

---

# Kasklimaatbesturing op verhouding tussen assimilatenproductie en temperatuursom

## Fase 1: Hypothesetoetsing

H.F. de Zwart  
F.L.K. Kempkes  
N.J. van de Braak

Rapportnummer 146

ONDERZOEK IN HET KADER VAN HET CONVENANT GLASTUINBOUW EN MILIEU

UITGEVOERD DOOR

GEFINANCIERD DOOR:





---

# **Kasklimaatbesturing op verhouding tussen assimilatenproductie en temperatuursom**

## **Fase 1: Hypothesetoetsing**

H.F. de Zwart  
F.L.K. Kempkes  
N.J. van de Braak

december 2003

Rapportnummer 146

# Colophon

Title	Kasklimaatbesturing op de verhouding tussen assimilatenproductie en temperatuursom Fase 1 Hypothesetoetsing
Author(s)	H.F. de Zwart; F.L.K. Kempkes, N.J. van de Braak
A&F number	Rapportnummer 146
ISBN-number	90-6754-776-X.
Date of publication	December 2003
Confidentiality	N/A
Project code.	N/A
Price	€

Agrotechnology and Food Innovations B.V.  
P.O. Box 17  
NL-6700 AA Wageningen  
Tel: +31 317 475 024  
E-mail: [info.agrotechnologyandfood@wur.nl](mailto:info.agrotechnologyandfood@wur.nl)  
Internet: [www.agrotechnologyandfood.wur.nl](http://www.agrotechnologyandfood.wur.nl)

© 2003 Agrotechnology & Food Innovations B.V

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, hetzij mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.  
De uitgever aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele fouten of onvolkomenheden.

*All right reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system of any nature, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publisher.  
The publisher does not accept any liability for the inaccuracies in this report.*

---

## Voorwoord

Tuinders brengen veelvuldig wijzigingen aan in de instellingen van de klimaatcomputer op basis van de uiterlijk zichtbare kenmerken van de gewasontwikkeling.

Indien de kasklimaatcomputer gebruik maakt van temperatuurintegratie, wordt de vrijheid van deze regelaar door deze wijzigingsacties van de tuinder telkens weer ingeperkt.

Immers, het algoritme voor temperatuurintegratie maakt een planning voor het verloop van de setpoints, die bij iedere wijzigingsactie in bepaalde mate door de tuinder wordt doorkruist.

En dat, terwijl op fysiologische gronden mag worden verwacht, dat veel van de acties die tuinders plegen al door een algoritme hadden kunnen worden voorzien op grond van de analyse van de berekende assimilatiesom.

Zo bezien verdient het aanbeveling “gewasproductieregelaars” te ontwikkelen, min of meer als evolutie van de huidige kasklimaatregelaars. Op deze manier kunnen ook tuinders met wat minder intuïtie en gevoel voor de relatie tussen kasklimaat en gewasontwikkeling, zonder grote investeringen hun productieniveau en kwaliteit verbeteren.

Een stap op weg naar zulke gewasproductieregelaars wordt gevormd door de eerste fase van dit project. Namelijk de toetsing van de hypothese, dat er een duidelijk verband bestaat tussen de door een computerprogramma berekende assimilatiesom en de door de tuinder ingestelde kasluchttemperaturen aan de hand van historische meetgegevens.

Dit onderzoek is uitgevoerd en gefinancierd in opdracht van het Productschap Tuinbouw (PTnr 11294) en het Ministerie van LNV in het kader van het convenant Glastuinbouw en Milieu (GLAMI).



---

## Inhoud

VOORWOORD .....	5
SAMENVATTING.....	9
1 INLEIDING .....	11
2 KASKLIAMAAT EN ASSIMILATIE UIT PRAKTIJKGEGEVENS .....	13
2.1 Gemeten kasklimaatgegevens .....	13
2.2 Berekende assimilatie .....	17
3 RELATIE TEMPERATUURSOM EN ASSIMILATIE .....	19
4 CONCLUSIE.....	23





---

## Samenvatting

Tuinders moeten vaak instellingen op de klimaatcomputer wijzigen om een evenwichtige gewasontwikkeling te bewerkstelligen. De tuinders streven, vanuit de plantenfysiologie gezien, naar een goede balans tussen de productie van assimilaten en de omzetting van fotosyntheseproducten naar structurele drogestof. De productie van assimilaten wordt vooral door licht en CO<sub>2</sub> bepaald en de conversie naar blijvende gewasstructuur vooral door de etmaaltemperatuur.

Indien de klimaatcomputer zou regelen op basis van een eenduidige relatie tussen etmaaltemperatuur en assimilatenproductie zou een betere gewasproductie kunnen worden bereikt en bij temperatuurintegratie wordt dan ook nog eens meer energie bespaard.

Bovendien zou hiermee de bediening van de tuinbouwcomputers vereenvoudigd kunnen worden, zodat ook tuinders, die wat minder gevoel hebben voor afstemmen van de kasklimaatregelaar op de stand van het gewas, op energie-efficiënte wijze hun producten kunnen voortbrengen.

In fase 1 van deze studie is aan de hand van bestaande meetgegevens van vier paprika- en zes tomatenbedrijven geanalyseerd in hoeverre er inderdaad een stevige relatie bestaat tussen het verloop van de gemiddelde etmaaltemperatuur van de kaslucht en de assimilatenproductie die voor die bedrijven berekend wordt.

