



Rijksdienst voor Ondernemend
Nederland

Randvoorwaarden aan het binnenklimaat glastuinbouw

EOS LT CAGIM

Datum Januari 2011

Team Wageningen UR Glastuinbouw,
G.L.A.M. Swinkels, T.H. Gieling, F.L.K. Kempkes,
H.J.J. Janssen, M.A. Bruins

In opdracht van Agentschap NL (nu Rijksdienst voor
Ondernemend Nederland)

Publicatienr RVO-174-1501/RP-DUZA
www.rvo.nl

Dit rapport is tot stand gekomen in opdracht van het ministerie van
Economische Zaken.

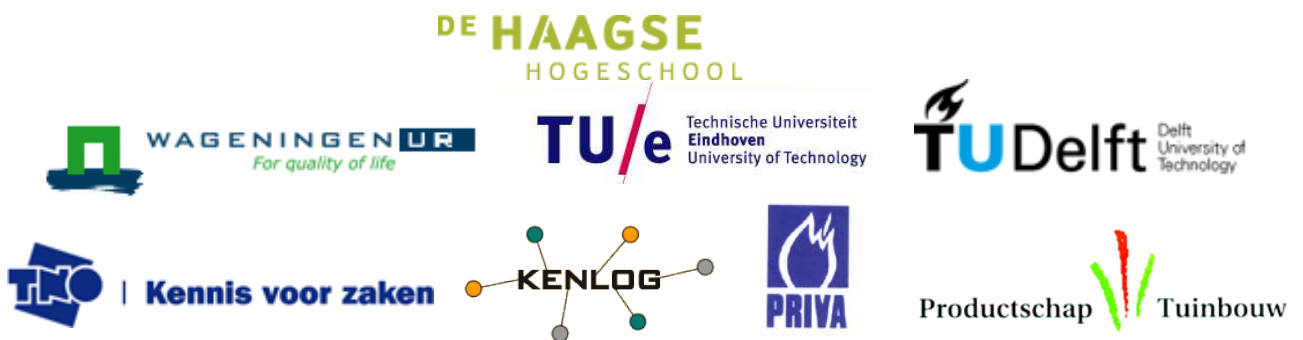


WAGENINGEN UR
For quality of life

Rapport CAGIM-Werkpakket 1

Bijdrage Team Wageningen UR Glastuinbouw

G.L.A.M. Swinkels, Th.H. Gieling en F.L.K. Kempkes,
H.J.J. Janssen, M.A. Bruins



Wageningen UR Glastuinbouw, Wageningen
januari 2011

Rapport/Nota nummer

© 2011 Wageningen, Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO)

Alle intellectuele eigendomsrechten en auteursrechten op de inhoud van dit document behoren uitsluitend toe aan de Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO). Elke openbaarmaking, reproductie, verspreiding en/of ongeoorloofd gebruik van de informatie beschreven in dit document is niet toegestaan zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van DLO.

Voor nadere informatie gelieve contact op te nemen met: DLO in het bijzonder onderzoeksinstituut Wageningen UR Glastuinbouw

DLO is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Wageningen UR Glastuinbouw

Adres : Droevendaalsesteeg 1, 6708 PB Wageningen

: Postbus 16, 670 AA Wageningen

Tel : 0317 - 486001

Fax : 0317 - 418094

E-mail : glastuinbouw@wur.nl

Internet : www.glastuinbouw.wur.nl

Inhoudsopgave

	pagina
1. Voorwoord	4
2. Samenvatting rapport en output project	5
2.1 Samenvatting	5
2.2 Output project	6
3. Inleiding	7
3.1 Doelstelling project CAGIM	7
3.2 Doelstelling Werkpakket 1	8
4. Keuze van gewassen	9
5. Kas en kasklimaat	11
5.1 Inleiding	11
5.2 Licht	11
5.3 Fotosynthese in planten: C3, C4 en CAM	12
5.4 Verdamping van de plant	14
5.5 Verwarming	14
5.6 Ventilatie	16
5.7 Scherm	17
5.8 Warmtebuffer en CO ₂ -dosering	18
5.9 Temperatuurintegratie	19
5.10 Verduistering en belichting bij jaarrond Chrysant	20
5.11 Extra voorzieningen Phalaenopsis	22
5.12 Het Nieuwe Telen in (semi)gesloten kassen	23
6. Klimaat scenario's (WP1.1)	25
6.1 Inleiding	25
6.2 Kasconstructie en installaties	25
6.3 Scenario van streefwaarden voor besturing van het klimaat	27
7. Energiestromen gedurende een jaar (WP1.2)	32
7.1 Inleiding	32
7.2 Het model KASPRO	32
7.3 Beschikbare gegevens	34
8. Matchen van teelten onderling (WP1.3)	37
8.1 Inleiding	37
8.2 Clustering binnen één bedrijf	37
8.3 Warmtecluster van tuinbouwbedrijven	38
9. Koppeling buiten de tuinbouw	40
10. Scenario's optimale koppeling (WP 1.4)	41
11. Referenties	42
Bijlage I. Setpointwaarden Klimaat Tomaat	1
Bijlage II. Aanvullende setpoint waarden Chrysant	7
Bijlage III. Aanvullende waarden Phalaenopsis	1

1. Voorwoord

Voor u ligt de rapportage van de bijdrage van het projectteam van Wageningen UR Glastuinbouw aan het Werkpakket 1 van het EOS LT project "Climate Adaptive Glastuinbouw: Inverse Modelling". Het werkpakket is uitgevoerd van 01-10-2010 tot 31-03-2011.

Het CAGIM project maakt onderdeel uit van het EOS Lange Termijn Programma van het Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie.

Het project is opgezet met als doelstelling om een substantiële bijdrage te leveren aan de energietransitie in de glastuinbouwsector (EOS speerpunt 25: Systeembenadering in glastuinbouw, inclusief warmtehuishouding).

Het project is gefinancierd door het Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie. Wij bedanken het Ministerie voor deze ondersteuning.

De volgende onderzoekers van Wageningen UR Glastuinbouw zijn in "Werkpakket 1" betrokken: dr. Th.H. Gieling (projectleider), ir. G.L.A.M. Swinkels, Ing. F.L.K. Kempkes, Ing. H.J.J. Janssen en Ing. M.A. Bruins.

Project referentienummers:

EOS LT projecttitel: Climate Adaptive Glastuinbouw: Inverse Modelling (CAGIM)

EOS LT projectnummer: xxx

Projectnummer Wageningen UR Glastuinbouw: 3242092700

2. Samenvatting rapport en output project

2.1 Samenvatting

De Glastuinbouw in Nederland is een grote energiegebruiker. Daar staat tegenover dat de glastuinbouw de laatste jaren een aanzienlijk aandeel heeft in de Nederlandse elektriciteitsproductie door warmtekrachtinstallaties. De glastuinbouw-sector heeft een convenant "Schone & Zuinige Agrosectoren 2008-2020" met de overheid gesloten, met als doel bij nieuwbouw klimaatneutraliteit, verbeterde energie efficiëntie en gebruik van een aanzienlijk aandeel duurzame energie te bereiken.

In Werkpakket 1 van project CAGIM worden de randvoorwaarden aan het binnenklimaat vastgelegd door middel van een literatuurstudie en interviews (met plantendeskundige). Dit levert een "blauwdruk" voor het vereiste kasklimaat op. Deze blauwdruk definieert wat de klimaateisen van een drietal typen plantenteelt zijn en de bijhorende energievraag. Daarnaast worden ook scenario's ontwikkeld voor bij elkaar horende plantenteelt en daarbij passende energievraag van de omgeving. De resultaten van WP1 dienen als input voor de andere workpackages.

De matching van de energiebehoefte en het energieoverschot van tuinbouwbedrijven onderling en tuinbouwbedrijven met industrie blijken niet eenvoudig te zijn (zie ook Rapportage TU-Delft). Op de bronbedrijven en de vraagbedrijven in het matching probleem is gedurende het gehele jaar op beide bedrijfstypen een gelijktijdigheid in de warmtevraag en op beiden een gelijktijdigheid in het warmteoverschot. Het warmte tekort van het vraagbedrijf valt gedurende het jaar niet samen met het warmteoverschot van het bronbedrijf.

Samengevat zijn de volgende punten een uitdaging voor CAGIM:

- gelijktijdigheid gedurende het jaar in behoefte aan warmte/koude i.p.v. complementaire behoefte hieraan.
- lage energie-inhoud door lage temperatuur in de aquiferopslag en het transportmedium
- lange transport afstand
- hoge opbrengst van elektriciteit t.o.v. de kostprijs van productie via WKK (z.g. spark-spread)

Ontwikkelingen die hierin mogelijk verandering kunnen brengen:

- bedrijven met warmte en/of CO₂ overschotten en gebieden met glastuinbouw in elkaars nabijheid plaatsen (bijv. in de Greenport gebieden)
- transportproblemen aanpakken, bijv. door de ontwikkeling van smart grids voor warmte of CO₂
- tuinbouw en industrie gezamenlijk bronnen van aardwarmte laten exploiteren.
- verhogen van de opslagtemperatuur in de aquifers (> 40°C)

Vooraf de Greenports lijken mogelijkheden te bieden. Daar worden inmiddels de voor de hand liggende oplossingen in kaart gebracht en ook al in uitvoering genomen. Sommige voorlopers (Greenport Venlo) hebben laten zien dat het goed kan werken.

Dit legt een zware claim op het werk dat in de hierna volgende werkpakketen van CAGIM moet worden gedaan. Mogelijk bieden de inzichten die in WP 2, 3 en vooral WP4 ontwikkeld worden een nieuwe kans op verdergaande koppelingen. Dit belang pleit voor een zo snel mogelijk oppakken van de werkzaamheden in WP4.

