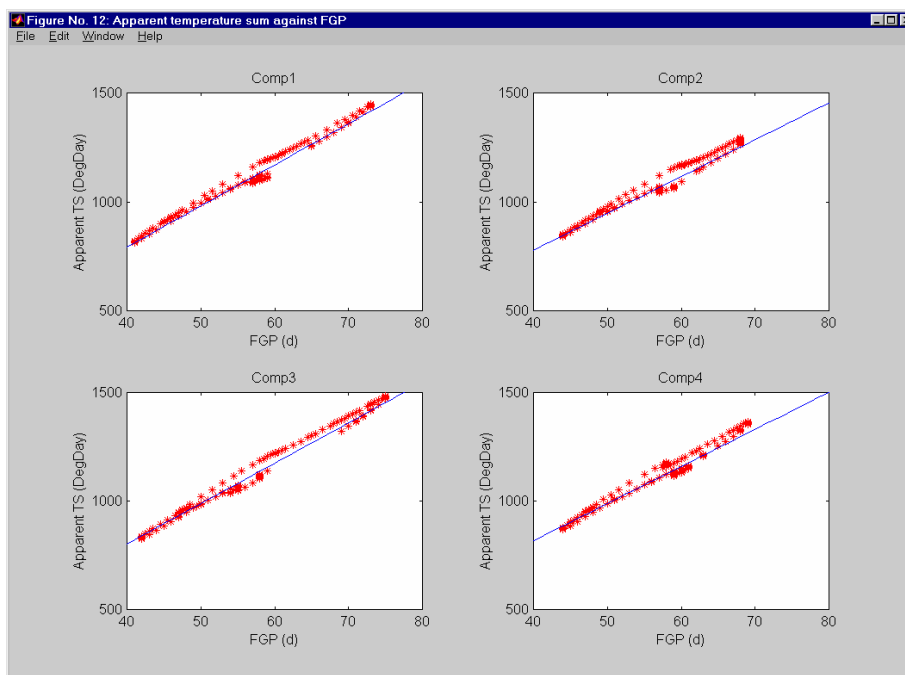
*Weergaven van  
gesimuleerde (blauw)  
en waargenomen  
uitgroeiduur*

## 6.3 Resultaten

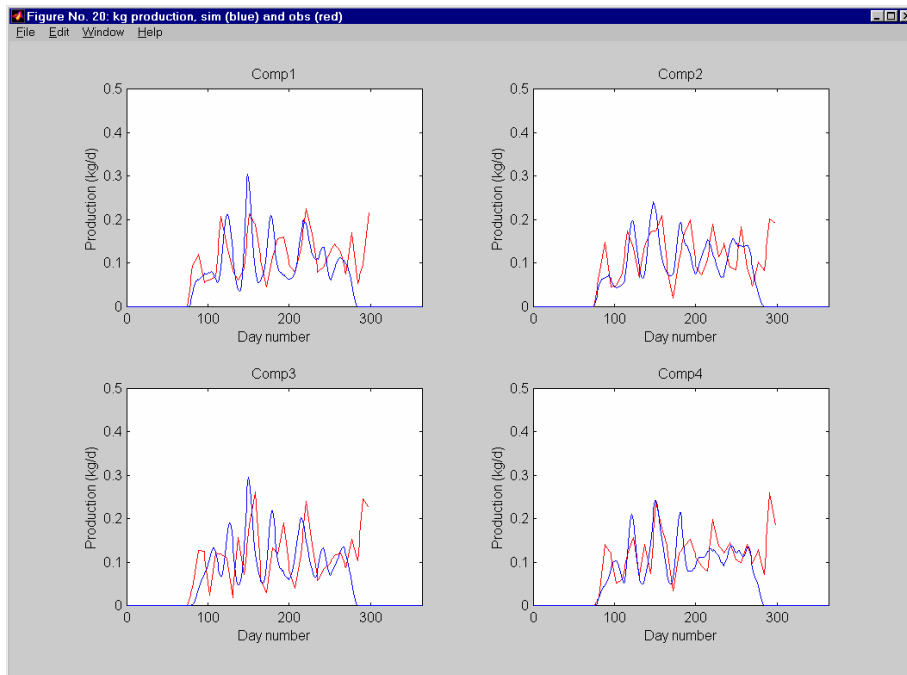
Resultaten van de simulaties staan hieronder weergegeven in de vorm van de door het model gegenereerde plotjes. De data zijn afkomstig uit de praktijkdemonstratie Econaut CTI. De bovenste 2 plots betreffen conventioneel geregelde afdelingen, de onderste 2 zijn door de Econaut geregeld. De fit van uitgroei duur (fig. 10) is hier aanvankelijk wat minder goed. Het model berekent dat in de CTI-afdelingen de eerste twee vluchten een flinke vertraging opleveren.



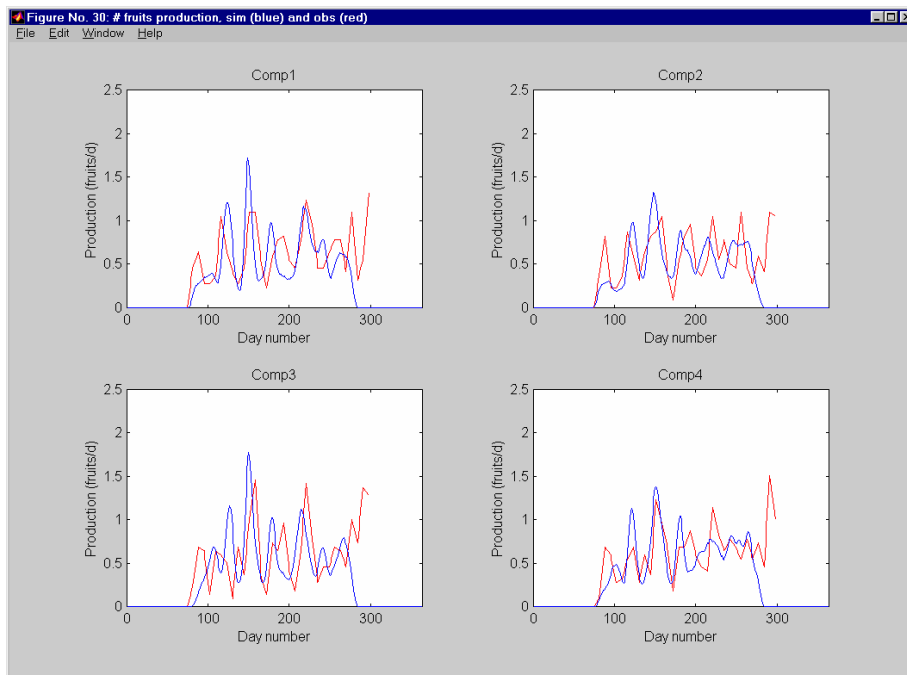
*Gesimuleerde uitgroei duur uitgezet tegen waargenomen uitgroei duur, en berekende overeenstemming. In een ideaal geval is de x-coëfficiënt 1, de constante 0 en  $R^2 = 1$*



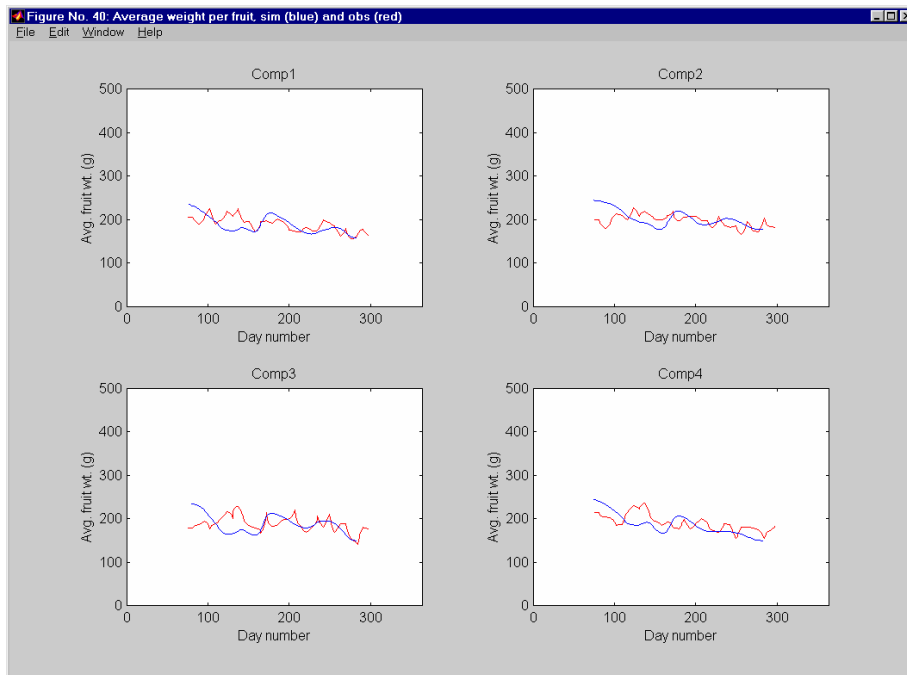
*Schijnbare temperatuursommen uitgezet tegen de uitgroei duur (FGP). De blauwe lijn geeft de calibratie van het model weer*



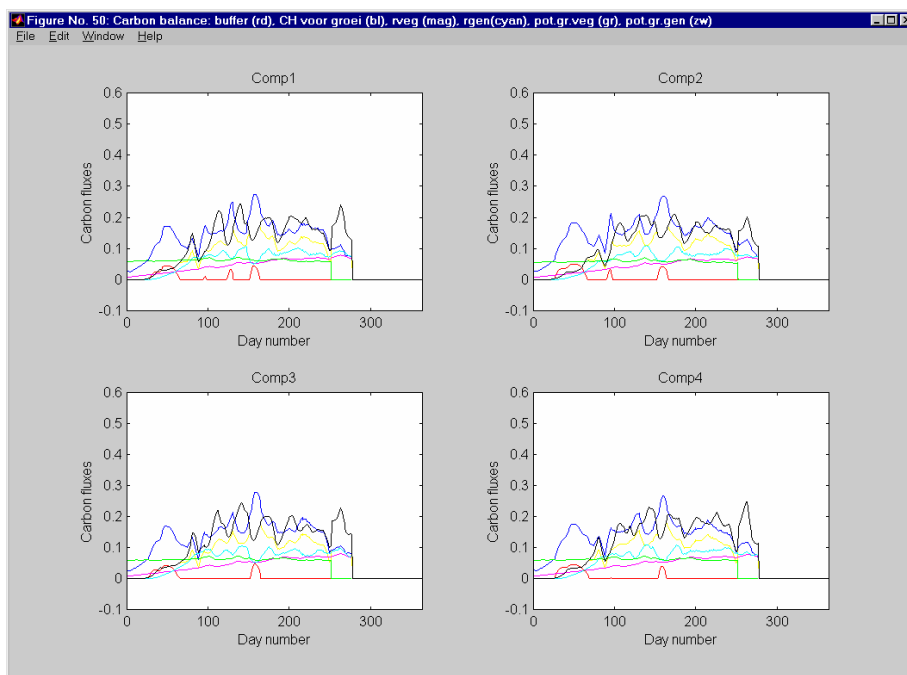
*Productie in kg m<sup>2</sup> gesimuleerd (blauw) en waargenomen (rood)*



*Productie in stuks m<sup>2</sup> gesimuleerd (blauw) en waargenomen (rood)*



*Verloop van het gemiddeld vruchtgewicht, gesimuleerd (blauw) en waargenomen (rood)*



*Verloop van de door het model gesimuleerde hoeveelheden assimilaten*

De stuksproductie (fig. 30) is robuust qua aantallen vruchten; zolang de uitgroeiduur niet onrealistisch lang is komen alle gezette vruchten van de plant af. De zetting wordt in deze versie niet gesimuleerd maar is gebaseerd op het inlezen van geregistreerde data. Afwijkingen in berekende uitgroeiduur veroorzaken verschuivingen in de plaats van de pieken op de tijdas. In afdeling 3 en 4 berekent het model een te grote vertraging rond dag 100. Dit is terug te zien in het feit dat de eerste twee pieken in fig 30, afd. 3 en 4 te laat komen t.o.v. de waargenomen productie. Verder is duidelijk dat er een discrepantie is tussen aantallen gezette en geoogste vruchten. Vooral in afd. 1 en 2 is de eerste waargenomen piek veel groter dan de gesimuleerde, wat erop wijst dat de geregistreerde zetting niet klopt. In alle afdelingen lijkt de vierde piek in de simulatie te klein t.o.v. de geregistreerde aantallen.

De productie in  $\text{kg/m}^2$  (fig. 20) volgt het beeld van de stuksproductie nauwkeurig. Het gemiddeld

vruchtgewicht (fig. 40) is berekend uit de gegevens in figs 20 en 30, en laat een redelijke overeenstemming zien tussen gesimuleerd en waargenomen.