De berekening van de assimilatenproductie is in eerste instantie, uitgevoerd met behulp van het simulatiemodel KASPRO, waarin de gemeten temperaturen van kaslucht en verwarmingsbuizen als invoergegevens zijn gebruikt. Tevens zijn de specifieke eigenschappen van de bedrijven betreffende kasconstructie, verwarmingssysteem warmteopslag en CO<sub>2</sub>-dosering ingevoerd.

De berekende dagelijkse netto assimilatiesommen blijken, voor de onderzochte bedrijven, slecht te correleren met de etmaaltemperatuursommen. Wanneer de sommen over langere perioden worden beschouwd is er ook geen vaste verhouding tussen de temperatuursom en de assimilatenom.

Op de onderzochte bedrijven zijn er blijkbaar meer factoren dan de assimilatenom mede van invloed geweest op het gedrag van de betreffende tuinders bij hun keuze voor bepaalde temperatuurinstellingen gedurende de teelt.

Dat betekent niet dat sturing van optimale gewasgroei via vereenvoudigde setpointinstellingen, zoals bijvoorbeeld gewenste temperatuursom, niet tot verbeterde energie-efficiëntie kan leiden. Er moet dan echter waarschijnlijk met meerdere invloedsfactoren rekening gehouden worden, zoals bijvoorbeeld zetting, LAI en morfologie. Daarvoor is onderzoek nodig dat verder gaat dan in dit project voorzien.

De resultaten van de eerste fase van dit project rechtvaardigen geen voortzetting volgens de in het projectvoorstel geplande lijn.

Plant Research International heeft inmiddels bij GLAMI een projectvoorstel ingediend, waarin onderzoek naar efficiënte sturing in relatie tot de assimilatenom in een bredere context wordt uitgevoerd.



---

## 1 Inleiding

Uit verschillende onderzoeken blijkt dat tuinders vaak instellingen op de klimaatcomputer moeten wijzigen. De belangrijkste aanleiding voor deze wijzigingen is de 'stand van het gewas', waarmee wordt bedoeld op de uiterlijk zichtbare kenmerken van de gewasontwikkeling. De 'stand van het gewas' is goed wanneer het gewas evenwichtig kan groeien. Vanuit de plantenfysiologie is het aannemelijk dat evenwichtige groei alleen mogelijk is als er een goede balans is tussen de productie van assimilaten en de omzetting van fotosyntheseproducten naar structurele droge stof.

Het productieproces van assimilaten wordt vooral door de lichtintensiteit en de CO<sub>2</sub>-concentratie bepaald en de conversie naar blijvende gewasstructuur vooral door de gemiddelde kasluchttemperatuur (de etmaaltemperatuur).

Teneinde de balans tussen deze twee processen goed te houden, moet een tuinder, gegeven de over de dagen sterk wisselende lichtsommen en als gevolg daarvan wisselende assimilatenproductie, vaak zijn instelling van de na te streven kasluchttemperatuur bijstellen.

Indien de kasklimaatcomputer gebruik maakt van temperatuurintegratie wordt de vrijheid van deze regelaar door de wijzigingsacties van de tuinder telkens weer ingeperkt. Hiermee wordt het potentieel van de temperatuurintegratie voor wat betreft energiebesparing ingeperkt.

Indien de kasklimaatcomputer het klimaat zou regelen op basis van een eenduidige relatie tussen de na te streven etmaaltemperatuur en de assimilatenproductie zou de klimaatregelaar tot een beter resultaat voor wat betreft gewasproductie kunnen leiden. Omdat de regelaar voor temperatuurintegratie dan ook nog eens meer energie zou kunnen besparen, wordt niet alleen de noemer in formule voor de energie-efficiëntie vergroot (de gewasproductie), maar ook de teller (het energiegebruik) verkleind en snijdt het mes aan twee kanten.

Daarnaast zou hiermee de bediening van de tuinbouwcomputers vereenvoudigd kunnen worden, zodat ook tuinders, die wat minder gevoel hebben voor de juiste afstemming van de kasklimaatregelaar op de stand van het gewas, op energie-efficiënte wijze hun producten kunnen voortbrengen.

Dit rapport beschrijft de eerste fase van het project om te komen tot kasklimaatbesturing op de verhouding tussen assimilatenproductie en temperatuursom.

In deze fase wordt geanalyseerd in hoeverre er inderdaad een stevige relatie bestaat tussen het verloop van de gemiddelde kasluchttemperatuur op glastuinbouwbedrijven en de assimilatenproductie die voor die bedrijven berekend wordt.