2.2 Output project

- Gieling, Th.H., G.L.A.M. Swinkels, H.J.J. Janssen, M. Bruins, 2010. Stand van zaken Glastuinbouw. Presentatie tijdens de CAGIM kick-off meeting in Delft.
- Swinkels, G.L.A.M., F.L.K. Kempkes, 2011. Het simulatieprogramma KASPRO. Presentatie tijdens de CAGIM bijeenkomst in Bleiswijk.
- Kempkes, F.L.K., G.L.A.M. Swinkels, 2011. Klimaatinstallaties in de Nederlandse Tuinbouwkas. Presentatie tijdens de CAGIM bijeenkomst in Bleiswijk.
- Kempkes, F.L.K., 2011. Proefkassen van Wageningen UR Glastuinbouw. Rondleiding en presentatie van installaties in de proefkassen van Wageningen UR Glastuinbouw in Bleiswijk.
- Kempkes, F.L.K., G.L.A.M. Swinkels, Th.H. Gieling, S. Broersma, 2011. Huidige trends energiezuinige teeltsystemen in kassen. TVVL Magazine (submitted)

3. Inleiding

3.1 Doelstelling project CAGIM

De Glastuinbouw in Nederland is met 9 % van het gasverbruik (= ± 4 miljard m³) een grote energiegebruiker. Daar staat tegenover dat de glastuinbouw de laatste jaren zo'n 10 % (= 11 miljard kWh y⁻¹) van de Nederlandse elektriciteitsproductie voor haar rekening neemt dankzij het veelvuldige gebruik van warmtekrachtinstallaties (Velden & Smit, 2010). De glastuinbouwsector heeft een convenant "Schone & Zuinige Agrosectoren 2008-2020" met de overheid gesloten. Doel is:

- nieuwe kassen zijn in 2020 klimaatneutraal
- nieuwe kassen hebben dan ten opzichte van 1990 een 48 % lagere CO₂ uitstoot.
- in 2020 gebruikt de kas tenminste 20 % duurzame energie
- de energie-efficiëntie (m³ gas per eenheid product) verbetert met 2% per jaar van 100 in 1990 naar 47 in 2020.

De grenzen van de bestaande situatie

Het oppervlak aan glas in gebruik voor de tuinbouw bleef met ca. 10500 ha de laatste 20 jaar stabiel. Jaarlijks wordt bij "normale economische omstandigheden" ca. 325 ha. vernieuwd of nieuw gebouwd. Dit houdt in dat het kassenbestand gemiddeld zo'n 25 jaar meegaat. Hoewel de ontwikkelingen van technische innovaties gestaag doorgaat, is dit bijna altijd doorontwikkelen uitgaande van wat er al was. Nieuwe innovaties als gevolg van een volledig "out of the box" denken worden niet of slechts heel beperkt in de praktijk gerealiseerd.

Het project Climate Adaptive Glastuinbouw: Inverse Modelling (CAGIM) probeert daar in een 4 jarig onderzoek verandering in te brengen. In het project werken de Universiteiten van Wageningen, Delft, Eindhoven en TNO samen met het Productschap Tuinbouw en de bedrijven Kenlog en Priva. Het Ministerie EL&I financiert het project via het EOS-LT programma van AgentschapNL.

Het project streeft ernaar het huidige beeld van de kas als gebouw opnieuw in te vullen. TU Delft en TU-Eindhoven maken hierbij gebruik van hun kennis opgedaan in eerdere projecten in de utiliteitsbouw. Het ontwerp van de buitenschil van het gebouw, hier dus de kas, ontstaat daarbij uit de eisen die het gewas in de kas en het klimaat in de kas stellen aan die buitenschil. De eigenschappen van die buitenschil volgen uit het omgekeerd ontwerpen (backwards engineering) vanuit de kasklimaat eisen, onder stringente eisen t.a.v. energiebesparing.

Om de doelstellingen van de energietransitie in de glastuinbouw voor 2020 en 2050 te realiseren zijn flinke stappen nodig. De glastuinbouwsector is verantwoordelijk voor 10% van het totale Nederlands gasverbruik. In 2020 moeten nieuw te bouwen kassen klimaatneutraal zijn. In 2050 moet de gehele energievoorziening duurzaam zijn. De huidige ontwikkelingen leiden weliswaar tot aanzienlijke besparingen, maar klimaatneutraliteit is nog ver weg. Doelstelling van het project is om een substantiële bijdrage te leveren aan de energietransitie in de glastuinbouw sector (EOS speerpunt 25).

Het onderzoek binnen CAGIM omvat 5 werkpakketen, waarin alle aspecten van het inverse modelleren van kassensystemen achtereenvolgend onderzocht en geïntegreerd worden. Dit biedt de zekerheid dat er geen sub-optimale oplossingen gevonden worden. WP1 gaat over de plantenteelt en slimme toekomstige combinaties van teelt en van teelt met de gebouwde en industriële omgeving. WP1 levert de input data voor de andere werkpakketen. WP2 gaat over de inverse modellering van de climate adaptive kassenschil. Hierin worden algoritmes ontwikkeld en sets van dynamische eigenschappen. WP3 gaat over het effect van de climate adaptive kassenschil op de klimaat- en energie-installaties en over de inverse modellering van het gehele systeem {kas+installatie}. Het laten samenwerken van een climate adaptive kassenschil met nieuwe combinaties van installaties vereist nieuwe regelstrategieën. Deze worden onderzocht en gemodelleerd in WP4. Uiteindelijk wordt in WP 5 onderzocht welke onderzoek- en ontwikkelingstappen nodig zijn om integrale CAKS scenario's (kassenschil, installaties en regelstrategieën voor bepaalde plantenteeltcombinaties) in 2020 te kunnen bouwen.

3.2 Doelstelling Werkpakket 1

In WP 1 worden de randvoorwaarden aan het binnenklimaat vastgelegd door middel van een literatuurstudie en interviews (met plantendeskundige). Dit levert een “blauwdruk” voor het vereiste kasklimaat op. Deze blauwdruk definieert wat de klimaateisen van een drietal typen plantenteelt zullen zijn en de bijhorende energievraag. Daarnaast worden ook scenario's ontwikkeld voor bij elkaar horende plantenteelt en daarbij passende energievraag van de omgeving. De resultaten van WP1 dienen als input voor de andere workpackages.

- WP1.1: Het samenstellen van een aantal scenario's voor dynamische eisen (dag/nacht of seizoen patronen) van plant en teelt aan het binnenklimaat (temperatuur, stralingstemperatuur, luchtvochtigheid, CO₂, licht, luchtstromingen), rekening houdend met randvoorwaarden ten aanzien van productie, productkwaliteit, werknemersgezondheid en gewasgezondheid (Wageningen UR Glastuinbouw). Data over de interne warmtelast door planten in de kas en hun thermische massa worden ook verzameld.
- WP1.2: Het verkennen van clusters van teelten die elkaars reststromen t.a.v. warmte en koude benutten. Dit levert weliswaar niet altijd een directe vermindering van het energiegebruik, maar wel minder opgesteld vermogen, dus veel lagere investeringskosten (Wageningen UR Glastuinbouw).
- WP1.3: Het verkennen van mogelijkheden van clustering van teelten met warmte/koude overschot met woonwijken, kantoren of data centers (Wageningen UR Glastuinbouw, TU Delft), alsmede exergy mapping tussen glastuinbouw en gebouwde omgeving op lokaal en regionaal niveau (TU Delft). Exergy mapping houdt rekening met de relatieve kwaliteit van energiebronnen en aanbod en vormt een zeer geschikte voor de analyse van regionale energieplanning [20].
- WP1.4: Uitgaande van de verschillende scenario's van WP1.1, 1.2 en 1.3, zullen verschillende toekomstbestendige scenario's ontwikkeld worden voor de optimale koppeling (vanuit exergetisch oogpunt) van energieproducerende en energievragende gebouwen/industrieën. (TU Delft, Wageningen UR Glastuinbouw).

Dit rapport beschrijft de resultaten van het de werkpakket onderdelen WP1.1, WP1.2 en gaat in op de problemen rond werkpakket onderdeel WP1.4

4. Keuze van gewassen

Ter voorbereiding en ondersteuning van de van de werkzaamheden in de andere werkpakketten is een drietal gewassen gekozen voor het maken van een klimaatblauwdruk. Op grond van de afspraak die zijn gemaakt met de partners in de andere werkpakketten gelden de volgende uitgangspunten:

- o Drie gewassen worden gekozen die relevant zijn binnen de glastuinbouw
- o de 3 gewassen hebben elk een verschillend eisenpakket t.a.v. klimaat (gerealiseerd door verwarmen, koelen en ontvochtigen), CO₂ behoefte en licht, met de bijbehorende energievraag
- o de modernste inzichten in de relatie tussen groei – klimaat – energie (z.g. “Het Nieuwe Telen”) worden gevolgd
- o dat er m.b.t. de energievraag in beschouwing worden genomen:
 - enkelvoudige kassen met daarin één gewas,
 - clusters van kassen die (gedeeltelijk) gebruik maken van elkaars reststromen aan warmte/koude

Bovenstaande uitgangspunten zijn aanleiding tot de volgende gewaskeuze:

- 1) Een hoogopgaand kasvullend vruchtgroentegewas. Het gewas bedekt met tussenpaden het vloeroppervlak van de kas tot 3m hoogte

Gemiddelde productie en omzet per jaar over de periode 2003-2007 (bron: KWIN)

Tomaat	420.000 ton	336 M€
Komkommer	112.000 ton	190 M€
Paprika	167.000 ton	580 M€

- 2) Een snijbloemen gewas. Het gewas bedekt met tussenpaden het vloeroppervlak tot +/- 1m hoog

Gemiddelde productie en omzet per jaar over de periode 2003-2007 (bron: KWIN)

Chrysant	1,47 miljard stelen	338 M€
Freesia	0,34 miljard stelen	50 M€
Gerbera	0,76 miljard stelen	119 M€
Roos	0,26 miljard stelen	95 M€

- 3) Een potplanten gewas. Het gewas bedekt een dunne laag (vaak op roltafels) het gehele vloeroppervlak

Gemiddelde productie en omzet per jaar over de periode 2003-2007 (bron: KWIN)

Kalanchoë	65,5 miljoen stuks	42 M€
Phalaenopsis	30,0 miljoen stuks	146 M€

- 1) Een hoogopgaand kasvullend gewas. Hierbij is gekozen voor het gewas tomaat, met als argument:

Het gewas tomaat is nu en naar verwachting ook in 2020 een economisch belangrijk gewas. Van de kasvullende groentegewassen is over het gewas tomaat het meest bekend (modelvorming plant, klimaatblauwdruk, energievraag). Dit is de reden waarom tomaat een veelgebruikt voorbeeld gewas is voor het berekenen van effecten op klimaat, energie en opbrengst. In relatie tot de gegeven vraagstelling van het project is tomaat een goedbeschreven gewas, dus goed als startgewas om mee te beginnen. Tomaat wordt voornamelijk op substraat (o.a. steenwol) in teeltgoten los van de ondergrond geteeld.