Functie:	Omschrijving:
PepSim2	De hoofdfunctie
DataAwt.m	Temperaturen op weekbasis
DataSsum.m	Stralingssom per week
DataZet.m	Zettingsgegevens
DataUgd.m	Gegevens uitgroeiduur
DataProdSt.m	Registratie geoogste aantallen vruchten
DataProdKg.m	Registratie geoogste kg vruchten
ConvWeek2Dag.m	Omrekenen weekgegevens naar dagbasis
ConvMovAvg7.m	Vloeiend maken daggegevens
ConvOmat.m	Bewerken Oogstmatrix
CalcAssim.m	Bereken assimilatie
CalcRespVeg.m	Bereken vegetatieve respiratielasten
CalcRespGen.m	Bereken generatieve respiratielasten
CalcPGroeiVeg.m	Vegetatieve sinksterkte
CalcPGroeiGen.m	Generatieve sinksterkte
CalcSinkVeg.m	Restant uit Pepsim1
CalcSink1	Restant uit PepSim1
CalcDagGroei.m	Allocatie dagelijkse groei op basis van relatieve sinksterkte
CalcDagOntw.m	Dagelijkse toename ontwikkelingsstadium
PlotAvgFrWt.m	Grafiek gemiddeld vruchtgewicht
PlotCarbBal.m	Grafiek verloop koolstofbalansen
PlotKgProd.m	Grafiek productie in kg/d
PlotStProd.m	Grafiek aantal vruchten/d
PlotUgd.m	Grafiek uitgroeiduur
ParamList.m	Alle parameters van het model

*Een lijst van de verschillende functies die onderdeel vormen van het model Pepsim 2.1*

## 6.4 Discussie

Technisch leek het model redelijk goed te draaien. Er zit momenteel veel overlap in de berekening van de plantbalans t.b.v. het simuleren van de uitgroeiduur en de expliciete source / sinkbalans voor de berekening van de kg-productie. In principe moet het mogelijk zijn om een schatting van de plantbalans te maken op basis van de gegevens in fig. 50. NB dit is later in PepSim 3.1 inderdaad gerealiseerd.

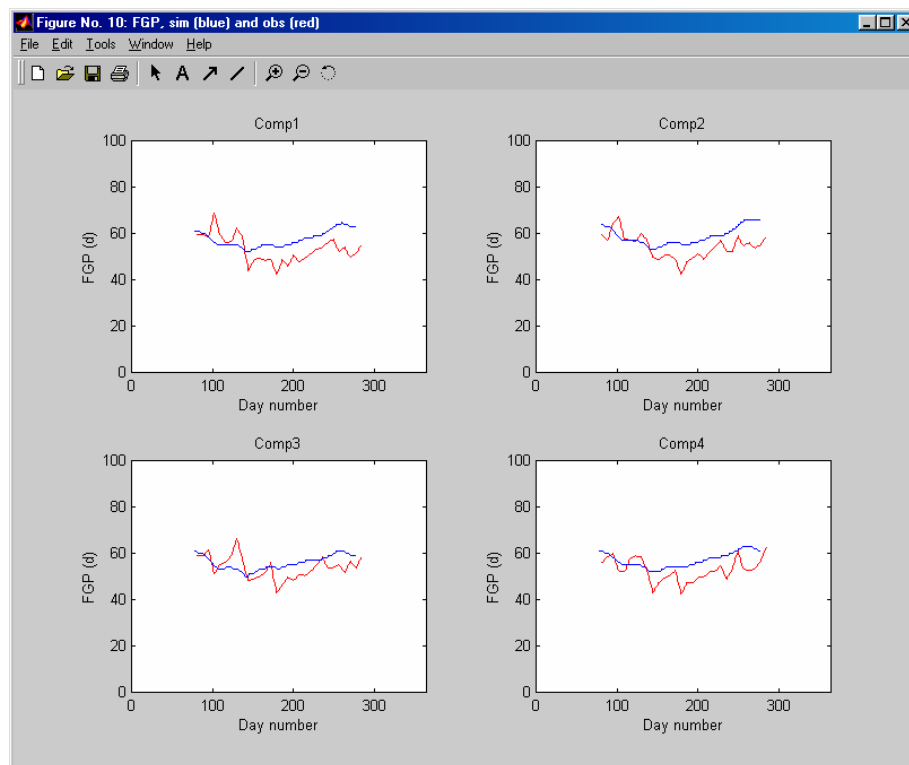
Er was discussie over de mogelijkheid van het clusteren van informatie per zettingsgolf als alternatief voor het bijhouden van informatie per dagcohort. Dat zou het model aanzienlijk kunnen vereenvoudigen en wellicht ook robuuster maken. Er is een programma'tje beschikbaar om pieken in de datasets te clusteren, maar er is nog geen poging ondernomen om dit te combineren met het PepSim model versie 2.1

Er wordt in deze versie van Pepsim geen rekening gehouden met nodiumnummers. Er is gedetailleerde informatie beschikbaar om afsplitsing van nodia te kunnen simuleren, maar dit werk is nog niet in Pepsim geïntegreerd.

## 7 PepSim 3.1

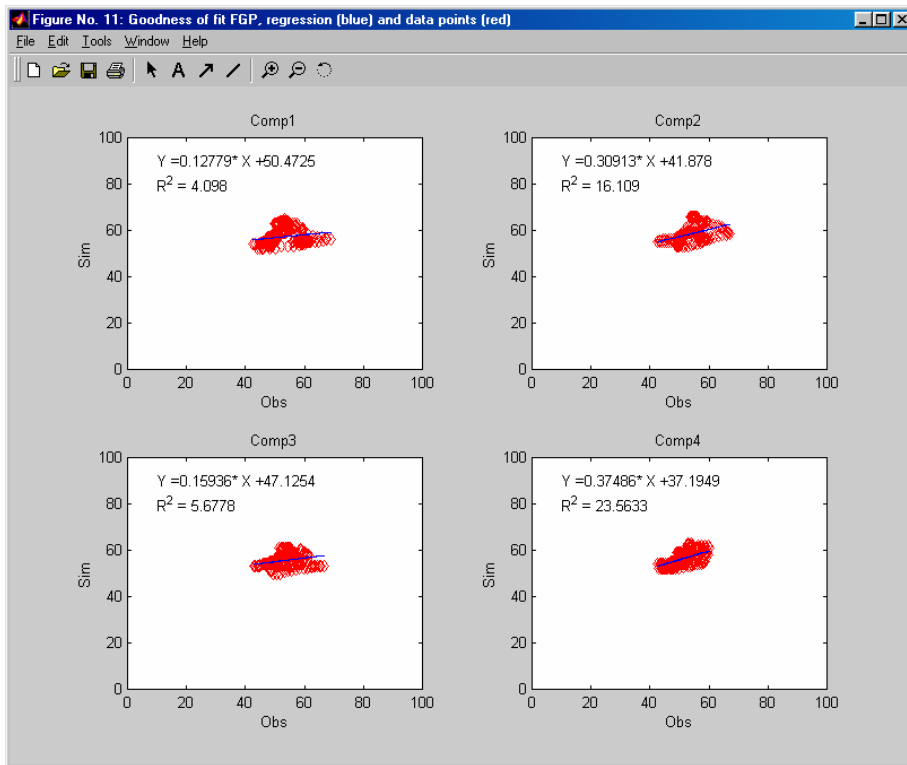
### 7.1 Beschrijving van het model

PepSim3.1 is een meer geïntegreerde versie van PepSim2.1. Er is voor het hele model een gemeenschappelijke berekening van source/sink, en deze wordt zowel gebruikt voor het berekenen van uitgroei duur als voor de assimilatenverdeling. Ook is de calibratie van het model geoptimaliseerd ten opzichte van de voorganger. Om de opeenvolging van pieken goed gecalibreerd te krijgen bleek de oorspronkelijke fit van uitgroei duur uit Pepsim1 te moeten worden verlaten. In de eerste grafiek is te zien dat het verloop van de gefitte uitgroei duur veel meer constant was dan de waargenomen data. De reden voor deze discrepantie is niet helemaal duidelijk geworden. Een mogelijke verklaring lijkt te zijn dat bij de oorspronkelijke calibratie de gegevens van alle weken evenveel gewicht hadden, terwijl het aantal vruchten dat per week werd geoogst sterk verschilde. Deze effecten zijn inzichtelijk gemaakt door middel van een setje hulpprogramma's, waarmee input- en output van zetting en oogst werd opgemeten en ingedeeld. Het gaat om de modules PiekInt.m, SV2.m en CalcNormPiek. Deze modules kunnen zo worden ingesteld dat kleine onregelmatigheden in de data worden uitgefilterd en de vorm van een piek wordt genormaliseerd.