## 2 Kasklimaat en assimilatie uit praktijkgegevens.

### 2.1 Gemeten kasklimaatgegevens

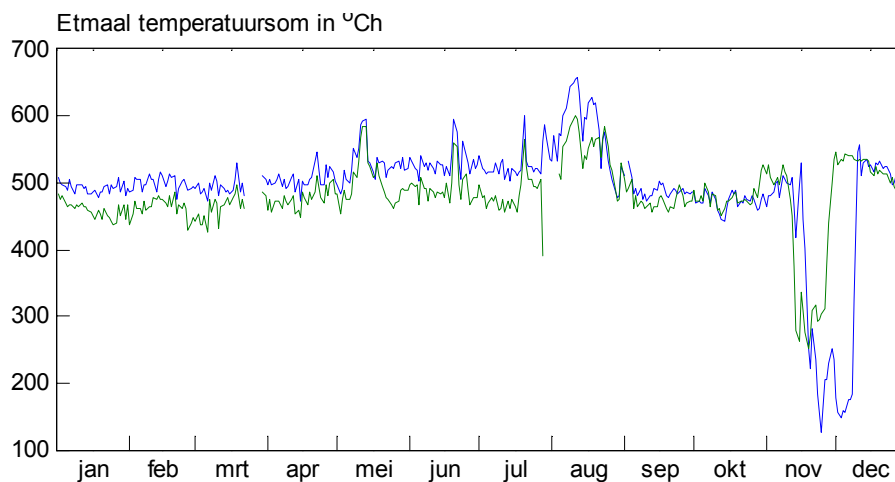
In 1997 en 1998 heeft Agrotechnology & Food Innovations (A&F, voorheen IMAG) op een groot aantal glasgroentebedrijven onderzoek gedaan naar het gebruik van buffers in verband met de CO<sub>2</sub>-dosering. In de groep bedrijven zaten tuinders met een modern bedrijf en een grote buffer, maar ook tuinders zonder buffer en met een vrij oud bedrijf. Hierdoor zijn de licht- en CO<sub>2</sub>-omstandigheden (de belangrijkste groeibepalende factoren) op de bedrijven allemaal verschillend.

Ten behoeve van de toetsing van de hypothese dat er een sterk verband bestaat tussen de ontwikkeling van de door tuinders gerealiseerde temperatuursom en de ontwikkeling van de assimilatensom, is een analyse uitgevoerd gebaseerd op de meetperiode 28 juli 1997 tot en met 27 juli 1998 bij een 10-tal van voornoemde tuinbouwbedrijven (4 paprika- en 6 tomatenbedrijven).

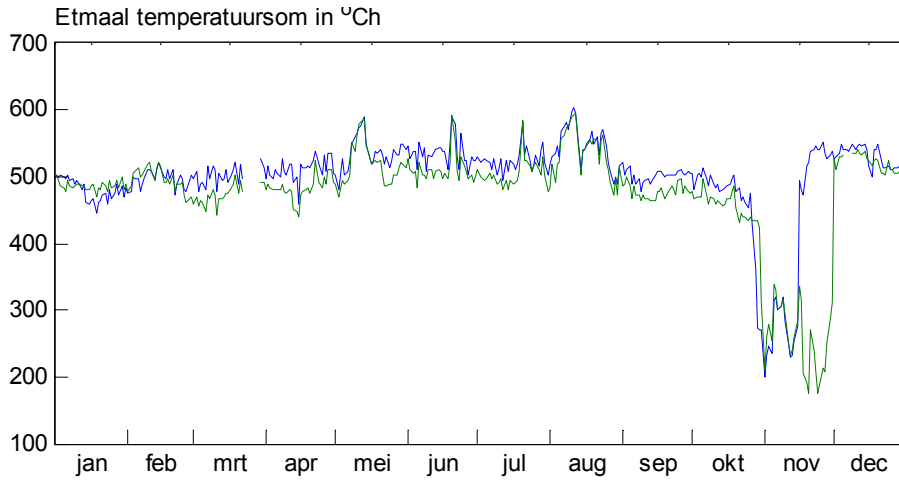
De gemeten kasluchttemperatuur is weergegeven in Figuur 1 tot en met Figuur 3.

In alle figuren zijn de resultaten zó verschoven dat op de x-as een kalenderjaar indeling kan worden gemaakt. De data in het tweede stuk van de grafieken (vanaf 27 juli) zijn dus afkomstig uit 1997 en het eerste stuk (tot 27 juli) heeft betrekking op 1998.

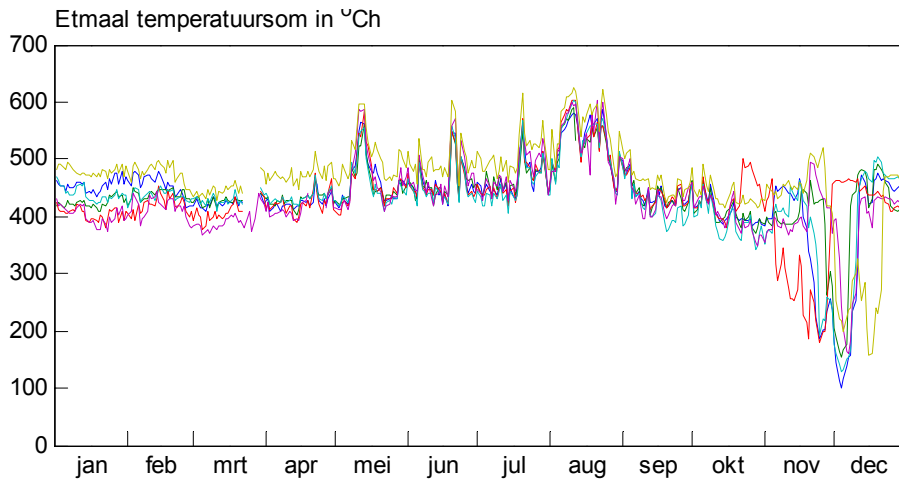
De gemeten CO<sub>2</sub>-dosering staat afgebeeld in figuur 4 t/m 6.