- 2) Een snijbloemen gewas. Keus tussen Chrysant, Gerbera en Roos. Hierbij is gekozen voor het gewas Chrysant, met als argument: Chrysant stelt klimatologisch en installatietechnisch veel eisen omdat de teelt in twee fasen wordt opgedeeld. Naast de standaard eisen t.a.v. klimaat, energie en licht, heeft het in deze fasen nog extra eisen t.a.v. belichting en verduistering. Het is daardoor een iets complexer gewas dat een uitbreiding geeft op de andere eenvoudiger gewassen zoals tomaat, roos en gerbera. Chrysant wordt nog steeds in de grond geteeld.

- 3) Een potplantengewas. Hierbij is gekozen voor het gewas Phalaenopsis, met als argument:

Phalaenopsis kent twee teeltfasen met elk eigen eisen t.a.v de klimatologische omstandigheden, die m.b.t. de setpoints afwijken van de standaard instellingen zoals die gelden bij tomaat. Gedurende het gehele jaar heeft Phalaenopsis in de twee teeltfasen gelijktijdig warmte en koude nodig. Dit geeft extra mogelijkheden voor het uitnutten van geogste warmte en koude op het eigen bedrijf. Daarnaast maakt Phalaenopsis onderdeel uit van een ander planten specius (CAM). In tegenstelling tot de Chrysant en Tomaat nemen CAM planten s'nachts CO₂ op uit de lucht i.p.v. overdag.

N.B.: Tomaat en Chrysant verdampen overdag door de huidmondjes in de bladeren te openen. Door die geopende huidmondjes wordt ook de CO₂ opgenomen voor de fotosynthese (=groei) van de plant. Om te kunnen overleven onder droge omstandigheden met weinig en onregelmatige regenval, slaan CAM planten veel vocht op in hun bladeren, stengels of wortels. Om vochtverlies te voorkomen houden deze planten overdag hun huidmondjes gesloten. Wanneer het 's nachts afkoelt stijgt de luchtvochtigheid en worden de huidmondjes geopend om CO₂ op te nemen. Om 's nachts veel CO₂ te kunnen opnemen, dat pas overdag wordt gebruikt, is een tussenopslag van het CO₂ noodzakelijk en daarmee een aanpassing van het metabolisme. Dit CO₂ wordt opgeslagen in de grote vacuoles in de vorm van malaat (appelzuur), waaruit overdag weer CO₂ wordt vrijgemaakt voor de fotosynthese. Dit mechanisme is voor het eerst ontdekt bij de soort Crassulaceen, zoals Kalanchoë en Phalaenopsis, reden waarom dit het Crassulacean Acid (appelzuur) Metabolism (CAM) wordt genoemd.

5. Kas en kasklimaat

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt een globaal overzicht gegeven van de belangrijkste onderdelen van het huidige klimaat in een kas en de instellingen voor de streefwaarden van de verschillende variabelen en parameters die daarbij horen voor het gewas tomaat. De klimaatinstellingen voor het gewas tomaat kunnen worden gezien als de basis voor de andere twee gewassen Chrysant en Phalaenopsis. Voor deze beide laatste teelten zijn respectievelijk in hoofdstukken §5.10 en §5.11 de aanvullende en de afwijkende instellingen opgenomen.

Veel van deze onderdelen hebben een relatief grote invloed op het specifiek energieverbruik. Aandacht wordt besteed aan:

- o de verwarming,
- o de ventilatie,
- o de buffervulling,
- o de CO₂-regeling,
- o de temperatuurintegratie en
- o de schermen.

Door de huidige computergestuurde klimaatregeling worden twee typen instellingen onderscheiden. Het eerste type betreft de "basis" instellingen die door de tuinder rechtstreeks gewijzigd kunnen worden. Dit zijn de instellingen waar het in dit onderzoek om draait en die in dit hoofdstuk cursief worden afgebeeld. Daarnaast hanteert een klimaatcomputer zogeheten berekende instellingen. Dit zijn instellingen die gecorrigeerd zijn voor alle invloeden die op dat moment van toepassing zijn op de basis instelling. Voorbeelden van invloeden zijn:

- o de straling van de zon en de dagsom van deze straling^{a)},
- o de luchtvochtigheid
- o de CO₂-concentratie en de temperatuursom.

^{a)} De stralingssom wordt meestal bepaald uit de globale straling (buiten gemeten). Voor schaduw behoevende gewassen zoals bijvoorbeeld Phalaenopsis wordt in het algemeen echter op PAR (Photosynthetic Active Radiation) som gestuurd die in de kas op gewasniveau gemeten wordt. Daar waar relevant zal dat expliciet vermeld worden.

Deze berekende instellingen kan de tuinder niet rechtstreeks beïnvloeden, maar worden indirect wel mede bepaald door instellingen die de tuinder heeft gekozen.

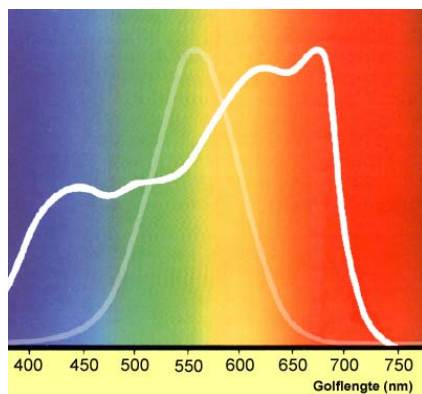
Fabrikanten van klimaatcomputers bieden tuinders de mogelijkheid om het etmaal op te delen in een aantal perioden. Zo kan een tuinder met een klimaatcomputer het etmaal opdelen in bijv. maximaal 6 perioden. Ook bestaat vaak de mogelijkheid om bij overschakeling naar een volgende periode de (eventueel) veranderde instelling vertraagd over te nemen, zodat geen abrupte overgangen ontstaan. In dit hoofdstuk zal bij de behandeling van de verschillende instellingen voor de eenvoud een etmaal bestaande uit maximaal 4 perioden gebruikt worden namelijk nacht, nanacht, dag en voornacht.

5.2 Licht

(Toegevoegd op verzoek van L. Itard)

De plant is gevoelig voor een specifiek golflengtegebied van het licht. In verband met de fotosynthese zijn twee grootheden van belang: Photosynthetic Active Radiation (PAR) en Photosynthetic Photon Flux Density (PPFD).

Figuur 1 laat zien dat de plant het meest gevoelig is voor de kleuren rood en oranje en het minst gevoelig voor groen licht. Een blad ziet er groen uit, omdat dit deel van het spectrum wordt weerkaatst.



Figuur 1 Spectrum van PAR straling (vet-witte lijn) ten opzichte van ooggevoeligheidskromme (vaag-witte lijn)

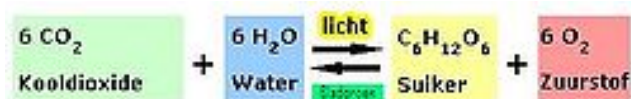
Hoeveel straling door de plant voor de fotosynthese wordt gebruikt wordt bepaald door het aantal fotonen per tijdseenheid, de fotonenstroom, in het spectrale gebied van grofweg 400-700nm. Deze straling wordt niet met een sensor gemeten die het de energie-inhoud over het totale licht spectrum meet (pyranometer) maar met een sensor die de fotonenstroom meet in dit speciale spectrale gebied (kwantumsensor).

De PPFD is de fotonen stroom (aantal fotonen per seconde per m^2) in het 400-750nm spectrum. Een kwantum sensor meet de PPFD van het licht als het aantal Mol fotonen dat per seconde een m^2 oppervlak doorstroomt, dus als $[Mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}]$ (1 Mol is het aantal fotonen overeenkomstig het getal van Avogrado = $6.022 \cdot 10^{23}$).

PAR is de fotonenstroom binnen het 400-700nm spectrum (=PPFD) met een intensiteitverdeling zoals een plant dit ook "ziet" (Figuur 1), uitgedrukt in dezelfde eenheid als PPFD, maar vanwege de getalsgrootte aangepast naar $[\mu Mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}]$. Tussen PAR en PPFD hoeft getalsmatig geen verband te bestaan. De term $[\mu Mol (PAR) m^{-2} s^{-1}]$ wordt regelmatig in de literatuur gebruikt en legt nog eens de nadruk op de relatie tussen PAR en PPFD. De PAR-sensor meet de PPFD met dezelfde relatieve spectrale gevoeligheid als de plant.

5.3 Fotosynthese in planten: C3, C4 en CAM

(bron: Wikipedia) (Toegevoegd op verzoek van L. Itard)



Het blad is de voornaamste locatie van fotosynthese in een plant. Fotosynthese is een proces waarin lichtenergie wordt gebruikt om CO_2 om te zetten in koolhydraten, zoals glucose. Het proces komt voor in planten en sommige bacteriën. Op sommige bacteriën na, gebruiken alle fotosynthetiserende organismen naast CO_2 ook water om deze suikers te maken.

Fotosynthetiserende organismen worden ook wel autotroof of foto-autotroof genoemd. Autotrofe organismen zijn in staat om zichzelf van energie te voorzien en kunnen zichzelf synthetiseren uit de a-biotische componenten: anorganische stof (w.o. water en CO_2) en licht. Hierdoor zijn ze onafhankelijk van andere organismen voor hun bestaan.

Fotosynthese kan onderverdeeld worden in oxygene fotosynthese en anoxygene fotosynthese, afhankelijk of er zuurstof wordt gebruikt. Oxygene fotosynthese gebeurt in land-ecosystemen en in de toplaag van wateren. Daarbij wordt zuurstof geproduceerd die een groot deel uitmaakt van de atmosfeer. Verder is er voornamelijk op grote diepten in oceaan een vorm van fotosynthese waarbij geen zuurstof geproduceerd of gebruikt wordt. Dit heet anoxygene fotosynthese.