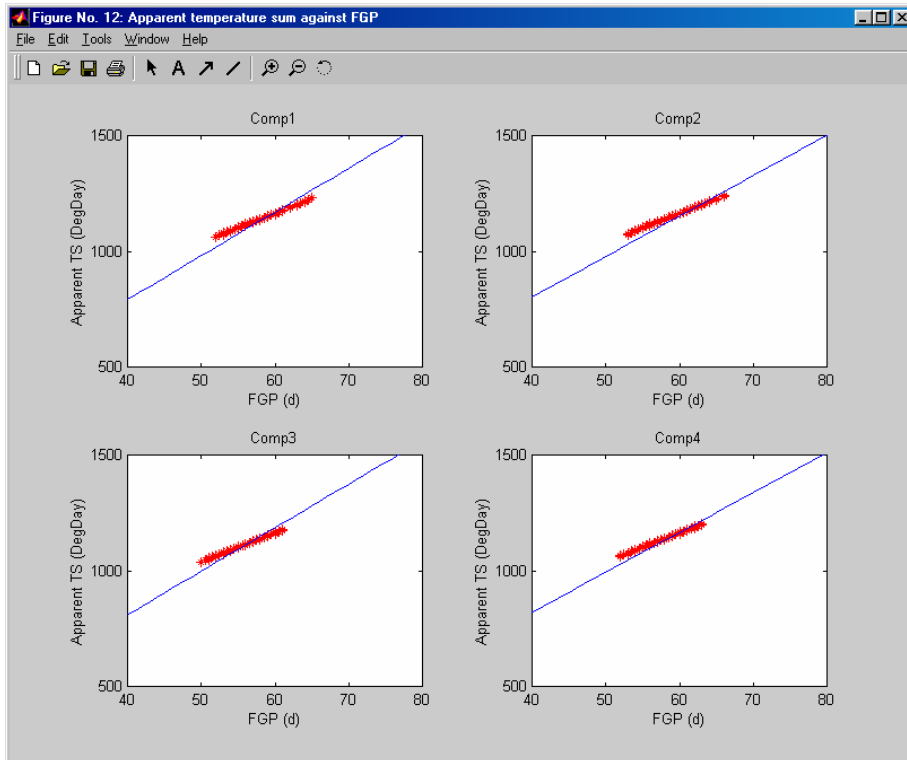


*Weergaven van  
gesimuleerde (blauw)  
en waargenomen  
uitgroei duur*

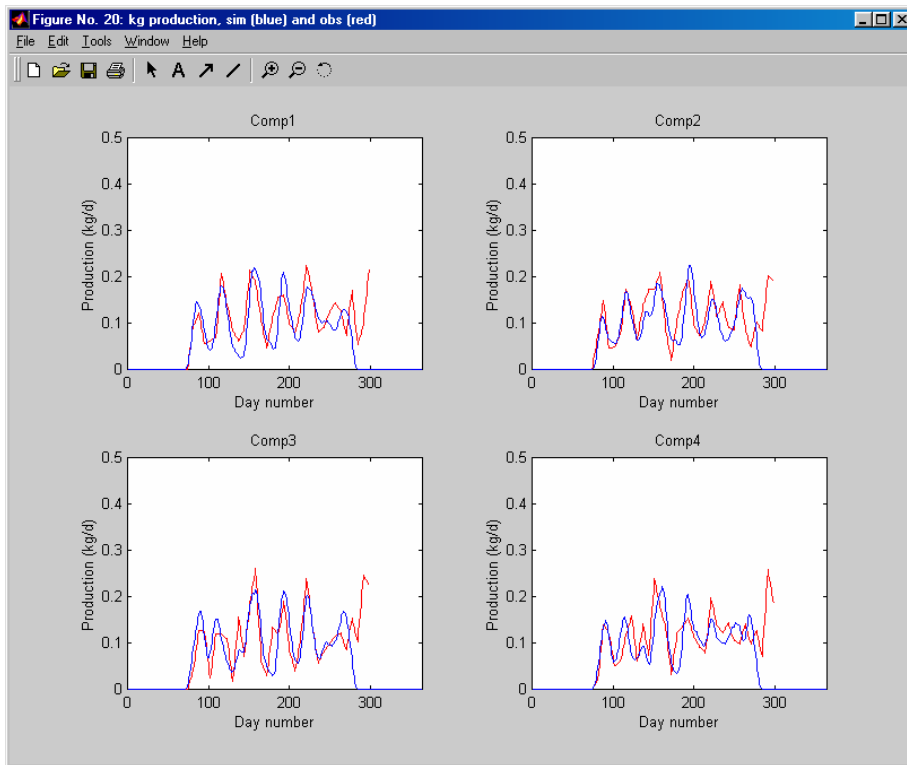




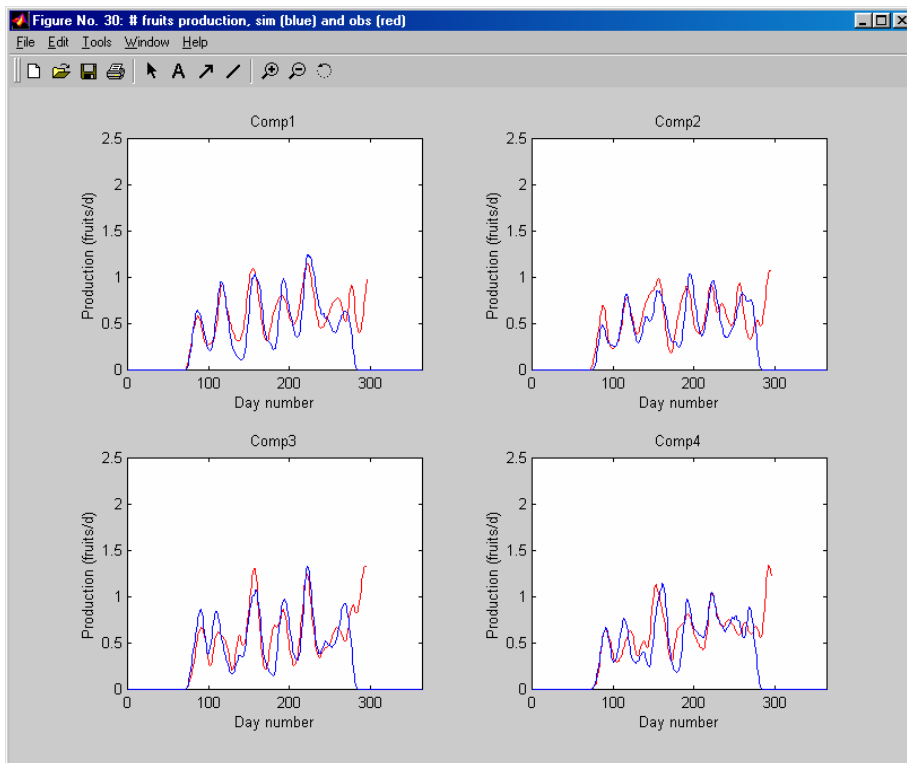
*Gesimuleerde uitgroei duur uitgezet tegen waargenomen uitgroei duur, en berekende overeenstemming. In een ideaal geval is de x-coëfficiënt 1, de constante 0 en  $R^2=1$*



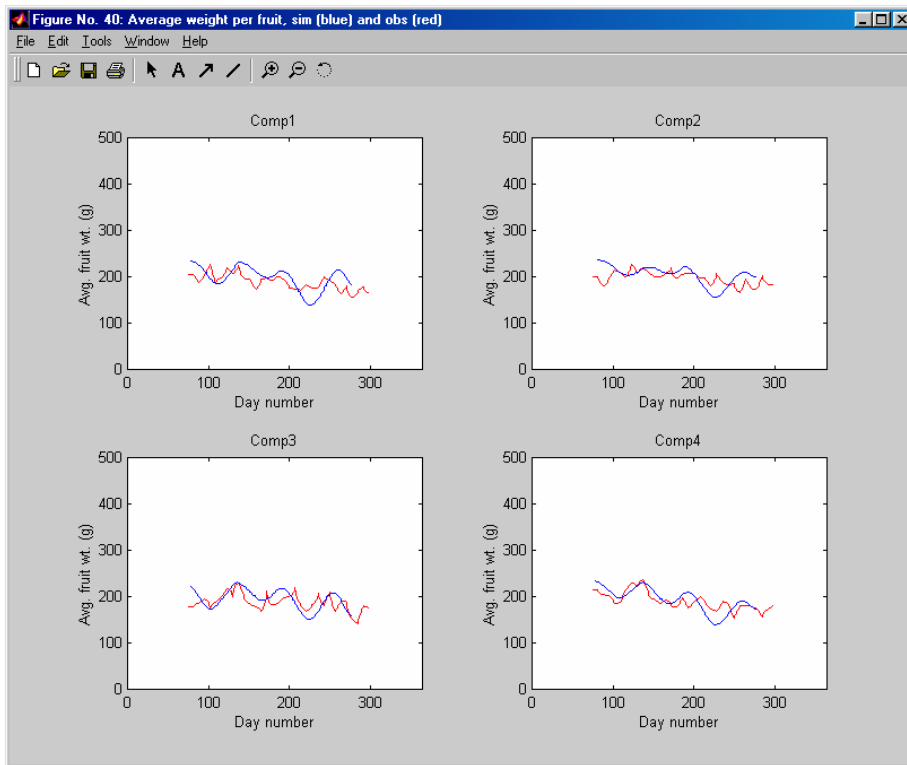
*Schijnbare temperatuursommen uitgezet tegen de uitgroei duur (FGP). De blauwe lijn geeft de calibratie van het model weer*



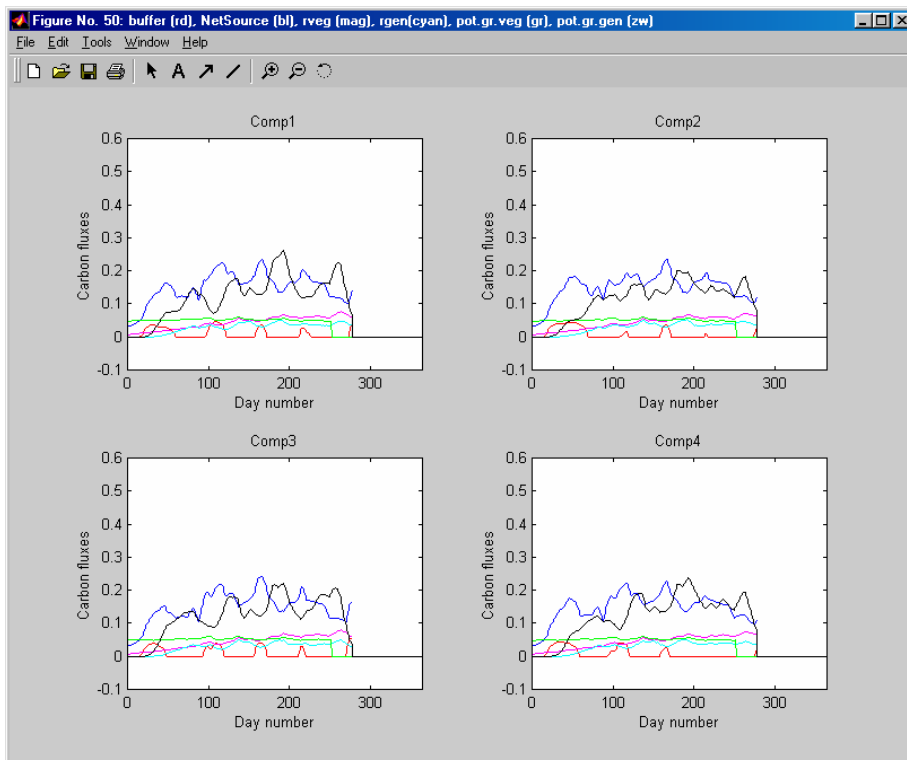
*Productie in  $\text{kg m}^2$   
gesimuleerd (blauw) en  
waargenomen (rood)*



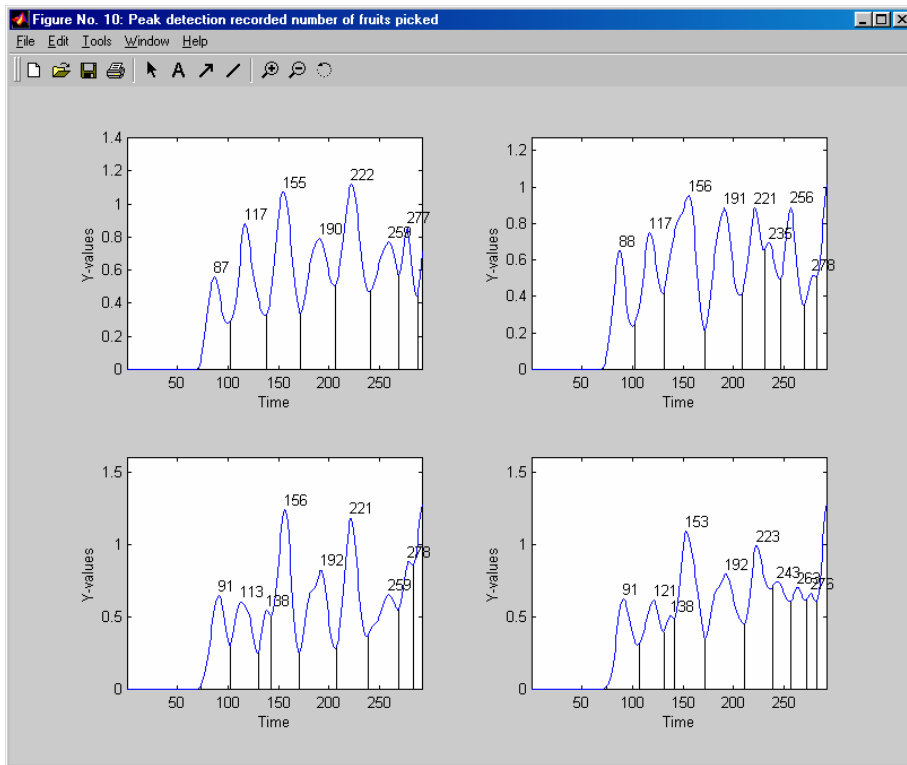
*Productie in stuks  $\text{m}^2$   
gesimuleerd (blauw) en  
waargenomen (rood)*



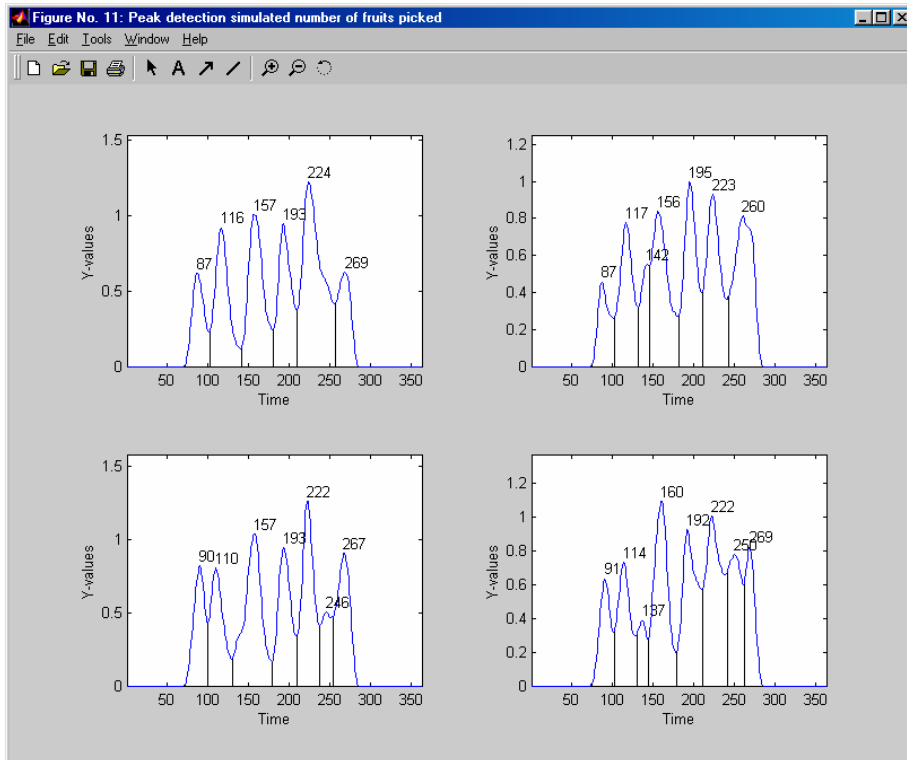
*Verloop van het gemiddeld vruchtgewicht, gesimuleerd (blauw) en waargenomen (rood)*



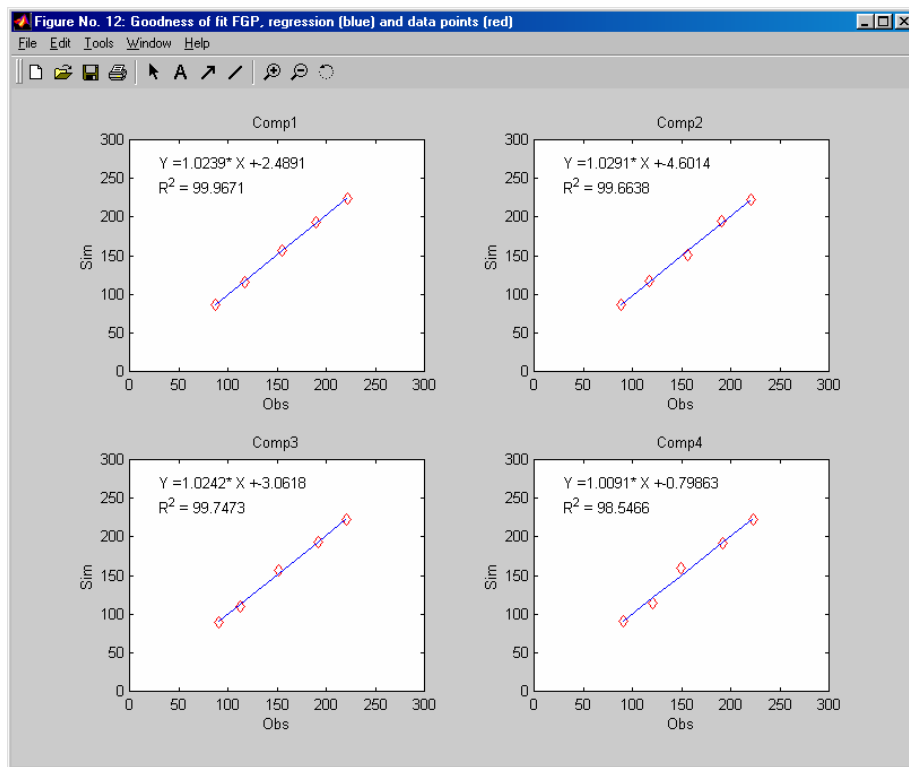
*Verloop van de door het model gesimuleerde hoeveelheden assimilaten*