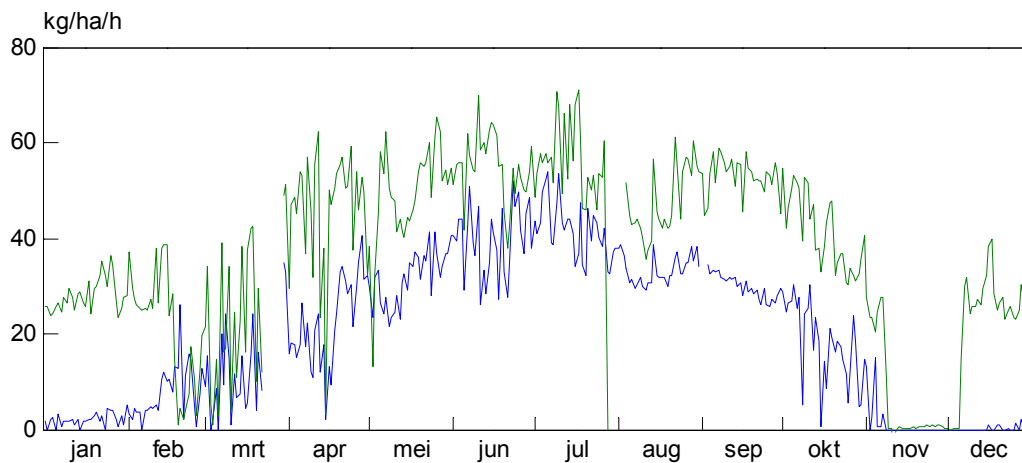
*Figuur 1 Gemeten etmaaltemperatuursom bij twee paprikabedrijven met warmtebuffer*



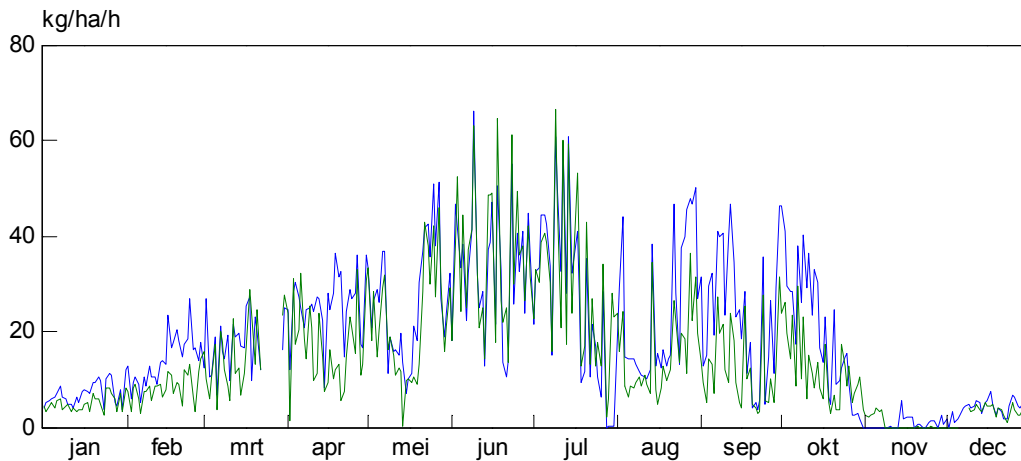
Figuur 2 Gemeten etmaaltemperatuursom bij twee paprikabedrijven zonder warmtebuffer



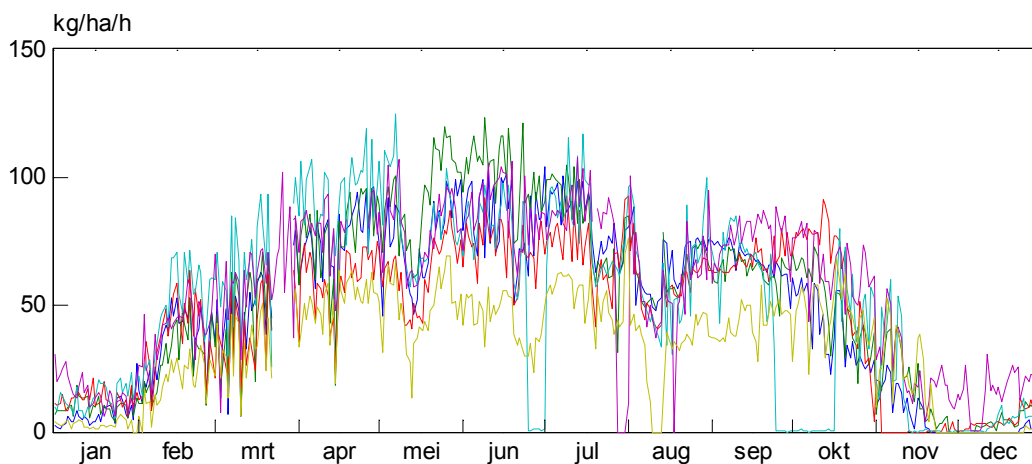
Figuur 3 Gemeten etmaaltemperatuursom bij zes tomatenbedrijven met warmtebuffer



Figuur 4 Gemeten CO<sub>2</sub>-dosering bij twee paprikabedrijven met warmtebuffer



*Figuur 5 Gemeten CO<sub>2</sub>-dosering bij twee paprikabedrijven zonder warmtebuffer*



*Figuur 6 Gemeten CO<sub>2</sub>-dosering bij zes tomatenbedrijven met warmtebuffer*

De gemeten CO<sub>2</sub>-dosering bij deze bedrijven is weergegeven in Figuur 4 tot en met Figuur 6.

De meetresultaten zijn gecombineerd met het buitenklimaat in de betreffende periode. Samen met de specifieke gegevens van de kasconstructie en de verwarmingssystemen van de respectievelijke bedrijven is alle informatie samengevoegd tot een set van invoergegevens.

Met behulp van het simulatiemodel KASPRO is voor elk bedrijf het gemeten jaar doorgerekend, waarbij berekende temperaturen voor kaslucht en verwarmingsbuizen, evenals de berekende CO<sub>2</sub>-dosering goed in overeenstemming bleken met de gemeten waarden.