Organismen die energie vastleggen door middel van fotosynthese worden fototroof genoemd.

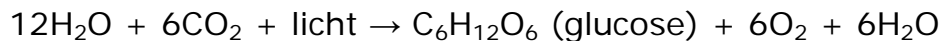
Naast fotosynthese zijn er ook chemotrofe organismen die leven van chemosynthese. Bij planten zijn op hoger niveau twee hoofdtypen van fotosynthese (koolstofassimilate) te onderscheiden, de zogenaamde C3- en C4-planten. De glastuinbouwplanten (behalve o.a. Phalaenopsis) hebben het C3-systeem, kooldioxide wordt via tussenproducten met 3 koolstofatomen vastgelegd en uiteindelijk in glucose omgezet, waarbij de energie wordt geleverd door licht.

Er zijn echter enkele (momenteel circa 1900 bekende soorten) planten uit tropische gebieden, zoals maïs, die als eerste stap CO₂ vastleggen in een verbinding met 4 koolstofatomen, de reden waarom ze C4-planten worden genoemd. De C4-planten doen dit volgens verschillende systemen, het lijkt erop dat dit proces evolutionair gezien minstens 30 maal onafhankelijk van elkaar is 'uitgevonden' gedurende de evolutie van planten, waarbij mogelijk de toenemende schaarste van CO₂ in de atmosfeer in de laatste 50 miljoen jaar een drijvende kracht is geweest. De affiniteit van het bindende enzym bij C4-planten voor CO₂ is namelijk veel groter. Na deze initiële C4-bindingsstap wordt het CO₂ in de plant weer van oxaalacetaat afgesplitst waarbij CO₂ en malaat ontstaan en gaat het reactiepad via de normale calvincyclus verder. Relatief veel van deze planten zijn voor de mens belangrijke voedselgewassen (maïs).

CAM-fotosynthese

Een andere vorm van fotosynthese is CAM. Dit is een afkorting van 'crassulacean acid metabolism'. Hierbij is de vervolgketen niet ruimtelijk van de initiële CO₂-fixatie gescheiden, maar in de tijd. Om namelijk kooldioxide te vangen moeten de stomata van een plant open staan, en dit kost water door verdamping. Bij woestijnplanten met CAM-fotosynthese, veelal succulenten, kan kooldioxide 's nachts worden vastgelegd in malaat of isocitraat en deze verbindingen kunnen dan overdag met behulp van lichtenergie verder worden verwerkt zonder dat de plant de stomata daarvoor hoeft open te zetten.

Planten zijn autotroof, wat inhoudt dat ze hun energie uit het (zon)licht halen in plaats van uit andere organismen of producten van organismen. De bruto chemische reactie voor fotosynthese is:



De watermoleculen mogen in deze vergelijking niet tegen elkaar weggestreept worden, omdat links water nodig is voor de lichtreactie om elektronen te leveren en rechts water vrijkomt in de donkerreactie. De glucose die bij fotosynthese ontstaat, kan een bouwsteen voor andere organische verbindingen zijn (cellulose), of gebruikt worden als brandstof. Wanneer glucose verbrand wordt heet dat dissimilatie. Het proces loopt dan ruwweg omgekeerd aan fotosynthese, er komt water, kooldioxide en (chemische) energie vrij. Beide processen verlopen via vele stappen en zijn in detail zeer verschillend.

Planten vangen de voor fotosynthese benodigde lichtenergie op met chlorofyl. Deze stof zit in organellen die chloroplasten of bladgroenkorrels genoemd worden. Chlorofyl geeft bladeren ook hun groene kleur. In de thylakoiden in de chloroplast vindt de fotosynthese plaats. Hoewel alle groene onderdelen van planten chloroplasten bevatten waar fotosynthese plaatsvindt wordt veruit de meeste energie opgewekt in de bladeren.

C4-fotosynthese

Bij de zogenaamde C3-planten, zoals de meeste planten, wordt CO₂ vastgelegd in 3-fosfoglyceraat, een molecuul met 3 koolstofatomen.

Bij de zogenaamde C4-planten, zoals maïs, suikerriet, sorghum en teff, wordt CO₂ eerst vastgelegd in oxaloacetaat, een molecuul met vier koolstofatomen. Hierbij is het enzym fosfoenolpyruvaatcarboxylase betrokken, dat een hoge affiniteit (aantrekkingskracht) heeft voor CO₂. Alleen bij relatief hoge temperaturen, zoals in de tropen, subtropen of midden in de zomer in Nederland, zorgt het C4-systeem voor een snellere plantengroei dan het C3-systeem. Het C4-systeem is ook efficiënter door de bouw van het blad van deze planten, waarbij er een nauw contact is tussen de bladnerven met de daaromheen gelegen schedecellen die bij de C4-planten ook chloroplasten bevatten en daardoor ook betrokken zijn bij het vastleggen van de CO₂. Er is een actief CO₂ transport, terwijl dit bij de C3-planten passief is. In de om de schedecellen liggende mesofylcellen vindt de Calvincyclus plaats.

De optimale temperatuur voor C3-planten is 15 tot 25 °C en voor C4-planten 25 tot 35 °C. Bij C3-planten treedt lichtverzadiging op in half tot vol zonlicht. Bij C4-planten treedt geen lichtverzadiging op in vol zonlicht. De maximale opbrengst per hectare is dan ook - onder ideale omstandigheden - bij C4-planten aanzienlijk hoger: bijna de dubbele opbrengst aan droge stof per hectare per jaar.

5.4 Verdamping van de plant

(bron L. Marcelis in "Onder Glas" Vol 2, 2008) (Toegevoegd op verzoek van L. Itard)

Wateropname en verdamping

Telers geven meestal water op basis van instraling. Ze geven bijvoorbeeld 3 ml m⁻² voor elke Joule straling per cm² en dat verdeeld over 100 of 200 ml per watergeefbeurt. In grote lijnen klopt dit met het gegeven dat verdamping en fotosynthese toenemen bij een hogere straling. Modelberekeningen laten zien dat planten ongeveer 90% van het opgenomen water weer verdampen en 10% gebruiken voor hun groei. Een tomatenplant bijvoorbeeld, die op jaarbasis 700 liter water opneemt, produceert 70 kg tomaat en 10 kg bladeren. De vruchten bestaan voor 95% uit water. De grootte van de wateropname is te berekenen met behulp van modellen voor klimaat, groei en verdamping. Uitgangspunt is dat er voldoende water is voor verdamping en groei.

Verdamping en energiebalans

De verdamping is afhankelijk van de energiebalans van de bladeren. De energiestromen die het blad in en uit gaan, hangen samen met de energiestromen in de kas. Dit is een combinatie van de instraling van zon en lampen, de warmtetransmissie van de verwarmingsbuizen, de warmteafgifte van de kaslucht en de in- en uitstraling via het kasdek. Behalve de energiebalans speelt ook het vochtdeficit van de lucht een belangrijke rol bij de verdamping. Daarnaast kan de plant de verdamping nog afremmen door bij te grote verdamping de huidmondjes te sluiten. Als dat gebeurt, kan er ook geen CO₂ naar binnen via die huidmondjes.

Relatie groei en verdamping

Bij een hoge instraling nemen zowel de groei als de verdamping toe. De manier waarop ze toenemen is echter verschillend. Op de eerste plaats is er in het donker geen fotosynthese, maar nog wel verdamping. Bij een toenemende straling neemt de fotosynthese in het begin sterker en later minder toe. De verdamping neemt bijna rechtlijnig toe met een toenemende instraling. Praktisch gezien, neemt de fotosynthese en verdamping in veel gevallen gelijktijdig toe. Omdat het echter twee verschillende processen zijn, hoeft het dus nog niet te betekenen dat meer verdamping ook meer groei oplevert.

Voor een gedetailleerde inzichtelijke beschouwing over verdamping van planten en modellen van verdamping zie ook Stanghellini, 1987; Monteith en Unsworth, 1990; Jolliet en Bailey, 1992; Jolliet, 1994.

5.5 Verwarming

Voor het verwarmen van de kas met water (20°C tot 90°C) wordt uitgegaan van het gebruik van een systeem van buizen (Ø51mm), die in de paden tussen het gewas zijn aangelegd met 2 buizen per pad als een z.g. buisrail (Figuur 2). De temperatuur van de lucht in de kas, bereikt door het verwarmingssysteem (de z.g. stooktemperatuur lijn), is de temperatuur die tenminste gehandhaafd moet worden. Dit is een basiswaarde die ontstaat uit de berekende temperatuurbehoefte van het gewas (in relatie tot licht en groeistadium) en invloeden zoals straling, stralingssom, luchtvochtigheid en temperatuursom.

De stralingsinvloed op de verwarmingstemperatuur is de maximale verhoging of verlaging, die het setpoint voor de verwarming evenredig met de straling verhoogd. Deze instelling maakt het mogelijk om overdag bij een hogere stralingsintensiteit van de zon een wat hogere luchttemperatuur in kas toe te staan.

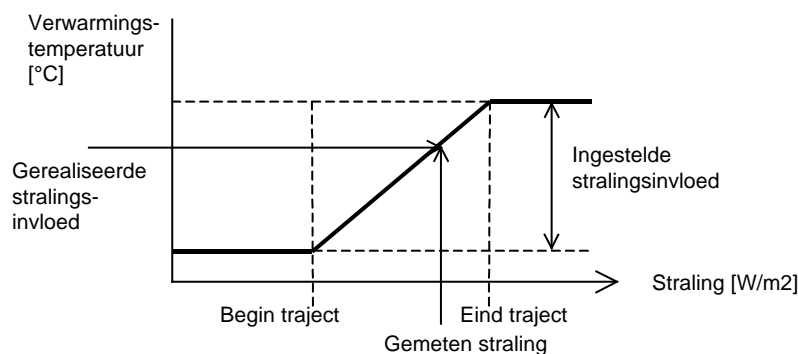
Bij een hogere stralingsintensiteit is er een verhoogde fotosynthese van het gewas mogelijk (bij voldoende beschikbare CO₂) en kan een verhoging van de kasluchttemperatuur de assimilatie (=opname) van deze fotosynthese producten in de verschillende onderdelen van de plant versterken. De invloed van de stralingssom op de verwarmingstemperatuur streeft hetzelfde na, maar dan op basis van de geregistreerde stralingssom.