*Piekdetectie van het waargenomen aantal vruchten geoogst per week*



*Piekdetectie van het berekende aantal vruchten geoogst per week*



*Gesimuleerde locatie van oogstpieken in de tijd, uitgezet tegen de pieklocatie van de geregistreerde gegevens. De blauwe lijn geeft de regressie weer waarmee de overeenstemming wordt bepaald*

Piek	waarge-nomen	gesimulee rd	lineaire regressie	Piek	waarge-nomen	Gesimuleerd	lineaire regressie
Afd.1				Afd.2			
1	87	87	86.59	1	88	87	85.96
2	117	116	117.31	2	117	117	115.81
3	155	157	156.22	3	156	150.50	155.94
4	190	193	192.06	4	191	195	191.96
5	222	224	224.82	5	221	223	222.83
Afd.3				Afd.4			
1	91	90	90.14	1	91	91	91.03
2	113	110	112.67	2	121	114	121.30
3	151.74	157	152.34	3	148.95	160	149.50
4	192	193	193.56	4	192	192	192.95
5	221	222	223.28	5	223	222	224.23

*Bovenstaande tabel geeft voor de eerste vijf productiepieken in de vier afdelingen van de calibratiedataset het dagnummer van het maximum van de piek, berekend uit registratiegegevens en uit gesimuleerde pieken door PepSim 3.1. De derde kolom geeft het corresponderende dagnummer berekend op basis van lineaire regressie van de gesimuleerde pieken.*

Functie:	Omschrijving:
PepSim3	De hoofdfunctie
DataAwt.m	Temperaturen op weekbasis
DataSsum.m	Stralingssom per week
DataZet.m	Zettingsgegevens
DataUgd.m	Gegevens uitgroeiduur
DataProdSt.m	Registratie geoogste aantallen vruchten
DataProdKg.m	Registratie geoogste kg vruchten
ConvWeek2Dag.m	Omrekenen weekgegevens naar dagbasis
ConvMovAvg7.m	Vloeiend maken daggegevens
ConvOmat.m	Bewerken Oogstmatrix
CalcSource.m	Bereken assimilatie
CalcRespVeg.m	Bereken vegetatieve respiratielasten
CalcRespGen.m	Bereken generatieve respiratielasten
CalcPGroeiVeg.m	Vegetatieve sinksterkte
CalcPGroeiGen.m	Generatieve sinksterkte
PBRichards2.m	Samengestelde richardsfunctie vrucht
CalcDagGroei.m	Allocatie dagelijkse groei op basis van relatieve sinksterkte
CalcDagOntw.m	Dagelijkse toename ontwikkelingsstadium
PiekInt.m	Piekintegrator, detecteert zettings- en oogstpieken en registreert locatie en oppervlakte.
CalcNormPiek.m	Standaard gausspiek
SV2.m	Voegt zettings- of oogstpieken samen met alle schoudertjes eromheen
PlotAvgFrWt.m	Grafiek gemiddeld vruchtgewicht
PlotCarbBal.m	Grafiek verloop koolstofbalansen
PlotKgProd.m	Grafiek productie in kg/d
PlotStProd.m	Grafiek aantal vruchten/d
PlotUgd.m	Grafiek uitgroeiduur
ParamList.m	Alle parameters van het model

*Een lijst van de verschillende functies die onderdeel vormen van het model Pepsim 3.1.*

## 8 PepSim 4.1

### 8.1 Rekenen op basis van wekelijkse invoer

De voorgaande versies van Pepsim waren geprogrammeerd om alleen achteraf een complete geregistreerde teelt na te kunnen rekenen. Voor een daadwerkelijke oogstvoorspelling is het echter nodig om in wekelijkse stappen vooruit te kunnen rekenen op basis van de registratie tot dan toe en de invoer van de betreffende week. Het format van de weekgegevens die in deze versie van het model moesten worden ingevoerd was gelijk aan dat van de LetsGrow internetapplicatie. Om vooruit te kunnen rekenen is ook informatie nodig over de te verwachten klimaatomstandigheden. Met als doel om een grotere nauwkeurigheid in de voorspelling te realiseren voorzag PepSim 4.1 in de mogelijkheid om geregistreerde weekgegevens te clusteren tot zettingspieken, die in het model afzonderlijk werden gevolgd tot aan de oogst. Ruis in de registraties werd weggefilterd, en kleine pieken op de flanken van grotere werden met die grotere gecombineerd. De vorm van de pieken werd genormaliseerd tot gausskrommen van de zelfde oppervlakte. Het model is zo opgezet dat alle functies voor groei en assimilatenverdeling uit PepSim 3.1 eenvoudig zijn toe te voegen om een voorspelling van oogstgewichten te kunnen berekenen. Ook kan hierdoor wekelijks informatie worden gegeven over de huidige energiebelasting van het gewas en de te verwachten ontwikkeling daarvan gedurende de eerstvolgende weken. De ontwikkelingsfunctie uit PepSim 3.1 is vereenvoudigd en houdt voor de uitgroei duur geen rekening meer met de plantbalans. Dit bleek voor de berekening van uitgroei duur van vruchten geclusterd in zettingspieken niet nodig.

PepSim 4.1 is gebaseerd op Pepsim 4.0, dat in mei 2003 aan LetsGrow.com is geleverd. Een extra onderdeel in vergelijking met PepSim 4.0 is de correctiemogelijkheid: per piek kan in een hulpmatrix PMAT een correctie voor de grootte per zetsel worden ingevoerd. Hiermee wordt een nog te ontwikkelen module nagebootst die per week de zetselgrootte per zetsel rapporteert, en de teler de mogelijkheid biedt om correcties in te voeren als tellingen in de kas uitwijzen dat de grootte van een bepaald zetsel in werkelijkheid verschilt van de grootte die het model heeft berekend op grond van registraties van vruchtbelasting en oogst. Een tweede uitbreiding is de grafische weergave van voorspelde en gerealiseerde productie.

### 8.2 Organisatie van het model

De bewerkingstappen die het model PepSim 4.1 achtereenvolgens uitvoert zijn:

STAP 1: Lees de parameterset

STAP 2: Haal de registratiegegevens voor deze week binnen en voer daar een aantal controles op uit.

STAP 3: Bereken de zetting deze week uit de registratiegegevens op basis van de verschillen met de voorafgaande week en bereken het nodiumnummer waarop deze zetting plaatsvindt. Deze bewerking is nodig om met de dataset van van den Berg et al., 2001 te kunnen rekenen waarin deze gegevens ontbraken. In de applicatie via internet wordt het nodiumnummer overigens wel geregistreerd.

STAP 4: Haal de toestandsmatrixen op. In deze versie zijn dat er 4: behalve VMAT en OMAT uit eerdere versies zijn er FLMAT om ruwe registratiegegevens in op te slaan en PMAT, een matrix met gegevens geclusterd per zettingspiek. FLMAT kan direct worden aangevuld met gegevens van deze week. VMAT is in deze versie driedimensionaal geworden: elke afzonderlijke piek wordt op een aparte page geregistreerd.

STAP 5: Bereken nu met de piekdetector een bestaande zettingsgolf deze week is afgelopen of nog doorgaat, of als er geen sprake is van een lopende zettingsgolf, of er deze week een nieuwe is begonnen.

STAP 6: Corrigeer de informatie per piek op basis van eventuele vruchtdunning die deze week heeft plaatsgevonden of naar aanleiding van tellingen in het gewas (dit is een correctiemogelijkheid die gedurende de hele uitgroei van het betreffende zetsel beschikbaar blijft).

STAP 7: Voer de omrekening van juist voltooide zettingspieken naar genormaliseerde gausskrommen uit.

STAP 8: vul nu VMAT aan met de meest recente data. Reken vervolgens de matrix door en actualiseer aan de hand van de gewasprocessen van de afgelopen week. VMAT is weliswaar 3D in deze versie, maar het doorrekenen gebeurt in principe met gebruikmaking van de ontwikkelingsfuncties uit PepSim 3.1. De enige afwijking is dat de dagelijkse ontwikkelingsstap wordt berekend op grond van een vaste temperatuursom en drempelwaarde en niet meer wordt gecorrigeerd voor plantbalans.

STAP 9: Oogst rijpe vruchten, verplaats de informatie over deze vruchten van VMAT naar OMAT

STAP 10: Genereer een rapportje over de actuele gewastoestand

STAP 11: Bereken het te verwachten klimaat voor de komende periode

STAP 12: voer simulaties van vruchtontwikkeling uit op basis van verwacht klimaat (dit is dus de eigenlijke voorspelfunctie), inclusief het oogsten van vruchten die in de simulatieperiode rijp worden.

STAP 13: Genereer een rapportje over de te verwachten oogst en de actuele gewastoestand



Funcctie:	Omschrijving:
PepSim4	De hoofdfunctie
DataAwt.m	Temperaturen op weekbasis
DataSsum.m	Stralingssom per week
DataZet.m	Zettingsgegevens
DataUgd.m	Gegevens uitgroeiduur
DataProdSt.m	Registratie geoogste aantallen vruchten
DataProdKg.m	Registratie geoogste kg vruchten
DataPBel.m	Registratie plantbelasting
DataStdSts.m	Data gestandaardiseerde stralingssommen per week
DataKlimExp.m	Data verwacht klimaat voor de komende periode
ConvWeek2Dag.m	Omrekenen weekgegevens naar dagbasis
ConvMovAvg7.m	Vloeiend maken daggegevens
ConvPiekData.m	Voegt kleine pieken die zich dicht in de buurt bevinden bij grotere
ConvStrGew.m	Rekent globale straling om naar licht geabsorbeerd door het gewas.
CalcDunning.m	Corrigeert piekoppervlakte op basis van dunningsgegevens
CalcGPiek.m	Berekent per piek de dagelijkse zetting
CalcNormPiek.m	Berekent gausskromme voor gedetecteerde pieken
CalcPiekCorr.m	Corrigeert pieken
CalcPiekInt.m	Berekent begin, einde en oppervlakte per piek
CalcZetNod.m	Berekent nummer van nodium waarop zetting plaatsvindt
CalcZetsels.m	Zet registratiegegevens om in afzonderlijke zetsels voor VMAT
CalcZetObsWk.m	Berekent zetting gedurende de afgelopen week
CalcDagOntw.m	Dagelijkse toename ontwikkelingsstadium
ChkWkCol.m	Controleert of alle weekgegevens er zijn en kloppen
PiekInt.m	Piekintegrator, detecteert zettings- en oogstpieken en registreert locatie en oppervlakte.
CalcNormPiek.m	Standaard gausspiek
GetPmat.m	Genereert matrix met gegevens vruchtdunning
GetRegData.m	Haalt de matrix met in het model geregistreerde weekgegevens op
GetStateData.m	Lees de gewastoestand uit VMAT
GetWeekInv.m	Haalt data wekelijkse invoer uit dataset
GivInfoToestand.m	Geeft een rapport over de actuele gewastoestand
PlotOogst.m	Maakt een grafiek van door het model berekende oogstgegevens en de oorspronkelijk geregistreerde productiecijfers in de dataset
GivInfoPred.m	Geeft een rapport met voorspellingen
ParamList.m	Alle parameters van het model

*Een lijst van de verschillende functies die onderdeel vormen van het model Pepsim 4.1.*

## 8.3 Dialoog met de gebruiker

Het model PepSim 4.1 werkt op basis van wekelijkse invoer van registratiegegevens. Bij elke invoer wordt actuele informatie voor de gebruiker op het scherm gezet.

Bij de eerste invoer van weekgegevens worden enkele waarschuwingsboodschappen gegenereerd:

file met registratiegegevens is niet gevonden of nog niet aangemaakt  
door invoeren van gegevens van wk 1 wordt  
het registratiebestand automatisch aangemaakt

gegevens van week 1 zijn aan de beurt om te worden ingevoerd

geef aan van welke week gegevens moeten worden ingevoerd: 1

data van week 1 zijn geregistreerd voor afd.1  
het weeknummer van week 1 is gecontroleerd

file met gewastoestandsgegevens is niet gevonden of nog niet aangemaakt  
door verwerken van gegevens van wk 1 wordt  
het gewastoestandsbestand automatisch aangemaakt

Na enkele weken wordt de eerste zettingsgolf gedetecteerd:

data van week 3 zijn geregistreerd voor afd.1  
het weeknummer van week 3 is gecontroleerd

zetsel 1 wordt momenteel aangelegd

Zodra een zettingsgolf is voltooid treedt de curvefittingsmodule in werking die het verloop van de piek standaardiseert en informatie geeft over hoe goed de fit is.