De berekeningen leverden een set gegevens op, waarin naast de gemeten waarden ook een berekende luchtvochtigheid, lichtintensiteit en CO<sub>2</sub>-concentratie waren opgenomen. Dit ter verdere analyse met behulp van gewasgroeimodellen.





## 2.2 Berekende assimilatie

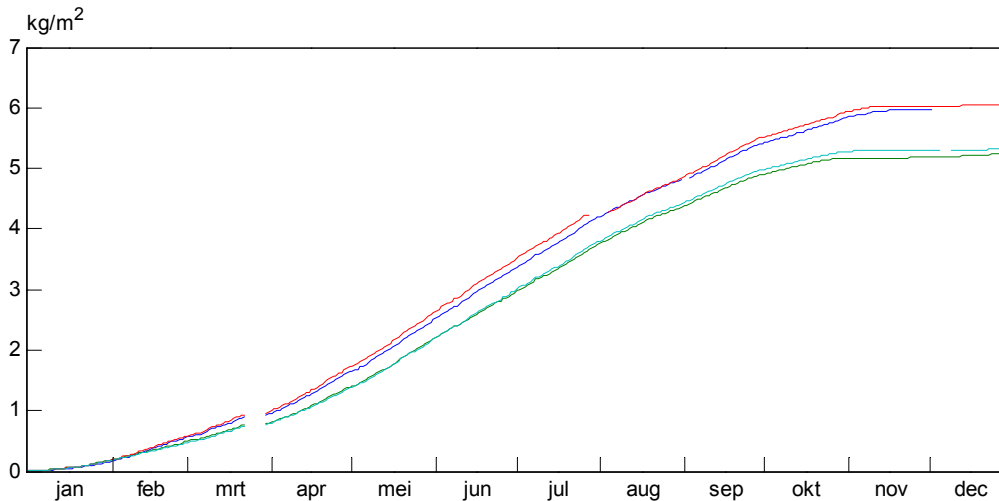
In het projectplan is beschreven dat aan deze sets van gegevens, via een gedetailleerd gewasgroeimodel van PRI extra kolommen zouden worden toegevoegd met de berekende assimilatenproductie.

Vervolgens zou dan kunnen blijken of de gerealiseerde ontwikkeling van de temperatuursom goed verklaard zou kunnen worden uit de berekende assimilatenproductie. In dat geval zou de temperatuur in een wat donkerder periode, als er minder assimilatie is, dus wat achter moeten blijven en in een wat lichtere periode wat sneller moeten oplopen.

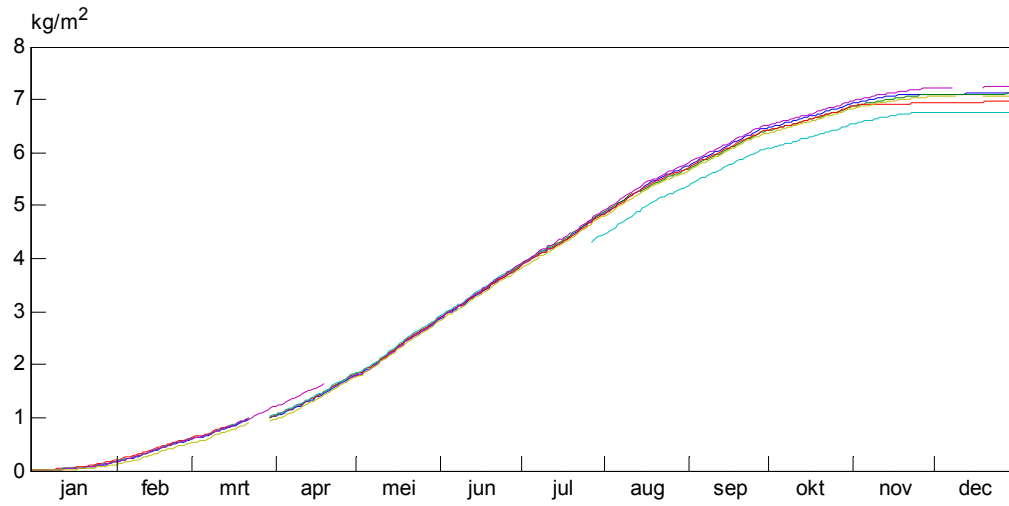
Met het iets minder gedetailleerde, maar toch nog uitgebreide fotosynthesemodel dat in KASPRO is opgenomen is alvast bestudeerd of de gezochte relatie in principe aan te tonen is op basis van de voorhanden meetgegevens.

De tien genoemde bedrijven verschilden in CO<sub>2</sub>-concentratieprofielen en in lichtdoorlatendheid van het kasdek, waardoor een simulatiemodel voor elk bedrijf tot een verschillende assimilatenproductie komt.

In Figuur 7 en Figuur 8 zijn de met KASPRO berekende netto assimilatie voor de vier paprikabedrijven respectievelijk de zes tomatenbedrijven cumulatief in het jaar uitgezet. Onder netto assimilatie wordt verstaan de (bruto) fotosynthese minus de afbraak van fotosyntheseproducten ten behoeve van onderhoudsademhaling. De S-vormige krommen geven aan dat in het begin van het jaar de netto productie van droge stof gering is, vervolgens, als er meer licht komt, neemt deze toe en in het najaar neemt de netto productie weer af, totdat deze bij de teeltwisseling geheel verdwijnt en de cumulatieve curve horizontaal wordt.