Figuur 2 Tomatengewas met buis-rail systeem voor verwarming

Daarnaast zijn er gewassen, zoals Phalaenopsis waar een minimale stralingsom gedurende een dag wordt aangehouden. Mocht aan het eind van de natuurlijke lichtperiode de gewenste stralingsom nog niet bereikt zijn, dan kan de assimilatiebelichting worden ingeschakeld om de gewenste stralingssom te bereiken; daar hoort een specifieke luchttemperatuur in de kas bij. Een ander voorbeeld van de invloed die de stralingssom kan hebben op de besturing ontstaat op dagen met veel licht. Er worden nu veel meer fotosynthese producten aangemaakt dan in een "normale" dag; meer dan gedurende de dag kunnen worden verwerkt. De verwerking van deze assimilaten gaat dan door tot na het einde van de dag en dit gaat beter bij een hogere temperatuur van de kaslucht aan het einde van de dag.

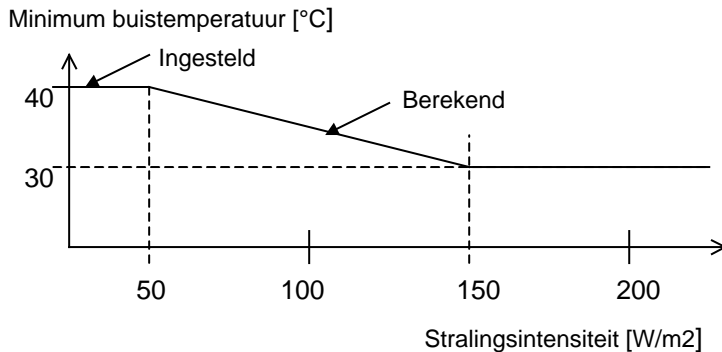
De instelling "stralingstraject" geeft de begin- en eindwaarde aan, waartussen de bovengenoemde stralingsaanpassingen op de streefwaarde van de luchttemperatuur van kracht zijn (Figuur 3). Als de verwarmingstemperatuur wordt gewijzigd ten gevolge van invloeden, een overgang naar een volgende periode of een handmatige aanpassing, kan door middel van de instellingen maximum stijging en maximum daling opgegeven worden hoe snel de verwarmingstemperatuur mag stijgen respectievelijk dalen. Een te snelle stijging moet voorkomen worden om condensatie op koude vruchten (grotere massa traagheid voor temperatuurvariatie dan lucht) of op andere koude plantdelen te voorkomen.



Figuur 3 Aanpassing van de verwarmingstemperatuur op basis van instraling.

De *minimum buistemperatuur* is de temperatuur in het betreffende verwarmingsnet die tijdens de aangegeven periode minimaal gehandhaafd wordt (Figuur 4). De *maximum buistemperatuur* is de temperatuur in het betreffende verwarmingsnet die tijdens de aangegeven periode niet overschreden mag worden. Door invloeden zoals *stralingsinvloed op de minimum buistemperatuur* kunnen deze waarden echter wel verlaagd of verhoogd worden. De instelling *vochtinvloed op de minimum buistemperatuur* regelt de vochtafhankelijke beïnvloeding van de minimum buistemperatuur. Hiermee kan de minimum buistemperatuur in perioden met een hoge relatieve vochtigheid worden verhoogd. Op momenten dat deze *minimum buistemperatuur*

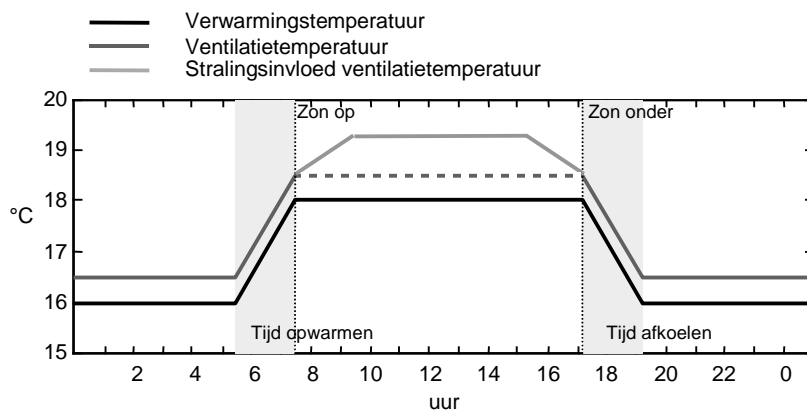
een hogere waarde bereikt dan voor het verwarmen van de kas strikt noodzakelijk is, worden de ramen door de regelaar opgedrukt omdat het in feite warmer wordt dan gewenst. Op deze manier wordt dan door ventilatie vocht afgevoerd, samen met verwarmde lucht. In de huidige praktijk wordt deze energieverslindende maatregel om verschillende redenen toch nog zeer veelvuldig gebruikt. Bij "Het Nieuwe Telen" wordt het gebruik ontraden, echter de gangbare praktijk wil dit instrument (nog) niet loslaten.



Figuur 4 De invloed van de gemeten stralingsintensiteit op de minimum buistemperatuur.

5.6 Ventilatie

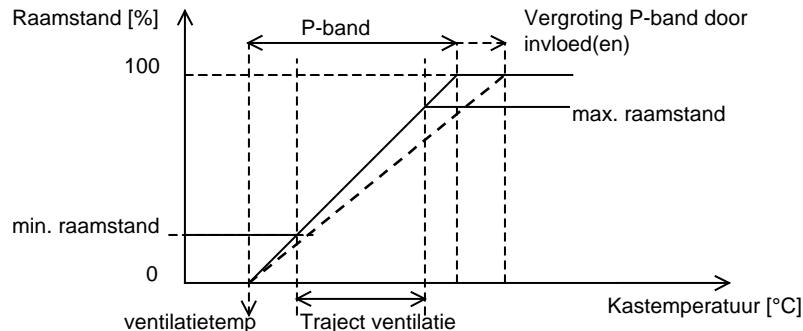
De ingestelde waarde "ventilatietemperatuur", (Figuur 5) is de temperatuur van de kaslucht waarboven de ramen proportioneel beginnen te openen. Dit is een basiswaarde waaruit weer de berekende ventilatietemperatuur ontstaat. De instelwaarde "stralingsinvloed op de ventilatietemperatuur" is de maximale aanpassing van de ventilatietemperatuur ten gevolge van straling. De "stralingssominvloed op de ventilatietemperatuur" doet hetzelfde maar dan op basis van de geregistreerde stralingsom. De instelling "stralingstraject" geeft de begin- en eindwaarde waartussen de bovengenoemde stralingsaanpassingen van kracht zijn. De beïnvloeding van de ventilatie-temperatuur door de waarde van de luchtvochtigheid geschiedt door middel van de instellingswaarde "vochtinvloed op de ventilatietemperatuur". Als de temperatuur waarop wordt geventileerd wordt gewijzigd (bijv. bij begin en einde van de dag) kan door middel van de instellingen "tijd opwarmen" en "tijd afkoelen" opgegeven worden hoelang de opwarm- respectievelijk afkoeltijd per °C moet duren. De reden achter een dergelijke "tijdsvertragende" instelling is het voorkomen van een te snelle overgang van de ene temperatuur waarde naar de andere wat condensatie op de vrucht (z.g. natslag) of een onrustige regeling voorkomt.



Figuur 5 Invloed straling op de ventilatietemperatuur.

Bijna alle kassen hebben aan twee zijden luchtramen. Afhankelijk van de windrichting wordt één kant van de kasdehelling luwe- dan wel windzijde genoemd. Dit onderscheid in luwe- en windzijde wordt gemaakt omdat de ventilatiekarakteristiek voor luwezijde zeer verschillend is t.o.v. windzijde, zodat hiermee rekening gehouden kan worden. De instellingen die betrekking hebben op de raamstand kunnen zowel voor de luwe- als windzijde ingesteld worden. De

raamstanden, aan wind- en luwzijde, kunnen variëren tussen de "*minimum raamstand*" en de "*maximum raamstand*", die op hun beurt weer ten gevolge van invloeden zoals "*vochtinvloed op de minimum raamstand*" gewijzigd kunnen worden. De "*p-band*" is het temperatuurgebied van de kaslucht waarbinnen de luchtramen proportioneel tussen 0 en 100% opening geregeld worden. Deze instelling geeft aan in welke mate geventileerd wordt (Figuur 6).



Figuur 6 P-band voor de ventilatie.

De "*maximum naloop windzijde*" omvat het maximale verschil tussen de berekende ventilatietemperatuur en de kasluchttemperatuur waarboven de luchtramen aan de windzijde proportioneel beginnen te openen. Dus wanneer deze bijvoorbeeld 3.0 °C is, dan zal de windzijde met de luwe zijde gaan meelopen wanneer de kasluchttemperatuur 3 °C hoger is dan de berekende ventilatietemperatuur. De naloop kan van een aantal grootheden afhankelijk worden gemaakt (windsnelheid en -richting, buitentemperatuur en straling), maar kan nooit kleiner worden dan de ingestelde "*minimum naloop*".

De instelling "*buitentemperatuurtraject maximum raamstand*" bevat de grenzen waartussen de buitentemperatuur de maximum raamstand beïnvloedt. De instellingen "*windsnelheidstraject maximum raamstand*" bevat de grenzen waartussen de windsnelheid de maximum raamstand beïnvloedt. De instelling "*stralingstraject ventilatie*" geeft het traject aan waartussen de invloed van de straling op de ventilatie verandert van een minimum tot maximum waarde. Deze maximale raamstandinstelling wordt ook wel stormbeveiliging genoemd. In de wintermaanden (bij lage buitentemperaturen) wordt de maximale raamstand vaak ook beperkt om grote schommelingen in het kasklimaat te voorkomen. De maximale raamstand is dan ook vaak een functie van de buitentemperatuur.