Er wordt informatie per gefitte piek informatie getoond over het aantal vruchten in dat zetsel, het gemiddelde ontwikkelingsstadium.

Er kan dan een eerste oogstvoorspelling worden berekend

Verder worden er grafiekjes aangemaakt van het teeltverloop en van de gefitte curve

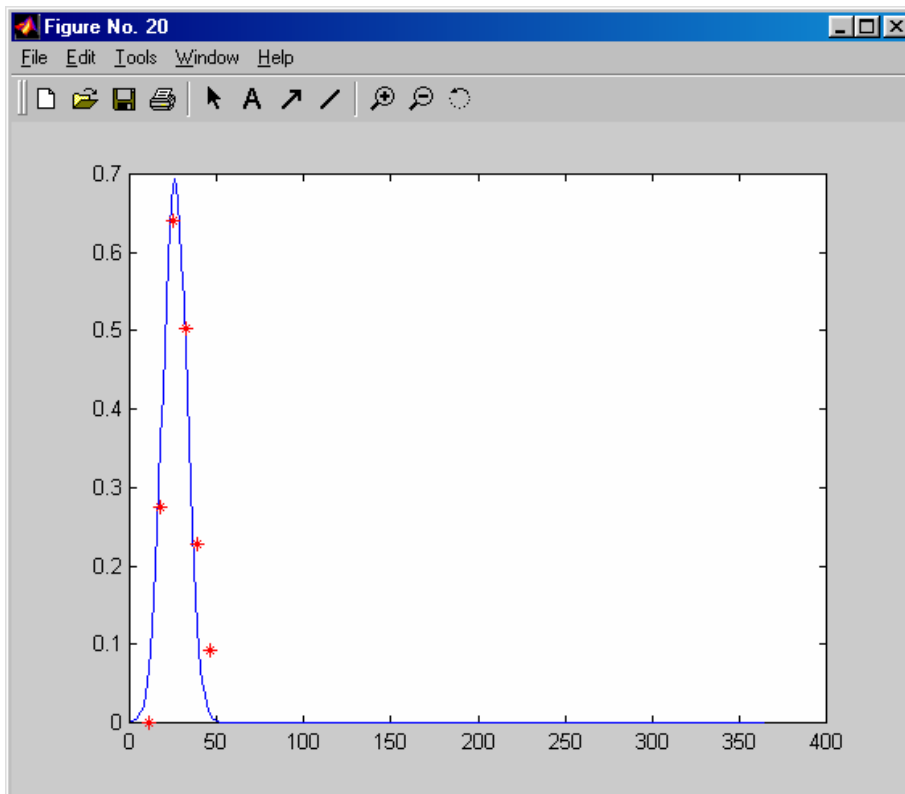
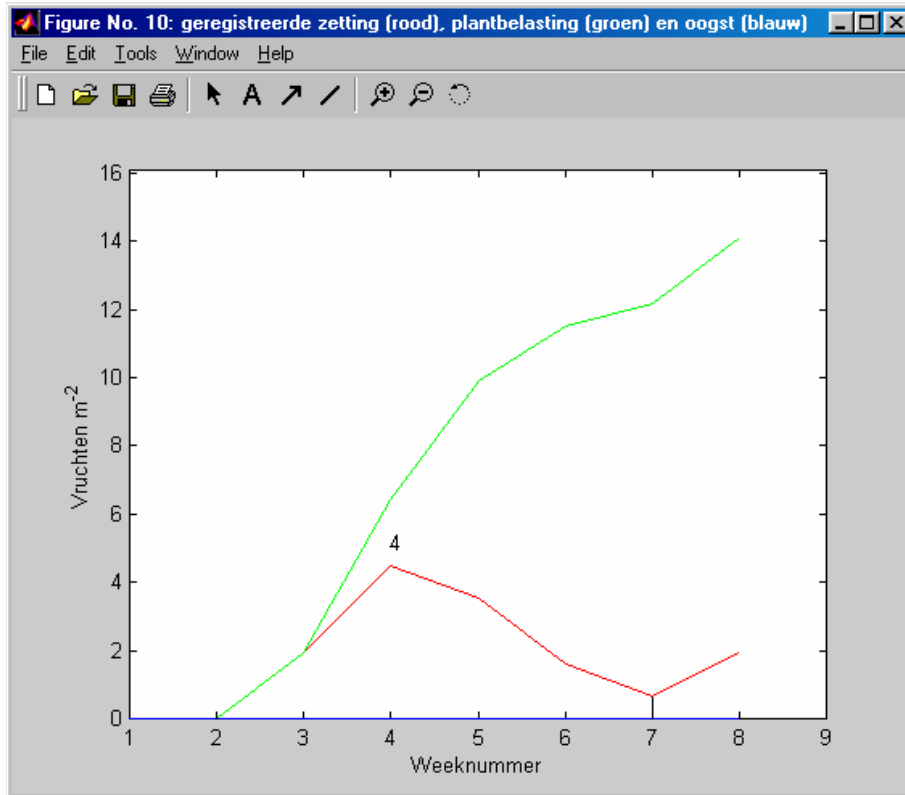
data van week 8 zijn geregistreerd voor afd.1  
het weeknummer van week 8 is gecontroleerd

van zetsel 1 zijn nog geen vruchten geoogst  
de kleinste kwadratensom voor deze fit is 0.014421  
er zijn 12.1 vruchten/m<sup>2</sup> in zetsel 1  
het gemiddelde stadium in zetsel 1 is 0.51

zetsel 2 wordt momenteel aangelegd

komende week te oogsten aantal vruchten: 0.0

volgende week te oogsten aantal vruchten: 0.2  
over 2 weken te oogsten aantal vruchten: 1.5  
over 3 weken te oogsten aantal vruchten: 4.9



Zodra het oogsten begint wordt ook daarover informatie weergegeven:

data van week 11 zijn geregistreerd voor afd.1  
het weeknummer van week 11 is gecontroleerd

van zetsel 1 worden momenteel vruchten geoogst  
de kleinste kwadratensom voor deze fit is 0.014421  
er zijn nog 10.4 vruchten/m<sup>2</sup> over in zetsel 1  
het gemiddelde stadium van de vruchten in zetsel 1 is 0.76

zetsel 2 wordt momenteel aangelegd

komende week te oogsten aantal vruchten: 4.7  
volgende week te oogsten aantal vruchten: 4.0  
over 2 weken te oogsten aantal vruchten: 6.3  
over 3 weken te oogsten aantal vruchten: 4.1

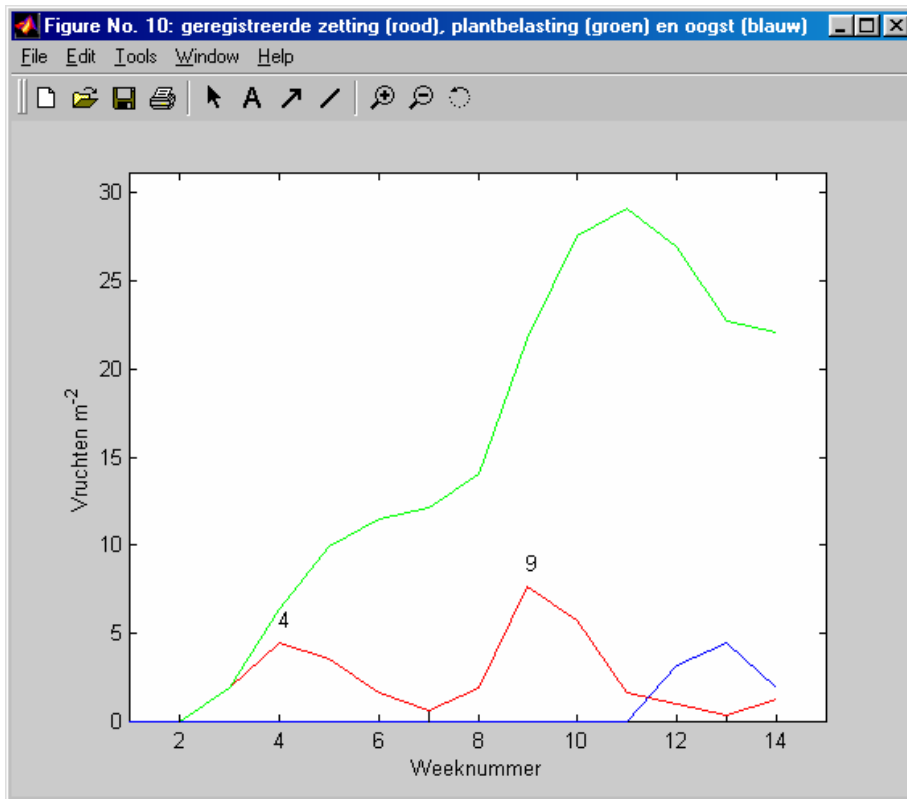
Doordat per zetsel apart informatie wordt bijgehouden, kan het model ook complexe situaties afhandelen waarbij van verschillende zetsels tegelijk vruchten worden geoogst:

data van week 14 zijn geregistreerd voor afd.1  
het weeknummer van week 14 is gecontroleerd

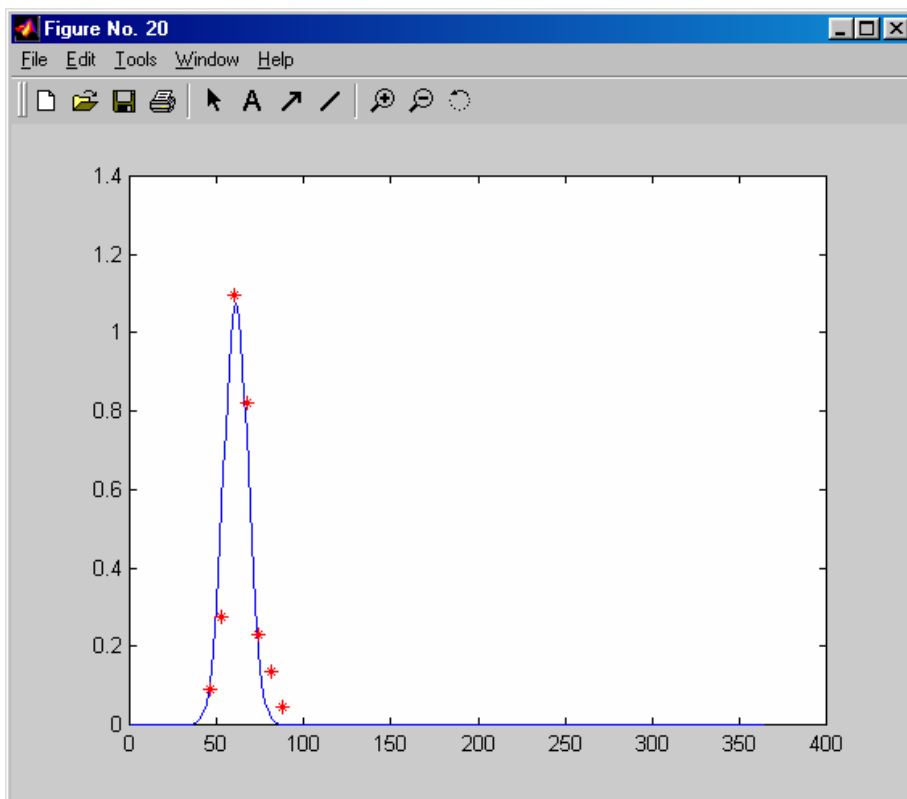
van zetsel 1 worden momenteel vruchten geoogst  
de kleinste kwadratensom voor deze fit is 0.014421  
er zijn nog 0.1 vruchten/m<sup>2</sup> over in zetsel 1  
het gemiddelde stadium van de vruchten in zetsel 1 is 0.96

van zetsel 2 worden momenteel vruchten geoogst  
de kleinste kwadratensom voor deze fit is 0.054375  
er zijn nog 18.8 vruchten/m<sup>2</sup> over in zetsel 2  
het gemiddelde stadium van de vruchten in zetsel 2 is 0.65

komende week te oogsten aantal vruchten: 1.7  
volgende week te oogsten aantal vruchten: 5.2  
over 2 weken te oogsten aantal vruchten: 7.9  
over 3 weken te oogsten aantal vruchten: 10.0



Weergave van de getetecteerde zettingspieken, de oogst en het aantal vruchten per  $m^2$ , zoals berekend door Pepsim 4.1



Zetting berekend uit plantbelasting en oogstgegevens per week (rode sterretjes) en de daarop gefitte genormaliseerde curve voor het zettingsverloop

In latere stadia van de teelt wordt van zetsels die al geheel geoogst zijn informatie gegeven over de gemiddelde uitgroei duur. Ook wordt een plotje gemaakt van de door het model berekende oogstgegevens tegen de achtergrond van de geregistreerde oogstgegevens per week in de oorspronkelijke dataset.