Figuur 7 Berekende cumulatieve netto assimilatie bij de vier paprikabedrijven

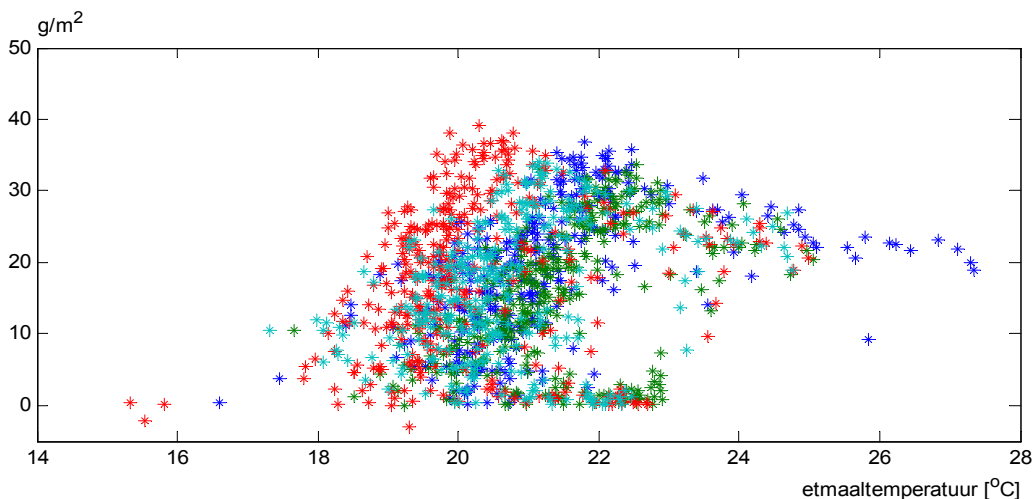


*Figuur 8 Berekende cumulatieve netto assimilatie bij de zes tomatenbedrijven*

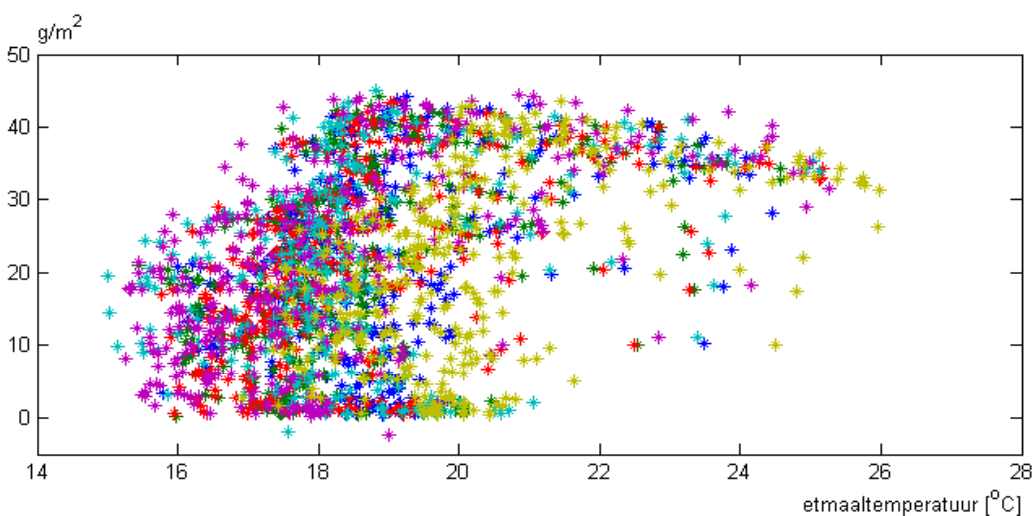
### 3 Relatie temperatuursom en assimilatie

Uitgangspunt is dat de tuinders op de betreffende bedrijven, onder andere middels het wijzigen van kasklimaat temperatuursetpoints, hun best hebben gedaan om het gewas een evenwichtige groei te laten doorlopen. Door voor elk van de tuinders de gemeten temperatuursom uit te zetten tegen de bijbehorende berekende assimilatieproductie kan worden geanalyseerd in welke mate de verhouding tussen assimilatiesom en temperatuursom constant is en of verschillen in gemeten etmaaltemperatuur verklaard kunnen worden uit verschillen in productieniveaus.

Bij sommatie over een etmaal, is de gemiddelde etmaaltemperatuur een gemakkelijk te hanteren maat voor de temperatuursom. In Figuur 9 en Figuur 10 zijn de dagelijkse netto assimilatiehoeveelheden van respectievelijk de vier paprikabedrijven en de zes tomatenbedrijven geplot tegen de bijbehorende gemiddelde etmaaltemperaturen. De meetgegevens tijdens de teeltwisseling zijn hierbij buiten beschouwing gelaten.