5.7 Scherm

Een scherm kan om verschillende redenen toegepast worden. Zo schermt een verduisteringsscherm een gewas af van licht en beïnvloedt daarmee de ontwikkeling. Sommige gewassen (o.a. jaarrond geteelde Chrysanthe) worden beïnvloed door een z.g. korte dag/lange dag behandeling. Hierbij wordt het gewas volledig afgeschermd van het licht (korte dag) of via bijbelichting (lange dag). Een precies op tijd op een bepaalde datum gereed zijn van het groeiproces voor alle planten in de kas, met bloem van goede kwaliteit en voldoende lengte van de steel, wordt zo bereikt (zie toelichting in §5.10). Daarbij wordt het licht van de planten weggeschermd via een verduisteringsdoek dat volledig al het licht moet wegnemen aan de bovenzijde en de zijkanten van de kas (doorlaat <001 % van het daglicht). Dit scherm kan daarnaast natuurlijk ook worden ingezet om de omgeving van de kas te beschermen tegen uitstraling van extra kunstbelichting en voor het besparen van energie.

Een energiescherm kan worden gebruikt om de stookkosten te beperken, verkleint de kasinhoud en sluit de kas beter af, waardoor de luchtvochtigheid hoger blijft. Elk schermtype heeft specifieke eigenschappen en doelen waarvoor deze wordt ingezet en heeft daarom een aparte regeling met bijbehorende set van instellingen. Doeken worden vaak voor meerdere doelen ingezet, waarbij de inzet soms een compromis is. Voorbeeld hiervan is een verduisteringsscherm wat ook veel energie bespaard maar op het moment dat het een koude winterdag is wil je voor de energiebesparing dat scherm soms gesloten houden maar je voorkomt dan intrede van natuurlijk licht wat de groei weer beïnvloed. In dit onderzoek zijn alleen de instellingen m.b.t. het energiescherm en het verduisteringsscherm in beschouwing genomen.

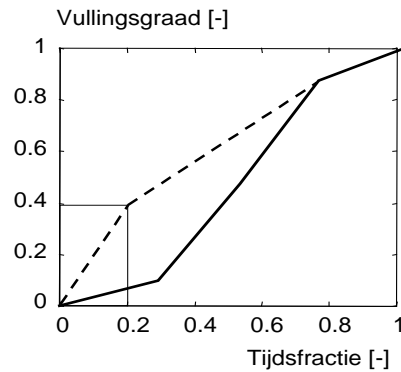
De instelling *stralingsgrens scherm* bevat het stralingsniveau waaronder het scherm sluit. Het scherm wordt ook op de buitentemperatuur geregeld. Dit kan op absolute buitentemperatuur (*buitentemperatuurgrens scherm absoluut*) of op het verschil tussen berekende verwarmingstemperatuur en buitentemperatuur gebeuren (*buitentemperatuurgrens scherm relatief*). Wanneer de absolute buitentemperatuur onder een bepaalde waarde komt of wanneer genoemd verschil te groot wordt zal het scherm sluiten. De wijziging van de sluitconditie op basis van de buitentemperatuur wordt beperkt door de instellingen *kastemperatuur verhoging temperatuurgrens* die sluitconditie *buitentemperatuur grens absoluut* begrenst, *stralingsverlaging temperatuur grens* die de stralingsafhankelijke verlaging van de sluitconditie begrenst en *windsnelheidsverhoging temperatuur grens* die de windsnelheidsafhankelijke verhoging van de sluitconditie begrenst. Tot hoever het scherm gesloten kan worden wordt aangegeven door de *maximum schermstand*. Om te voorkomen dat het scherm te vaak open en dicht gaat, kunnen dode zones (*dode zone buitentemperatuur*, *dode zone straling*) en vertragingen ingesteld worden. Pas wanneer de buitentemperatuur hoger is dan de *buitentemperatuurgrens scherm absoluut* plus de dode zone, wordt het scherm verder geopend. Ook de instellingen *temperatuurafwijking scherm open* en *stralingsafwijking scherm open* bieden de mogelijkheid om de regeling te vertragen. Zoals voor de buitentemperatuur en straling een dode zone bestaat, bestaat deze ook voor de vochtigheid in de kas (*dode zone vocht*). Het scherm wordt op vocht geregeld wanneer de gemeten RV boven het ingestelde *vochniveau scherm* plus de *dode zone vocht* komt. Het sluiten van het scherm beperkt de vochtafvoer. Bedenk daarbij dat een volgroeid gewas altijd vocht produceert.

Wanneer het scherm volledig gesloten is kan de temperatuur te ver oplopen of de luchtvochtigheid te hoog worden. De regeling biedt de mogelijkheid om een temperatuur- en/of vocht-kier te berekenen. Door middel van *maximum kier kastemperatuur* kan ingesteld worden wat de maximum kier moet zijn op basis van de gemeten kasluchttemperatuur (absoluut) of het verschil tussen de gemeten kasluchttemperatuur en de verwarmingstemperatuur (relatief). De kastemperaturen waarboven de temperatuurkier gaat functioneren en waarboven de temperatuurkier maximaal is kunnen worden ingesteld in het *temperatuurkiertraject*. Door middel van een *maximum vocht-kier* kan ingesteld worden wat de maximum kier moet zijn op basis van de gemeten relatieve luchtvochtigheid of het gemeten vochtdeficit. De luchtvochtigheid van de kaslucht waarboven de vocht-kier gaat functioneren en de luchtvochtigheid waarboven de vocht-kier maximaal is kunnen worden ingesteld in het *vochttraject kier*.

5.8 Warmtebuffer en CO₂-dosering

CO₂ is een essentiële productiefactor. Het overgrote deel van de CO₂ wordt op het bedrijf zelf geproduceerd door aardgas in een ketel of WKK te verbranden. Er is vaak een mismatch tussen warmte en CO₂-vraag. Dosering van CO₂ met rookgassen tijdens een periode met een beperkte warmtevraag leidt tot een warmteoverschot.

De klimaatcomputer geeft de tuinder de mogelijkheid te bepalen wat er met het warmteoverschot gedaan moet worden. Het warmteoverschot kan worden afgevoerd naar de buffer, naar het verwarmingsnet (deels minimum buis), worden vernietigd middels een noodkoeler, of een combinatie hiervan. De warmte die in de buffer wordt opgeslagen zou, in het geval er geen buffer zou zijn geweest, via ventilatie moeten worden afgelucht, op een andere manier moeten worden vernietigd, of zou eigenlijk niet geproduceerd moeten zijn. Om zoveel mogelijk CO₂ te kunnen doseren zonder warmte te vernietigen zijn twee zaken essentieel. Ten eerste is het belangrijk dat de buffer zodanig wordt gevuld dat de gedoseerde CO₂ optimaal verdeeld over de bufferperiode vrijkomt, waarbij de bufferperiode een tijd beslaat van een uur na zonsopkomst tot een uur voor zonsondergang. Ten tweede is het belangrijk dat de buffer gedurende de nacht zoveel mogelijk wordt geleegd. Een buffer die gedurende de voorafgaande nacht niet geheel ontladen is tempert namelijk voortdurend de CO₂-dosering tijdens de dag. Het algoritme dat aan deze voorwaarden tracht te voldoen stelt een curve op aan de hand van het gewenste vultraject (buffervulcurve). De buffervulcurve kan bijvoorbeeld zodanig zijn dat de eerste 10% van de (vrije) capaciteit van de buffer wordt gereserveerd voor het 1^e kwart van de bufferperiode, daarna 80% voor het 2^e en 3^e kwart en de laatste 10% in het laatste kwart van de bufferperiode wordt gevuld (Figuur 7).



Figuur 7 Buffervulcurve.

Met het 'vulpercentage' wordt aangegeven hoeveel warmte opgeslagen is in de buffer, ten opzichte van de maximale warmteopslagcapaciteit. Dit percentage heeft dus betrekking op de buffer-temperatuur en niet op de hoeveelheid water in de buffer. Deze is namelijk altijd gevuld met water. Om het vulpercentage te kunnen bepalen berekent de computer een 'temperatuur buffer leeg', wat de status van de buffertemperatuur op het opnamemoment is (0%) en een 'temperatuur buffer vol' (100%). Dit zijn meestal het minimum respectievelijk maximum van de buffervulcurve maar kan ook een ingestelde waarde hebben.

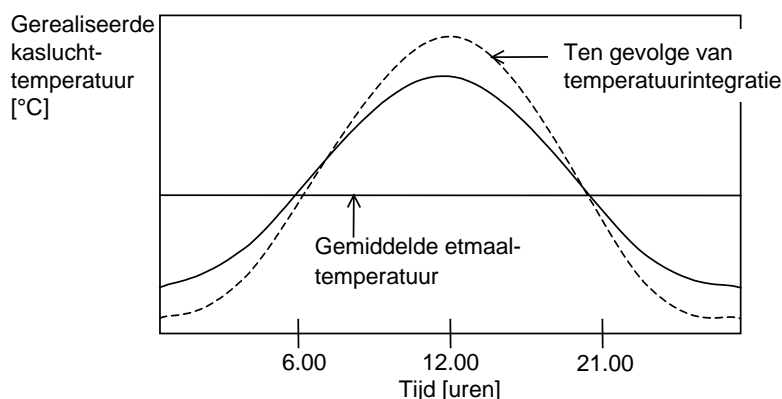
Normaal gesproken gaat de regeling uit van CO₂-dosering zonder warmtevernietiging en is gebaseerd op een continue monitoring van het vulpercentage van de buffer. Dit betekent dat de branderstand (en dus de CO₂-dosering) wordt getemperd op het moment dat de gemiddelde buffertemperatuur het vulpercentage dat voor dat tijdstip van de dag is berekend, overschrijdt. De CO₂-dosering wordt ook getemperd als de CO₂-concentratie in de kas boven een bepaalde ingestelde waarde uitstijgt.

De bufferregeling biedt de tuinder buiten bovengenoemde, een aantal instellingen waarmee de buffervulcurve geconstrueerd kan worden. Met de instelling "*gewenst eind vul%*" kan het gewenste vulpercentage aan het eind van de bufferperiode worden opgegeven, binnen de grenzen van het minimum vulpercentage (*minimum eind vul*) en het maximum vulpercentage (*maximum eind vul%*).