data van week 32 zijn geregistreerd voor afd.1  
het weeknummer van week 32 is gecontroleerd

zetsel 1 is geoogst  
de kleinste kwadratensom voor deze fit is 0.014421  
de gemiddelde uitgroei duur van de vruchten in zetsel 1 was 58 dagen

zetsel 2 is geoogst  
de kleinste kwadratensom voor deze fit is 0.054375  
de gemiddelde uitgroei duur van de vruchten in zetsel 2 was 55 dagen

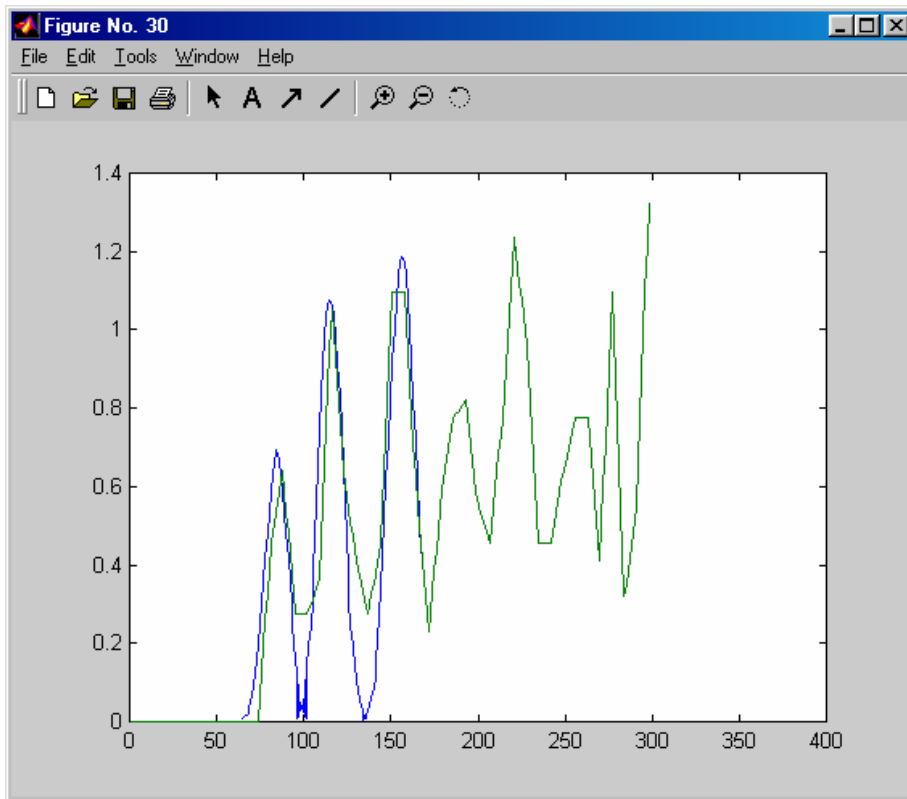
zetsel 3 is geoogst  
de kleinste kwadratensom voor deze fit is 0.1944  
de gemiddelde uitgroei duur van de vruchten in zetsel 3 was 53 dagen

zetsel 4 is geoogst  
de kleinste kwadratensom voor deze fit is 0.39337  
de gemiddelde uitgroei duur van de vruchten in zetsel 4 was 55 dagen

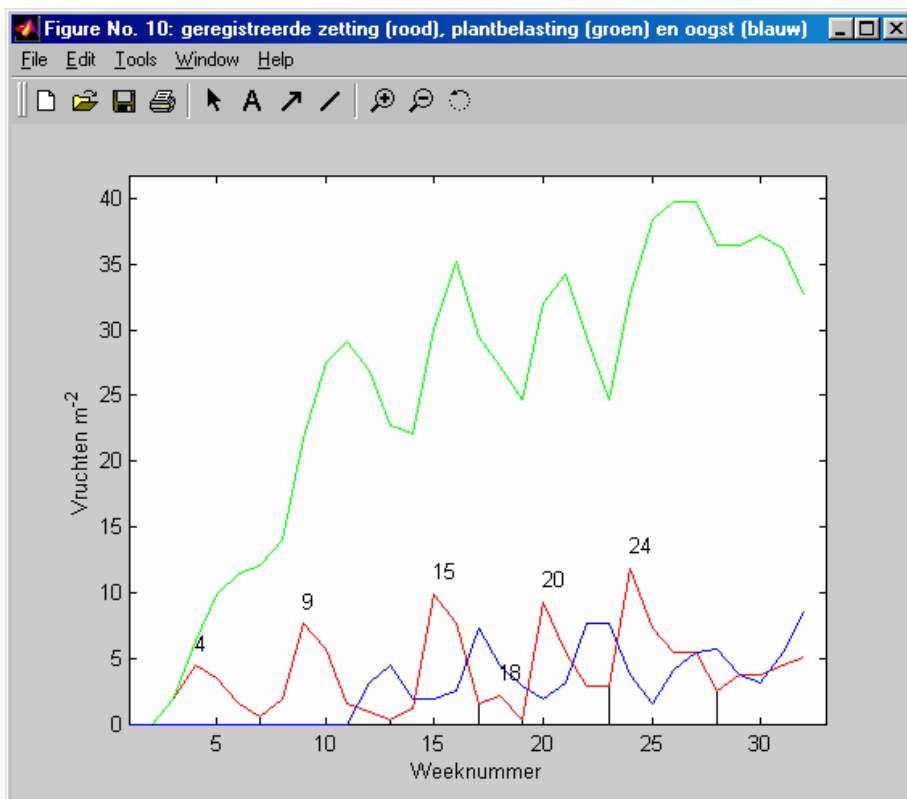
van zetsel 5 worden momenteel vruchten geoogst  
de kleinste kwadratensom voor deze fit is 0.27337  
er zijn nog 11.4 vruchten/m<sup>2</sup> over in zetsel 5  
het gemiddelde stadium van de vruchten in zetsel 5 is 0.81

zetsel 6 wordt momenteel aangelegd

komende week te oogsten aantal vruchten: 7.5  
volgende week te oogsten aantal vruchten: 3.4  
over 2 weken te oogsten aantal vruchten: 8.0  
over 3 weken te oogsten aantal vruchten: 3.4



*Geregistreeerde oogstgegevens (groen) en het door het model gesimuleerde verloop van de oogst (aantal vruchten per dag)*



*Weergave van de getetecteerde zettingspieken, de oogst en het aantal vruchten per m<sup>2</sup>, zoals berekend door Pepsim 4.1*

## 9 Evaluatie kwaliteit voorspelling te oogsten aantallen vruchten per week met verschillende versies van de oogstvoorspeller paprika

### 9.1 Testprocedure

Proefgedraaid is met programmaversie Pepsim 4.1, en de resultaten zijn vergeleken met die van de voorgaande versies 2.1 en 3.1.

Een karakteristiek verschijnsel in de productie van paprika is dat er zowel bij de vruchtzetting als bij de oogst sprake is van duidelijke en min of meer regelmatige fluctuaties. Uitgangspunt van de oogstvoorspeller is dat er een relatief sterk verband bestaat tussen een zettingsgolf en een oogstpiek. Als de uitgroei duur per piek bekend is dan kan dus de stuksproductie uit de zetting worden voorspeld. Als eerste is er naar de uitgroei duur gekeken. Er lijkt sprake te zijn van een sterk variabele uitgroei duur bij paprika. In versie PepSim 2.1 werd de uitgroei duur gemodelleerd als de geïntegreerde ontwikkelingsnelheid per dag, waarbij de ontwikkelingssnelheid evenredig was met de temperatuur boven een drempelwaarde, vermenigvuldigd met een verzadigingsfunctie van plantbalans. De plantbalans werd daarbij gemodelleerd als de dagelijkse lichtsom gedeeld door de gesommeerde potentiële groei van alle hangende vruchten per dag. Er bestaat echter het gevaar van overfitten. Om nauwkeurigheid in de voorspelling te bereiken is het veel belangrijker om een goede schatting van de uitgroei duur te hebben in weken waarin zich de oogstpieken voordoen dan in de tussenliggende weken, waarin nauwelijks vruchten worden geoogst. De uitgroei duur per zetsel bleek behoorlijk goed te kunnen worden gesimuleerd met een eenvoudige graaddagenfunctie met een uitgroei duur van 550 graaddagen boven een drempeltemperatuur van 10°C (fig. 2).

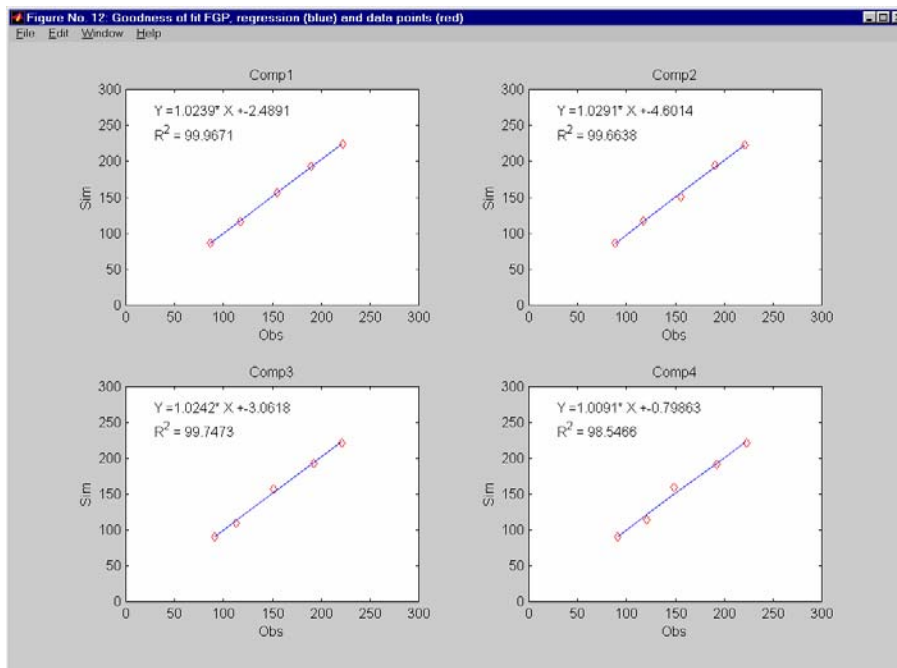


Fig 2. Verband tussen voorspelde en waargenomen locatie van de maxima van de opeenvolgende oogstpieken. De voorspelling is gebaseerd op zettingsgolven en een uitgroei duur berekend met een graaddagenfunctie ( $T_{drempel} = 10^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{Temperatuursom} = 550$  graaddagen)



De volgende veronderstellingen kunnen nu worden geformuleerd:

1. bij elke oogstpiek is een corresponderende zettingsgolf te vinden.
2. de oogstpiek volgt op de zettingsgolf na een periode met een lengte die wordt bepaald door een temperatuursom van 550 graaddagen boven een drempeltemperatuur van 10°C.
3. wanneer geen vruchtsnoei plaatsvindt ligt na de zetting het aantal vruchten in een zetsel vast.
4. de praktische implicatie van veronderstellingen 1, 2 en 3 is dat het aantal vruchten in een zettingsgolf gelijk moet zijn aan het aantal vruchten in een oogstpiek.

## 9.2 Resultaten

Als eerste stap zijn gegevens van zetting en stuksoogst door de losse piekdetectormodule gedraaid. Er bleken aanzienlijke verschillen aan het licht te komen (tab. 1). Het is duidelijk dat de piekdetectie niet alle gegevens correct verwerkt. Een typerend voorbeeld is de samengevoegde zettingspiek van 25.92 vr/m<sup>2</sup> bij week 14.7 in afd. 3. Bij de oogst zijn de pieken niet samengevoegd en worden ze gedetecteerd als een kleine piek (7.36 vr/m<sup>2</sup>) in week 20 en een grotere (20.8 vr/m<sup>2</sup>) in week 23. Naarmate de teelt vorderde werd het patroon van zettingen en oogsten minder regelmatig, waardoor de piekdetectie het ook moeilijker kreeg. Daar waar oogstpieken wel eenduidig aan zettingspieken waren te relateren bleken er verschillen in piekoppervlakte voor te komen tot ca 30%. Dit kan betekenen dat de piekdetectie aan fouten onderhevig is, maar ook dat de berekening van de zetting onvolkomenheden vertoont.

Deze verschillen zijn op twee manieren te interpreteren:

1. gegevens van zowel zetting als oogst zijn betrouwbaar en nauwkeurig. De conclusie moet dan zijn dat veronderstelling 1 niet klopt omdat de uitgroei duur van vruchten binnen een zetsel zeer variabel is en met minstens een factor 2 kan verschillen (zodat sommige vruchten in een volgende oogstpiek terecht kunnen komen). De implicatie hiervan is dat er geen eenduidige relatie bestaat tussen zetting en oogst, zodat aanvoorspelling op basis van zetting en uitgroei duur principieel niet mogelijk is.
2. Veronderstelling 1 klopt wel; er is dus wel sprake van een stevig verband tussen zetting en oogst omdat de uitgroei duur van vruchten binnen een zetsel redelijk robuust en uniform is. Als deze interpretatie klopt dan heeft het wel zin om oogst te voorspellen op basis van zetting en uitgroei duur. De afwijkingen betekenen dan dat veronderstelling 4 niet klopt. De reden kan zijn dat de berekening van zetting uit oogstaantallen en verschillen in plantbelasting (fig. 1) onnauwkeurig is. Dit impliceert dat correctie van de zetselgrootte noodzakelijk is om enige nauwkeurigheid in de voorspelling te kunnen bereiken. De informatie m.b.t. zetting kan door PepSim 4 tijdens de uitgroei worden gerapporteerd, waardoor feedback in de vorm van correctie van de zetselgrootte in het model mogelijk is. Wel is duidelijk dat veel afhangt van de betrouwbaarheid van de piekdetectiesoftware.