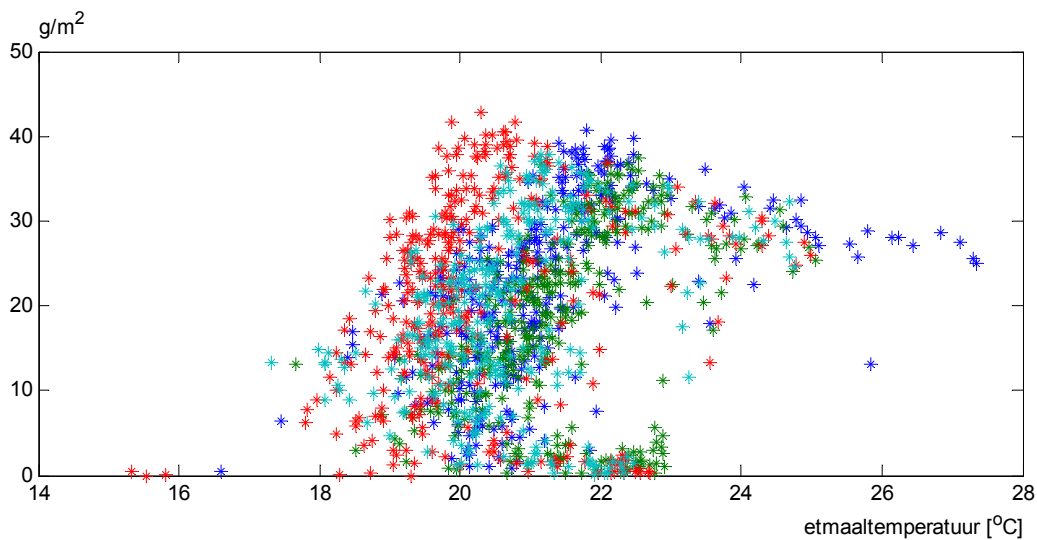


*Figuur 9* Dagelijkse netto assimilatie als functie van de etmaaltemperatuur bij de vier paprikabedrijven. Punten van gelijke kleur zijn van hetzelfde bedrijf

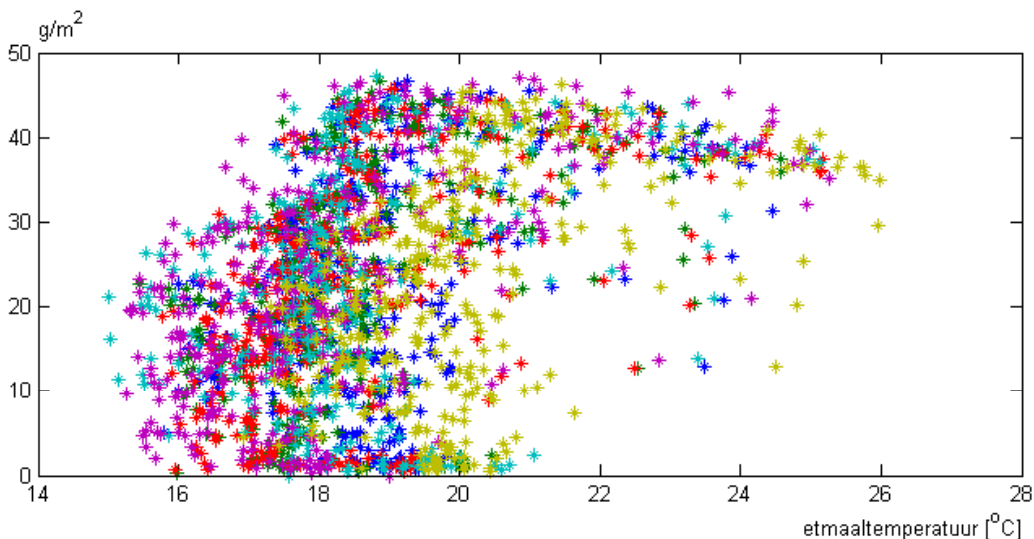


*Figuur 10* Dagelijkse netto assimilatie als functie van de etmaaltemperatuur bij de zes tomatenbedrijven. Punten van gelijke kleur zijn van hetzelfde bedrijf

Uit deze figuren blijkt noch bij de onderzochte paprikabedrijven noch bij de tomatenbedrijven een vaste verhouding te bestaan tussen de dagelijkse assimilatiesom en de dagelijkse temperatuursom. In dat geval had het merendeel van de punten op een rechte lijn moeten liggen. Lineaire regressie levert voor alle bedrijven zeer lage correlatiecoëfficiënten op (maximale waarde 0.06), zelfs als het begin en het eind van de teelt buiten beschouwing gelaten wordt. De spreiding zowel binnen een bedrijf als tussen de bedrijven blijkt zo groot te zijn, dat hieruit geen significant verband is af te leiden. De netto assimilatie bestaat, zoals gezegd, uit de componenten en onderhoudsademhaling. In Figuur 11 en Figuur 12 is de (bruto) fotosynthese als functie van de etmaaltemperatuur weergegeven.



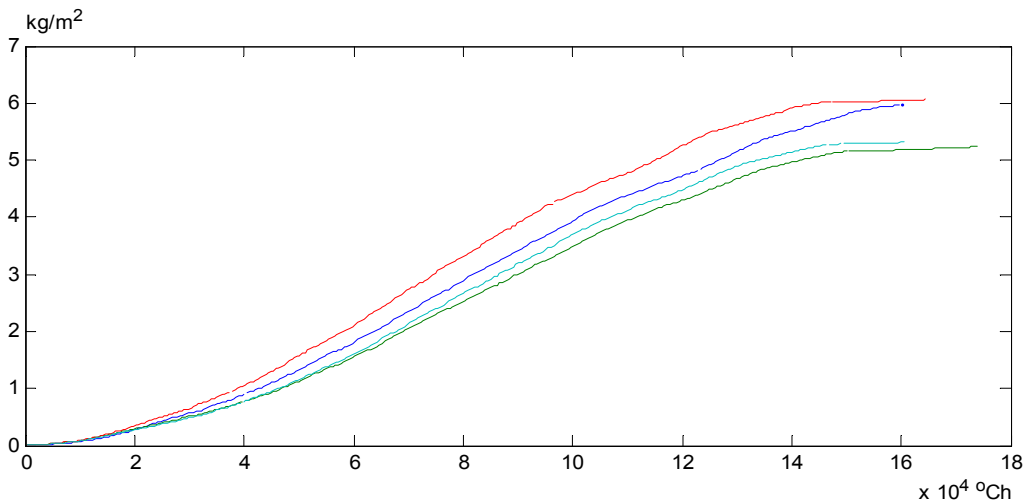
*Figuur 11 Dagelijkse bruto fotosynthese als functie van de etmaaltemperatuur bij de vier paprikabedrijven. Punten van gelijke kleur zijn van hetzelfde bedrijf*