Om ervoor te zorgen dat de buffer gedurende de nacht voldoende wordt geleegd kan tijdens de nacht een extra warmtevraag worden gecreëerd, evenredig met het verschil tussen het gerealiseerde en gewenste vulpercentage. Dit gebeurt door de minimum buistemperatuur te verhogen ("*invloed op minimum buis*"), naar boven begrensd door "*maximum verhoging bij legen*". Wanneer het gerealiseerd vulpercentage "*ondergrens vul% geforceerd*" legen is bereikt wordt gestopt met het verhogen van de minimum buis.

5.9 Temperatuurintegratie

Uit onderzoek is gebleken dat de gewasgroei en -ontwikkeling sterker bepaald wordt door de gemiddelde temperatuur over één of enkele dagen dan door de momentane temperatuur. Met andere woorden, planten zijn in staat een lage temperatuur op het ene tijdstip te compenseren met een hogere temperatuur op een ander tijdstip (Figuur 8). Het gewenste niveau wordt ook wel uitgedrukt in graaduren (afwijking t.o.v. gewenste stooklijn x tijdsduur). Een besturing op basis van temperatuurintegratie maakt hier gebruik van. Het laat de luchttemperatuur in de kas oplopen op momenten dat dit weinig primaire energie kost (overdag, met behulp van zonlicht of in de nacht met gesloten energie-scherm), om daarna op momenten dat het meer energie kost de luchttemperatuur in de kas te laten wegzakken.



Figuur 8 Effect van temperatuurintegratie op de luchttemperatuur in de kas.

Indien de luchttemperatuur in de kas ten gevolge van zoninstraling (zonder extra bijverwarming) hoger kan worden dan door verwarming alleen, wordt dit toegestaan. Als gevolg van een vaste temperatuurintegraal over een hele dag kan de temperatuur gedurende de nacht evenredig lager zijn, hetgeen fossiele energie spaart.

De essentie van deze regelstrategie is dus het verhogen van de ventilatielijn als er graaduren gewonnen kunnen worden en het verlagen van de stooklijn ten opzichte van de gebruikelijke instellingen als er graaduren teruggegeven kunnen worden.

Uiteraard zijn er grenzen aan de capaciteit van planten voor temperatuurintegratie. Deze grenzen worden gevormd door een minimum en maximum temperatuur en door de periode waarin de temperatuur mag afwijken. De speelruimte tussen dit minimum en maximum wordt de bandbreedte genoemd. Slim benutten van de bandbreedte kan energie besparen.

De integratieperiode kan betrekking hebben op een etmaal (etmaal temperatuurintegratie), uit een aantal dagen (meerdaagse temperatuurintegratie) of uit een combinatie hiervan.

De integratie kan gebeuren op basis van de vooraf gerealiseerde verwarmingstemperaturen of op basis van de verwachting van te realiseren verwarmingstemperaturen in de nabije toekomst. In het eerste geval, dus bij een 'terugkijkende' regeling, wordt over de opgegeven (verstrekken) periode de temperatuursom berekend. Eventuele overschotten of tekorten worden weggewerkt in de komende periode, dit binnen de grenzen van de *maximum positieve compensatie* en de *maximum negatieve compensatie*.

In het tweede geval, bij een 'vooruitkijkende' regeling, wordt bij de berekening van de actuele verwarmingstemperatuur uitgegaan van de weersverwachting op korte en/of lange termijn, waarbij meerdaagse temperatuurintegratie gebruik maakt van de wisseling in relatief warme en koude dagen. Als een warmere dag verwacht wordt, wordt in de voorafgaande dag(en) de verwarmingstemperatuur wat lager berekend, zodat de opgegeven gemiddelde temperatuur vooral op die verwachte warmere dag gehaald wordt.

5.10 Verduistering en belichting bij jaarrond Chrysant

5.10.1 Jaarrondteelt van Chrysant

In zijn boek "Jaarrond Chrysant" gaat J.J. Spaargaren (2002) in op alle facetten van de teelt en de bijbehorende achtergronden van de chrysant. De jaarrond chrysant wordt getypeerd als een kwantitatieve korte-dag plant. De grens ligt bij 14-14.5 uur en wordt de kritische daglengte genoemd.

Bij een kwantitatieve korte-dag plant wordt de bloei versneld door korte-dag: i.e. als de daglengte korter is dan ~11 uur. Is de daglengte langer dan de kritische daglengte (~16 uur) dan groeit de plant vegetatief (=lengtegroei en drogestof productie zonder bloemontwikkeling). Om korte- en lange dag strategieën te kunnen uitvoeren zijn in de kas schermssystemen voor de verduistering en lampen voor de belichting aangebracht. In Nederland wordt de jaarrond teelt

mogelijk gemaakt door deze systemen in te zetten in een schema van belichten en verduisteren, waardoor de plant enerzijds in zijn vegetatieve fase wordt gehouden en op enig moment in de generatieve fase (=induceren van bloemaanleg en bloei) wordt gebracht.



Figuur 9 Chrysantengewas in een kas.

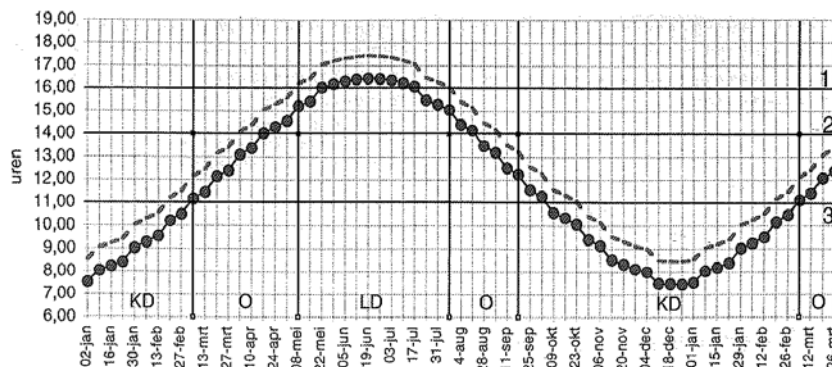
Gericht toepassen van korte dag en lange dag behandeling na de bloemaanleg kan een hoogwaardig product (=bloemsteel van voldoende lengte en dikte én kwalitatieve bloem) op een precieze datum worden geproduceerd, gelijkmatig voor het gehele gewas in de kas.

Het verloop van de natuurlijke daglengte gedurende een jaar wordt weergegeven in Figuur 10.

De drie horizontale lijnen (resp. 16, 14 en 11 uur) stellen hierbij voor:

- o De minimum daglengte van 16 uur, nodig voor vegetatieve groei
- o De kritische daglengte van 14 uur
- o De daglengte van 11 uur voor bloei

De elektrische energie die nodig is voor het belichten van de plant is aanzienlijk, als gevolg van deze mogelijkheden om een "Just in Time" gerichte teeltstrategie op te zetten.



Figuur 10 Natuurlijke daglengte verloop gedurende een jaar in Nederland (Spaargaren, 2002)

De Nederlandse winter is voor de Chrysant een natuurlijke korte dag, terwijl de zomer een natuurlijk lange dag is. Als de bloei-inductie zo is gepland dat in de winter een lange dag nodig is, dan moet er worden bijbelicht; moet er in de zomer vanwege de planning van de productie een korte dag worden gerealiseerd, dan gebeurt dit via verduisteren. Hierbij moet worden bedacht dat de verduistering absoluut moet zijn omdat de chrysant al reageert op een lichtintensiteit van 4 lux.

Het Nieuwe Telen bij Chrysant wordt uitvoerig beschreven in het rapport van Raaphorst et al. (2010). In de samenvatting van hun rapport stellen zij: uit het rekenmodel Kaspro blijkt de warmtevraag bij chrysant te kunnen worden terug-gedrongen van $32,0 \text{ m}^3_{\text{gas}} \text{ m}^{-2}_{\text{kas}} \cdot \text{jaar}^{-1}$ door de stooktemperatuur 1°C te verlagen, temperatuurintegratie toe te passen, de minimum buis te vervangen door het inblazen van droge buitenlucht, en een helder extra

scherm aan te leggen. Met name de betere vochtbeheersing door lucht in te blazen geeft veel ruimte tot besparing op de warmtevraag. Ook als blijkt dat door een betere vochtbeheersing een betere bloem- en bladkwaliteit kan worden gerealiseerd kan HNT met ingeblazen droge buitenlucht sneller door chrysantentelers worden omarmd.

Overige manieren om te besparen op de warmtevraag zijn:

- watergift van onderen in plaats van beregening,
- bodembedekking om de verdamping uit de bodem af te remmen en
- alternatieven voor stomen.

De elektriciteitsvraag kan vooral worden teruggedrongen door minder te belichten. Minder belichten gaat echter altijd ten koste van de productie. Het economisch rendement van belichten is sterk afhankelijk van de elektriciteitsprijs.

5.11 Extra voorzieningen Phalaenopsis

Phalaenopsis wordt als een commercieel gewas relatief recent in Nederland geteeld. Hierdoor is er nog relatief weinig ervaring op het gebied van optimalisatie van de energiehuishouding. Door langdurige gunstige prijsvorming was de druk op kostenbesparing gering bij Phalaenopsis. Deze situatie is door aanzienlijke areaaluitbreiding echter sterk veranderd, en kostenbesparingen op energiegebied zijn zeer gewenst (Campen et al., 2011).

In de opkweekfase van de Phalaenopsisteelt wordt gedurende 24-28 weken de kas verwarmd tot 28°C en indien nodig bijbelicht tot circa 4 [Mol (PAR) m⁻² d⁻¹], afhankelijk van het seizoen (Duek et al, 2011).

Ten behoeve van bloei-inductie wordt door verwarming in de winter en koeling in de zomer gestreefd naar een temperatuur van 18-19°C en bijbelicht tot ca. 5 [Mol (PAR) m⁻² d⁻¹] ten behoeve van de kwaliteit (inductie van voldoende bloemtakken). Vervolgens wordt in de afweekfase gestreefd naar een temperatuur van 19-21°C, en zonodig bijbelicht tot circa 6 [Mol (PAR) m⁻² d⁻¹] voor de bloemtakkwaliteit.