Wordt de feedback-mogelijkheid echter uitgebreid met de optie om ook wat betreft de locatie van de piek correcties (nodiumnummer) toe te passen, dan is het denkbaar dat nog een goede oogstvoorspelling mogelijk is op basis van tellingen aan halfwas zetsels, zelf als er totaal geen zetting of plantbelasting is geregistreerd. De synthetische pieken worden dan volledig aangemaakt op basis van de feedback-informatie. Mijns inziens zullen alle zeilen bijgezet moeten worden om voldoende nauwkeurigheid bij de voorspelling te bereiken, waarop een combinatie van de beide methoden het meeste uitzicht biedt.

Wat is nu de kwaliteit van de voorspellingen op weekbasis?

De aanleiding voor deze vraag was een gebrek aan kwantitatief inzicht in de kwaliteit van de voorspellingen, gedaan met opeenvolgende versies van PepSim. Met name het detecteren van pieken en ze vervangen door synthetische gauss-pieken zoals toegepast in Pepsim 4 is technisch aanzienlijk complexer dan voorafgaande versies.

De vergelijking die hier wordt gerapporteerd betreft simulatieresultaten van PepSim versies 2.1, 3.1 en 4.1,

zonder verdere aanpassingen, tuning of calibratie. Bij PepSim4.1 zijn voor de eerste 4 oogstpieken correcties ingecalculleerd op de zetselgrootte. Hiervoor zijn de getallen in kolom 7 van tabel 1 gebruikt.

*Tabel 1: output van de piekdetecter wanneer weekgegevens van berekende zetting en geregistreeerde stuksoogst van de Omega dataset worden ingevoerd. Instellingen detector: drempelwaarde stijging: 0.1, drempelwaarde daling: 0.1, detectiegrens piekoppervlak: 1.5. Gedetecteerde pieken waarvan de toplocaties 2 weken of minder verschilden zijn samengevoegd met behulp van de module ConvPiekData.m. De locatie van de top van een samengevoegde piek werd berekend aan de hand van het naar piekoppervlakte gewogen gemiddelde van de samen te voegen pieken.*

afdeling	zettingsgegevens		oogstgegevens			verschillen	
	loc	opp	Loc	opp	ugd	oogst-zet	percentage
1	4.0	12.16	13.0	9.6	9.0	-2.56	-27
	9.0	18.24	17.0	19.2	8.0	0.96	5
	15.0	20.48	23.0	24	8.0	3.52	15
	19.7	20.16	28.0	22.4	8.3	2.24	10
	24.0	24.64	32.0	24	8.0	-0.64	-3
	33.5	39.68	39.4	41.28	5.9	1.6	4
2	4.6	9.28	13.0	9.92	8.4	0.64	6
	9.0	14.72	17.0	15.04	8.0	0.32	2
	14.4	22.72	23.0	27.2	8.6	4.48	16
	19.7	20.8	28.0	22.08	8.3	1.28	6
	24.0	19.84	32.9	27.2	8.9	7.36	27
	28.7	24.96	37.0	12.8	8.3	-12.16	-95
	33.9	22.72	41.4	22.08	7.5	-0.64	-3
3	5.0	14.72	13.0	11.84	8.0	-2.88	-24
	9.0	14.72	16.0	12.8	7.0	-1.92	-15
	14.7	25.92	20.0	7.36	5.3	-18.56	-252
	20.0	19.84	23.0	20.8	3.0	0.96	5
	24.0	20.16	27.1	20.48	3.1	0.32	2
	27.0	12.16	32.0	21.76	5.0	9.6	44
	30.0	11.2	37.0	18.88	7.0	7.68	41
	33.6	18.88	41.2	30.72	7.6	11.84	39
4	5.0	10.56	13.0	11.52	8.0	0.96	8
	9.0	13.76	18.7	19.52	9.7	5.76	30
	13.0	5.12	22.0	21.44	9.0	16.32	76
	16.0	23.04	28.0	25.92	12.0	2.88	11
	20.8	23.36	32.0	18.24	11.2	-5.12	-28
	24.0	19.2	35.0	14.08	11.0	-5.12	-36
	28.8	25.6	38.9	17.6	10.2	-8	-45
	32.0	12.8	42.0	17.6	10.0	4.8	27
	35.0	13.12					

De methode voor het vaststellen van de kwaliteit zoals gebruikt in het rapport "Kwaliteit oogstprognose Tomaat LetsGrow.com" lijkt voor paprika ongeschikt, gezien de sterke fluctuaties. Stel een denkbeeldig voorbeeld dat een uitgroei duur van 60 dagen 5% te kort wordt gesimuleerd zodat een oogstpiek 3 dagen te vroeg wordt voorspeld, terwijl de grootte van het zetsel op zichzelf wel perfect wordt voorspeld. Op zichzelf nog helemaal niet zo'n gek resultaat. Echter gemeten met de voorgestelde methode zou de fout gemiddeld 60% bedragen (tab. 2), met een uitschieter naar 140%!

Week	Gesimuleerd	Geobserveerd	fout (%)
1	2.68	1.13	140
2	7.74	5.59	40
3	5.24	7.36	-30
4	1.97	2.87	-30

*Tabel 2 - Denkbeeldig geval van een afwijking van 5% in de voorspelling van de uitgroei duur van een zettingsgolf (3 dagen te vroeg op de 60), waarbij overigens de totale grootte van de piek identiek is. Regels geven gesimuleerde en waargenomen aantallen vruchten per week voor 4 opeenvolgende weken.*

Een belangrijke conclusie is dat een statisticus eens zou moeten adviseren m.b.t. de correcte methodiek van het evalueren van afwijkingen in de voorspelling. De grafische methode die hier is gevolgd is het fitten van een lineaire regressielijn door een puntenwolk waarvan de x-coördinaten worden bepaald door de gesimuleerde/voorspelde aantallen vruchten per week, terwijl de y-coördinaten afkomstig zijn van de corresponderende geregistreerde aantallen. Wordt deze methode toegepast op de data in tabel 2, dan wordt een  $R^2$  van 0.52 berekend. De methode is hier alleen toegepast op de 4 datasets van Omega. De  $R^2$  waarde van de regressie is een maat voor de 'goodness of fit'. Vergelijking van de  $R^2$ -waarden voor de 4 datasets, berekend voor simulaties van aantallen vruchten per week met achtereenvolgens de versies 2.1, 3.1 en 4.1 van PepSim laten een geleidelijke toename zien van de kwaliteit van de voorspelling (tab. 3).

Het verschil tussen de simulatie van uitgroei duur in PepSim 2.1 en 3.1 is het uitschakelen van de invloed van plantbalans op de uitgroei duur in versie 3.1. In deze versie is de uitgroei duur gecalibreerd als een graaddagenfunctie met een temperatuursom van 410 graaddagen boven een drempelwaarde van 12.5°C. De conclusie is dat, ondanks dat de kwaliteit van de fit van waargenomen op gesimuleerde uitgroei duur sterk in kwaliteit afnam, de kwaliteit van de voorspelling van aantal vruchten per week duidelijk is toegenomen. De enige simpele verklaring hiervoor is dat het belangrijker is om de uitgroei duur van vruchten in een zetsel correct te simuleren dan die van alle vruchten.

PepSim versie:	Dataset afdeling:			
	1	2	3	4
2.1	0.29	0.28	0.12	0.45
3.1	0.49	0.41	0.56	0.47
4.1	0.75	0.60	0.59	0.45

*Tabel 3 - Regressiecoëfficiënten ( $R^2$ ) van lineaire regressie van waargenomen op voorspelde aantallen vruchten per week, voor 3 opeenvolgende versies van PepSim.*

Kwantitatief heb je hiermee de meeste vruchten wel te pakken. Om ook de uitgroei duur van de vruchten tussen de zetsels in goed te simuleren is een complexere functie nodig, hetgeen ten kennelijk koste gaat van de kwaliteit van de simulatie van de vruchten in zetsels. Alleen in het geval van afd. 4 is de geleidelijk verbeterende trend afwezig. In tabel 1 is al te zien dat met de huidige parameterisering de piekdetector niet erg goed werkt. Uit de afwijkende uitgroei duur in kolom 6 van tabel 1 is te zien dat de verkeerde pieken met elkaar worden vergeleken. In dit geval zijn dus ook de verkeerde correcties op de piekgrootte berekend, wat mogelijk een averechts effect heeft gehad. Voor het doel van dit rapport voert een nadere analyse van dit probleem (andere calibraties vergelijken, correcties achterwege laten, etc.) echter te ver.

## 9.3 Discussie

PepSim4 is een ingewikkelder programma dan de voorgaande versies. Toch lijkt het erop dat de nieuwe onderdelen tot een verbetering van het simulatieresultaat hebben geleid. De afzonderlijke onderdelen zijn nog niet afzonderlijk getest en de calibratie is nog niet uitputtend geoptimaliseerd. Dit zou wellicht nog tot een verbetering van de voorspelling kunnen leiden. Ook is het denkbaar dat sommige programmamodules nog structureel verbeterd kunnen worden, of dat de organisatie van het programma als geheel kan worden verbeterd.

Een mogelijkheid die bij de oogstvoorspeller paprika tot nu toe nog niet is onderzocht is het verwerken van recente informatie m.b.t. uitgroei duur aan de hand van teruggeogste labels van vruchten. In principe is het zo dat alles wat je aan informatie binnenkrijgt, niet meer gesimuleerd hoeft te worden. Aan de andere kant schuilt er ook een gevaar in deze benadering: bij een verandering van week tot week in de uitgroei duur met 1 dag ontstaat een uitverduunnings- of indikkingseffect, waarbij het programma berekent dat komende week de vruchten gezet in resp 6 of 8 dagen worden geoogst, in plaats van de zetting van 7 dagen. Een onnauwkeurigheid van 1 dag in de bepaling van die uitgroei duur, leidt er dan toe dat er van 6 of 8 in plaats van 7 dagen zetting wordt geoogst, waardoor de fout zo'n 15% bedraagt. Zo wordt de ruis in de bepaling van de uitgroei duur met een factor 10 versterkt!

## 10 Algemene discussie en aanbevelingen

Het model Pepsim 3.1 lijkt behoorlijk goed te functioneren om niet alleen uitgroei duur maar ook groei en vruchtgewichten te berekenen. Wat versie 4.1 daar aan toevoegt is de dialoog met de gebruiker en het standaardiseren van registratiegegevens in zettingspieken. De mogelijkheden voor weergave van resultaten aan de gebruiker en het bieden van correctiemogelijkheden waren nog lang niet uitgeput. Alle elementen van de ontwikkelde modellen zijn modulair geprogrammeerd en kunnen zonder veel moeite worden toegepast voor andere doeleinden, of in een oogstprognosesysteem dat anders is opgezet dan het huidige. Het is nog niet duidelijk in hoeverre de modellen bruikbaar zijn voor andere rassen, en hoe goed de voorspellingen zijn onder andere omstandigheden, zoals bijv. wanneer wordt afgeweken van de Nederlandse praktijk waarbij in de teelt zo veel mogelijk wordt gestreefd naar een regelmatige opeenvolging van ongeveer gelijke zettingen. Het lijkt echter wel de moeite waard om dit in een ander verband binnenkort uit te testen.

# Bijlage 1 - Productontwikkeling

## Productontwikkelingsproces in hoofdlijnen - van kennis naar praktisch product als onderdeel van Letsgrow.com

De ontwikkeling en het op de markt brengen van een kennisintensieve software applicatie in de vorm van een praktisch hanteerbaar product voor een tuinder vergt de nodige inspanningen en financiële investeringen in hardware e.d.. De benodigde elementaire kennis voor de applicatie komt doorgaans voort uit voorafgaand onderzoek. Vervolgens wordt een productontwikkelingsproces doorlopen waarin de 'kennis' wordt vertaald in een praktisch toepasbaar product. In dit productontwikkelingsproces zijn vier fasen te onderscheiden.

### ***Fase 0: Kennisbeschikbaarheid en productdefinitie***

Deze fase gaat vooraf aan de feitelijke ontwikkeling van het product en loopt parallel met het onderzoek indien dit nog moet worden verricht. In deze fase wordt de beoogde functionaliteit van het te ontwikkelen product vastgelegd. Deze productdefinitie vormt het uitgangspunt voor de benodigde kennis. In nauw overleg met de betrokken kennisleverancier(s) wordt hier invulling aan gegeven.

### ***Fase 1: Analyse en ontwerp***

De eerste fase van de werkelijke ontwikkeling van het beoogde product is de analyse en het ontwerp. In deze fase wordt een technisch ontwerp gemaakt van het product. Dit betreft onder meer het ontwerp van de volledige gebruikersinterface (invoer, weergave, help, etc), achterliggende datastructuur en datastromen en natuurlijk de feitelijke technische vertaling van de kennis. In deze fase is intensief en nauwgezet overleg met de kennisleverancier noodzakelijk.