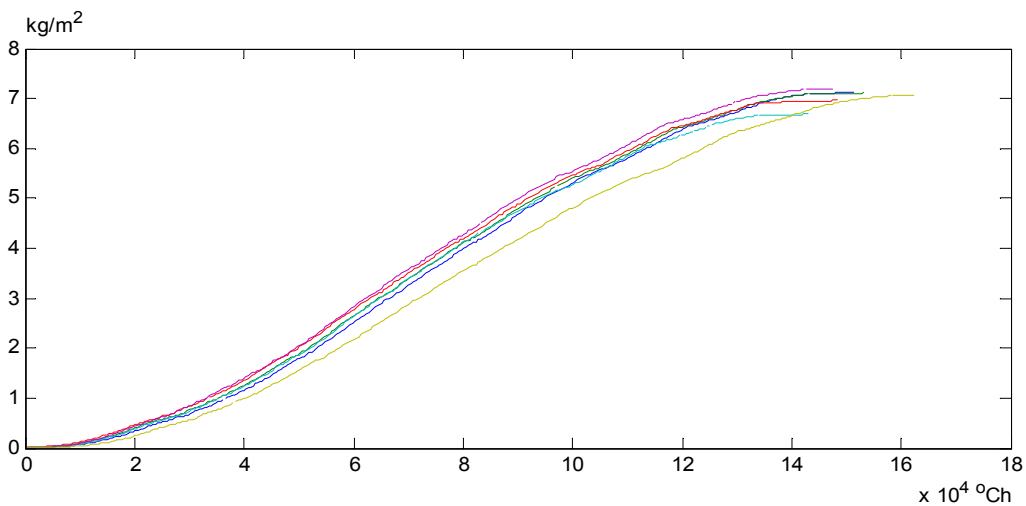
*Figuur 12 Dagelijkse bruto fotosynthese als functie van de etmaaltemperatuur bij de zes tomatenbedrijven. Punten van gelijke kleur zijn van hetzelfde bedrijf*

Uit de figuren met de bruto fotosynthese treedt hetzelfde beeld naar voren, als voor de netto assimilatie.

Tot dusver is naar de temperatuur- en netto assimilatiesom over een etmaal gekeken. Om te zien of er een verband tussen de twee bestaat over langere perioden is de ontwikkeling van de sommen over de gehele meetperiode tegen elkaar uitgezet in Figuur 13 en Figuur 14.



*Figuur 13 Cumulatieve netto assimilatie als functie van de cumulatieve temperatuursom bij de vier paprikabedrijven.*



*Figuur 14 Cumulatieve netto assimilatie als functie van de cumulatieve temperatuursom bij de zes tomatenbedrijven.*

Dat deze grafieken sterk lijken op de berekende cumulatieve netto assimilatie in Figuur 7 en Figuur 8, wordt veroorzaakt doordat de cumulatieve temperatuursommen gerekend over het jaar vrijwel rechte lijnen zijn.

---

Uit Figuur 13 en Figuur 14 blijkt, dat er verschillen zijn tussen de bedrijven voor wat betreft de ontwikkeling van de verhouding van de temperatuursom en de netto assimilatiesom.

De curven hebben slechts op weinig plaatsen een constante richtingscoëfficiënt. Dat geeft aan dat er binnen een bedrijf slechts weinig en ook slechts korte perioden zijn, waarin de verhouding van assimilatiesom en temperatuursom constant is. De curven divergeren meer dan in Figuur 7 en Figuur 8, dat geeft aan dat de verschillen in temperatuursom tussen de bedrijven niet (alleen) samenhangen met de verschillen in assimilatiesom.

## 4 Conclusie

Uit de analyse van de meetgegevens die ter beschikking stonden, is de hypothese van een vast verband tussen netto assimilatiesom en temperatuursom niet te bevestigen. Blijkbaar zijn andere factoren mede van invloed geweest op het gedrag van de betreffende tuinders bij hun keuze voor bepaalde temperatuurinstellingen gedurende de teelt.

Dat wil overigens niet zeggen dat sturing van optimale gewasgroei via vereenvoudigde setpointinstellingen, zoals bijvoorbeeld gewenste temperatuursom, niet tot verbeterde energie-efficiëntie kan leiden. Er zal dan echter met meerdere invloedsfactoren rekening gehouden moeten worden, zoals lichtsom, CO<sub>2</sub>-concentratie, temperatuurverhouding dag/nacht enz. Daarvoor is verdergaand onderzoek nodig, dan in dit project was voorzien.

Vooralsnog maken de resultaten van de eerste fase van dit project, voortzetting volgens de in het projectvoorstel geplande lijn, niet zinvol.

Plant Research International heeft inmiddels in de septemberronde een projectvoorstel ingediend, waarin onderzoek naar efficiënte sturing op de assimilatiesom in een bredere context wordt uitgevoerd.