### ***Fase 2: Implementatie en test***

Na de analyse en ontwerp fase kan over worden gegaan tot implementatie van het product. Normaliter wordt een product modulair opgebouwd zodat elke afzonderlijke module of component kan worden geïmplementeerd en getest. Vervolgens worden de afzonderlijke modules samengevoegd en worden geïntegreerde tests uitgevoerd.

Afhankelijk van de omvang en complexiteit van het product kan deze fase veel tijd vergen.

### ***Fase 3: Introductiefase***

Nadat de implementatie en test fase zijn afgerond kan het product voor het eerst in de praktijk worden gebruikt. Doorgaans vinden in eerste instantie zogenaamde praktijktesten plaats. Hierbij wordt het product gedurende een aantal maanden getest door een geselecteerd aantal bedrijven. In deze periode worden de betrokken bedrijven intensief begeleid in het toepassen en het gebruik van het product.

Een belangrijk aspect in de introductiefase van een kennisintensief product is het monitoren en valideren van de werkelijke implementatie van de kennis. De vraag die beantwoord moet worden is: is de kennis op de juiste manier geïmplementeerd? Samen met de kennisleverancier moet gedurende langere tijd (soms enkele jaren) periodiek de implementatie van de kennis worden gevalideerd.

## Bijlage 2 - Gebruikte datasets

Week	Gemiddelde weektemperatuur (°C)			
	Afd.1	Afd. 2	Afd. 3	Afd. 4
1	18.5	18.5	18.5	18.4
2	19	19.1	19	19.1
3	19.3	19.3	18.8	18.8
4	19.5	19.5	19.2	19.3
5	18.7	18.7	18.3	18.3
6	18.9	19	18.7	18.9
7	19.2	19.5	19.1	19.3
8	19.1	19.1	19.1	19.1
9	19.3	19.3	19.5	19.5
10	19.7	19.8	19.5	19.7
11	19.6	19.7	19.3	19.2
12	20.1	20.2	19.9	19.9
13	19.6	19.8	19.7	19.5
14	21.2	21.4	21.3	21
15	21.6	21.8	21.9	21.5
16	19.2	19.5	19.2	19.3
17	18.9	19.1	19	19
18	19.7	20.1	19.8	19.7
19	20.4	20.7	20.4	20.5
20	22.2	22.6	22.4	22.2
21	20.2	20.4	20.1	20.3
22	20.5	20.6	20.4	20.4
23	19.1	19.5	18.8	19
24	19	19	18.8	18.8
25	19.4	19.6	19.3	19.2
26	20.5	20.9	20.4	20.4
27	20.2	20.6	19.9	19.9
28	20.9	21.4	21	20.9
29	19.5	20.1	19.8	19.7
30	19.1	19.3	19.2	18.9
31	18.3	18.5	18.3	18.3
32	18.8	19.3	19	18.9
33	18.6	18.8	18.7	18.5
34	19.1	19.2	19.4	19.3
35	18.5	18.7	18.8	18.8
36	18.1	18	18.5	18.3
37	19.6	19.4	19.8	19.3
38	20.8	20.6	21.2	20.5
39	19.9	19.9	19.9	20
40	18.1	19.2	17.9	19.1

Week	Stralingsom (J/cm2.week)			
	Afd.1	Afd. 2	Afd. 3	Afd. 4
1	1128	1128	1128	1128
2	1354	1354	1354	1354
3	1667	1667	1667	1667
4	2060	2060	2060	2060
5	2529	2529	2529	2529
6	3146	3146	3146	3146
7	4499	4499	4499	4499
8	4599	4599	4599	4599
9	4114	4114	4114	4114
10	4657	4657	4657	4657
11	4668	4668	4668	4668
12	7083	7083	7083	7083
13	4293	4293	4293	4293
14	9887	9887	9887	9887
15	8906	8906	8906	8906
16	8162	8162	8162	8162
17	9695	9695	9695	9695
18	11013	11013	11013	11013
19	14864	14864	14864	14864
20	11583	11583	11583	11583
21	10633	10633	10633	10633
22	13176	13176	13176	13176
23	14035	14035	14035	14035
24	14989	14989	14989	14989
25	13075	13075	13075	13075
26	14003	14003	14003	14003
27	9095	9095	9095	9095
28	10008	10008	10008	10008
29	11514	11514	11514	11514
30	11008	11008	11008	11008
31	13840	13840	13840	13840
32	12947	12947	12947	12947
33	10827	10827	10827	10827
34	11443	11443	11443	11443
35	10376	10376	10376	10376
36	5640	5640	5640	5640
37	6889	6889	6889	6889
38	8268	8268	8268	8268
39	5652	5652	5652	5652
40	4682	4682	4682	4682
41	4300	4300	4300	4300
42	3486	3486	3486	3486
43	2468	2468	2468	2468
44	2807	2807	2807	2807
45	1049	1049	1049	1049
46	1504	1504	1504	1504



Week	Zetting (vruchten / m2)			
	Afd.1	Afd. 2	Afd. 3	Afd. 4
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	1.92	1.6	1.6	0.01
4	4.48	4.16	3.84	2.56
5	3.52	0.96	5.76	4.8
6	1.6	1.6	2.88	2.24
7	0.64	0.96	0.64	0.96
8	1.92	2.56	4.48	2.88
9	7.68	7.04	6.72	6.72
10	5.76	3.52	2.56	2.56
11	1.6	1.6	0.96	1.6
12	0.96	1.6	0.96	1.92
13	0.32	3.84	2.56	2.88
14	1.28	3.52	1.92	0.32
15	9.92	8.32	9.6	8
16	7.68	5.44	8.32	10.24
17	1.6	1.6	1.92	2.56
18	2.24	2.24	1.28	1.28
19	0.32	0.64	0.32	0.96
20	9.28	8.32	9.28	9.6
21	5.44	7.36	5.76	4.48
22	2.88	2.24	2.56	5.12
23	2.88	4.48	2.24	4.16
24	11.84	7.68	11.52	8.64
25	7.36	5.12	6.4	5.76
26	5.44	2.56	2.24	4.8
27	5.44	4.8	4.8	6.72
28	2.56	7.36	3.84	7.04
29	3.84	4.48	3.52	2.24
30	3.84	6.08	6.08	7.04
31	4.48	2.24	5.12	2.56
32	5.12	3.52	5.12	7.04
33	8.32	5.76	8	3.84
34	4.16	3.2	4.8	1.92
35	7.04	5.76	6.08	8.32
36	2.88	4.48	0	4.8
37	0	0	0	0
38	0	0	0	0
39	0	0	0	0
40	0	0	0	0

Week	Plantbelasting (vruchten / m2)			
	Afd.1	Afd. 2	Afd. 3	Afd. 4
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	1.92	1.6	1.6	0
4	6.4	5.76	5.44	2.56
5	9.92	6.72	11.2	7.36
6	11.52	8.32	14.08	9.6
7	12.16	9.28	14.72	10.56
8	14.08	11.84	19.2	13.44
9	21.76	18.88	25.92	20.16
10	27.52	22.4	28.48	22.72
11	29.12	24	29.44	24.32
12	26.88	23.04	28.8	25.6
13	22.72	21.12	26.56	23.68
14	22.08	23.04	24	19.84
15	30.08	29.76	32.64	25.92
16	35.2	32.64	36.48	33.92
17	29.44	28.16	34.24	32.64
18	27.2	26.24	32	29.12
19	24.64	24.64	31.68	28.16
20	32	28.48	36.16	33.6
21	34.24	30.08	39.36	35.52
22	29.44	26.24	34.88	32
23	24.64	23.36	26.88	29.44
24	32.64	28.16	35.84	33.28
25	38.4	32.64	41.28	37.76
26	39.68	31.36	38.4	37.76
27	39.68	30.4	38.72	39.68
28	36.48	31.04	35.84	40.64
29	36.48	32.32	36.48	38.72
30	37.12	35.84	41.28	42.56
31	36.16	34.24	41.92	42.24
32	32.64	30.4	37.12	41.28
33	34.24	32.32	39.68	39.36
34	35.2	30.08	42.56	36.8
35	39.04	32.32	45.44	39.68
36	37.44	33.6	42.24	39.68
37	32	28.48	40	38.08

Week	Uitgroeiduur (weken)			
	Afd.1	Afd. 2	Afd. 3	Afd. 4
12	8.5	8.5	8.4	8
13	8.5	8.17	8.4	8.33
14	8.33	9.2	8.79	8.54
15	9.83	9.6	7.33	7.5
16	8.5	8.25	7.86	7.43
17	8	8.16	8	8.25
18	8.07	8.08	8.45	8.4
19	8.89	8.57	9.5	8.33
20	8.33	8.14	8.13	7.54
21	6.3	7.11	6.88	6.13
22	6.96	6.95	7	6.74
23	7.04	7.22	7.13	7.05
24	6.92	7.22	7.38	7.2
25	7	7	8	7.5
26	6.08	6.08	6.13	6.07
27	6.94	6.83	6.64	6.73
28	6.56	7.05	7.1	6.74
29	7.25	7.3	6.89	7.08
30	6.8	7	7.25	7.1
31	7.06	7.42	7.21	7.44
32	7.3	7.74	7.45	7.44
33	7.57	8.17	7.82	7.83
34	7.7	7.47	8.33	7
35	8	7.45	7.7	7.59
36	8.21	8.4	7.7	8.73
37	7.47	7.79	7.87	7.58
38	7.71	8	7.36	7.53
39	7.11	7.67	8.1	7.58
40	7.33	7.85	7.64	8.06
41	7.86	8.33	8.38	9

Week	Productie (vruchten / m2)			
	Afd.1	Afd. 2	Afd. 3	Afd. 4
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	0	0	0	0
9	0	0	0	0
10	0	0	0	0
11	0	0	0	0
12	3.2	2.56	1.6	0.64
13	4.48	5.76	4.8	4.8
14	1.92	1.6	4.48	4.16
15	1.92	1.6	0.96	1.92
16	2.56	2.56	4.48	2.24
17	7.36	6.08	4.16	3.84
18	4.48	4.16	3.52	4.8
19	2.88	2.24	0.64	1.92
20	1.92	4.48	4.8	4.16
21	3.2	5.76	2.56	2.56
22	7.68	6.08	7.04	8.64
23	7.68	7.36	10.24	6.72
24	3.84	2.88	2.56	4.8
25	1.6	0.64	0.96	1.28
26	4.16	3.84	5.12	4.8
27	5.44	5.76	4.48	4.8
28	5.76	6.72	6.72	6.08
29	3.84	3.2	2.88	4.16
30	3.2	2.56	1.28	3.2
31	5.44	3.84	4.48	2.88
32	8.64	7.36	9.92	8
33	6.72	3.84	5.44	5.76
34	3.2	5.44	1.92	4.48
35	3.2	3.52	3.2	5.44
36	4.48	3.2	3.2	4.8
37	5.44	7.68	4.8	3.84
38	5.44	3.2	4.48	5.44
39	2.88	1.92	3.2	3.84
40	7.68	4.16	7.04	5.12
41	2.24	2.88	5.12	3.2
42	3.84	7.68	9.6	10.56
43	9.28	7.36	8.96	7.04

Week	Productie (kg / m2)			
	Afd.1	Afd. 2	Afd. 3	Afd. 4
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	0	0	0	0
9	0	0	0	0
10	0	0	0	0
11	0	0	0	0
12	0.6592	0.512	0.2848	0.1376
13	0.84672	1.0368	0.8928	0.9792
14	0.3936	0.3168	0.86912	0.84032
15	0.43392	0.3424	0.16896	0.3552
16	0.48384	0.5376	0.84224	0.41888
17	1.45728	1.216	0.832	0.8256
18	0.9792	0.944	0.7616	1.104
19	0.5952	0.464	0.128	0.4256
20	0.432	0.9824	1.0976	0.9856
21	0.6208	1.2096	0.5024	0.5184
22	1.5008	1.2128	1.2992	1.6768
23	1.3216	1.4688	1.8272	1.2448
24	0.7488	0.6016	0.4288	0.928
25	0.3168	0.1408	0.2048	0.2304
26	0.8	0.7552	0.9312	0.8512
27	1.0944	1.184	0.832	0.9536
28	1.12	1.3952	1.3344	1.072
29	0.6784	0.6656	0.576	0.7872
30	0.5536	0.5056	0.2816	0.64
31	0.9344	0.7552	0.8192	0.5504
32	1.5776	1.3344	1.68	1.3824
33	1.1744	0.7968	0.9888	0.9664
34	0.56	1.0176	0.3968	0.848
35	0.6368	0.64	0.5792	1.0112
36	0.864	0.5952	0.672	0.7424
37	1.0064	1.28	0.8096	0.6912
38	0.8864	0.624	0.848	0.9856
39	0.52	0.336	0.6048	0.68736
40	1.1936	0.7168	1.072	0.896
41	0.3776	0.5856	0.72	0.496
42	0.68352	1.41312	1.728	1.81632
43	1.52192	1.33952	1.57696	1.29536