Tijdens de hele teelt worden opvallend vaak stookacties uitgevoerd of een minimum raamstand ingesteld (=extra energieverlies) met als argument de planten actief en de wortels goed te houden. Daarnaast wordt bij Phalaenopsis iedere 4 tot 6 dagen bovendoor (= van bovenaf over het gewas heen) water gegeven, waarna extra stook- en ventilatieacties worden ingesteld om het blad-bloem gedeelte van het gewas snel (= binnen de lichtperiode) droog te krijgen, en zo het risico op ziektes tegen te gaan. Bovenstaande is er de oorzaak van dat, in vergelijking met andere gewassen, in de Phalaenopsisteelt veel (fossiele) energie verbruikt wordt. Bovendien vertoont dit energieverbruik een zeer grote spreiding over de verschillende bedrijven. Deze spreiding bedraagt wel van 50 tot 90 m³_{gas}·m⁻² (inclusief belichting).

Figuur 11 toont de teelt van Phalaenopsis op roltafels. De Phalaenopsis vormt op deze manier een zodanig dunne laag in de kas dat het als plant nauwelijks invloed uitoefent op het klimaat.



Figuur 11 Phalaenopsis in de kas.

5.12 Het Nieuwe Telen in (semi)gesloten kassen

In de hierboven beschreven paragrafen is de besturing van de installaties in een standaard, z.g. "open" kas, weergegeven. In onderzoekprojecten, die in de voorgaande jaren zijn gefinancierd door Productschap Tuinbouw en Ministerie LNV, zijn nieuwe manieren van aanpak uitgewerkt binnen het Programma "Kas als Energiebron". Het telen in gesloten of semi-gesloten kassen wordt in die projecten uitgewerkt en heeft geresulteerd in het z.g. "Nieuwe Telen", dat ook goede resultaten laat zien als de bijbehorende teeltwijze in een standaard kas wordt toegepast

5.12.1 Kas als Energiebron

In het verleden al veel bereikt met de manier van telen zoals in voorgaande paragrafen is beschreven. Daarbij werd gebruik gemaakt van de hiervoor genoemde installaties in de kas. Echter, in het kader van het convenant "Schone & Zuinige Agrosectoren 2008-2020" is dit bij lange na niet genoeg. Om dit proces een duwtje in de rug te geven heeft het ministerie van EL&I in samenspraak met het Productschap Tuinbouw het programma "Kas als Energiebron" opgezet. Dit programma beschrijft in verschillende transitiepaden de aanpak voor het behalen van de doelstellingen: Teeltstrategieën, Licht, Zonne-energie, Aardwarmte, Biobrandstoffen, Duurzame elektriciteit, Duurzame CO₂. Binnen het transitiepad Teeltstrategieën wordt momenteel onderzoek verricht naar het ontwikkelen van nieuwe energiezuinige teeltstrategieën onder de naam "Het Nieuwe Telen". De volgende zeven stappen zijn belangrijk om energiezuinig te telen:

1. Ontvochtigen met buitenlucht aanzuiging (buitenlucht bevat minder vocht dan de lucht in de kas), niet langer droogstoken en ventileren
2. Meer isolatie door dubbele of driedubbele schermen en isolerende kasdekken door aanpassingen aan het kasdek zelf,
3. Aanpassingen in de besturing van het klimaat:
Rustiger telen (= minder dynamiek in de streefwaarden voor temperatuur en vocht)
Met het klimaat mee telen (= denken vanuit de plantprocessen)
Schermen eerder sluiten, Vochtiger telen
Temperatuurintegratie ($^{\circ}\text{C h etmaal}^{-1}$) en lichtsom ($\text{J cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ globale straling) gebruiken bij de besturing
4. Klimaat homogeniseren (minder horizontale en verticale temperatuurverschillen toelaten) door luchtbeweging.
5. Koelen door luchtbevochtiging, hierdoor ramen langer gesloten, behoud van CO₂
6. Actieve koeling via warmteterugwinning
7. Warmte & Koude Opslag + Warmte Pomp systemen

Een alternatieve methode van ontvochtigen is onontbeerlijk om een flinke stap in het verhogen van de isolatiegraad van de kas te kunnen maken. Het aanzuigen van buitenlucht geeft mogelijkheden om bij gesloten schermen gecontroleerd te ontvochtigen. Buitenlucht is in 98% van de tijd droger (in absolute termen) dan kaslucht. Opwarmen tot de temperatuur van de lucht in de kas voorkomt problemen met temperatuurongelijkheid en condensatie. Gecontroleerd aanzuigen en gelijkmatig verdelen van buitenlucht in de kas voert via verdringing vocht af. Berekeningen en tests laten zien dat een capaciteit van $5-7 \text{ m}^3_{\text{lucht}} \text{ m}^{-2}_{\text{kas}} \text{ h}^{-1}$ het grootste deel van het jaar de vochtproblemen beheersbaar maken (Campen, 2009; Campen en Kempkes, 2009).

Teeltproeven (Staalduinen & de Gelder, 2009) hebben aangetoond dat intensief gebruik van 3 schermen mogelijk is, ondanks het nadeel van verlies van veel licht (in februari wel tot 25% op gewasniveau). Een alternatief voor dit intensieve schermen is het toepassen van dubbel glas. Met behulp van Anti Reflectie coatings is het mogelijk een hogere transmissie te bereiken dan van standaard enkel glas (Kempkes & Janse, 2011).

In het stappenplan wordt ook gesproken over aanpassingen in de klimaatregeling. Rustiger sturen, eventueel ten koste van het nastreven van exact de gewenste temperatuur op ieder moment van de dag. In dat verlengde past ook goed de toepassing van Temperatuurintegratie. Op momenten van te hoge temperatuur worden graaduren opgebouwd en op momenten dat het verwarmingssysteem daadwerkelijk fossiele energie moet verstoken wordt de gewenste temperatuur verlaagd tegen inleveren van eerder gewonnen graaduren. In combinatie met weersvoorspelling kan de regeling zo vele procenten energiebesparing bereiken.

Een belangrijke factor met betrekking tot aanpassingen in de klimaatregeling is vooral de vermindering / afbouw van het gebruik van de z.g. "minimum buistemperatuur" (= minimum gesteld aan de temperatuur van het verwarmingssysteem). Telers beïnvloeden de vochtbalans in het klimaat door de CV in te zetten op momenten dat dit strikt genomen voor de energiebalans van de kas niet noodzakelijk is. Het gebruik van de minimum buistemperatuur gebeurt nog te veel en is lastig met getallen te onderbouwen of te weerleggen.

Inzet van lokale ventilatoren (mixers) heeft slechts op beperkte schaal een homogeen kasklimaat tot gevolg. Op het moment dat er storende luchtstromingen ontstaan is het vrijwel onmogelijk deze met ventilatoren op te heffen. Een zorgvuldige uitleg van het verwarmingssysteem met de juiste maatregelen aan de gevel van de kas (extra beweegbaar scherm of apart regelbaar verwarmingsnet aan de gevel) zijn van belang.

De ventilatiebehoefte in de zomer kan sterk verminderen door middel van actieve koeling. Vermindering van het gebruik van fossiele brandstof op tuinbouwbedrijven vereist een alternatieve CO₂-bron. Koppeling met industrieën die een overschot aan CO₂ produceren liggen hier voor de hand. Actieve koeling met warmte en koude opslag in een aquifer (WKO) kan een bijdrage aan een verder terugdringen van het energieverbruik leveren. In de zomer oogst actieve koeling de overtollige warmte in de kas, slaat dit op in een aquifer, om in de winter dienst te doen als verwarmingswater. De temperatuur van deze waterstroom is te laag om de kas direct mee te verwarmen. Als tussenstap dient dan een warmtepomp (WP) die het water op een geschikt niveau brengt. Het restproduct van deze cyclus, koud water, kan in de aquifer worden opgeslagen om in de zomer de kas weer mee te koelen (warmte te oogsten). Met zo'n systeem moet het mogelijk zijn om met een beperkte inzet van elektriciteit voor aandrijving van (warmte)pompen en ventilatoren een kasklimaat te realiseren waarin zonder restricties m.b.t. productie en productkwaliteit te telen is.

Proeven met kasconcepten van alle hierboven genoemde maatregelen samen hebben op experimenteel gebied het energiegebruik verminderd van zo'n 40 naar 23 m³_{gas} m⁻²_{kas} jaar⁻¹. Bij de toepassing van dubbelglas is zelfs de 20 m³_{gas} m⁻²_{kas} jaar⁻¹ grens te doorbreken.

6. Klimaat scenario's (WP1.1)

6.1 Inleiding

In voorgaande hoofdstukken zijn de standaard installaties en belangrijkste instellingen voor het kasklimaat weergegeven. De klimaatinstellingen relateren aan de behoeften van de plant. Voor de verschillende teelten wordt zoveel mogelijk uitgegaan van één type kas en kasconstructie.

De belangrijkste parameters, die de eigenschappen van de kas beschrijven voor deze teelten, worden besproken in paragraaf 6.2. Paragraaf 6.3 gaat specifiek in op de klimaat-setpoints van de betreffende teelten.

Reële praktijkwaarden van de setpoints, zoals die ook zijn gebruikt om in het kasklimaatmodel KASPRO te worden ingevoerd voor berekeningen aan het klimaat, zijn gegeven in Bijlage I voor Tomaat, in Bijlage II voor Chrysant en in Bijlage III voor Phalaenopsis. Deze instellingen voldoen aan de moderne eisen die worden gesteld aan het kasklimaat binnen het algemene concept dat hoort bij "Het Nieuwe Telen".

6.2 Kasconstructie en installaties

6.2.1 Het gewas Tomaat in een reële case

Kasmaten

Akas:	41280	Totale vloeroppervlak (inc. pad) [m ²]
Padbreedte:	3	Padbreedte [m] (padlengte is gelijk aan kopgevellengte)
hGutter:	6	Goothoogte [m]
Roofslope:	22	Dakhelling [graden]
Kapbreedte:	4.8	Breedte van een kap [m]
Vakmaat:	4.5	Vakmaat [m]
frSunAir:	0.06	Fractie zonlicht dat door de kasconstructie onderschept wordt (exclusief scherm pakket en armaturen)
Dekmateriaal:	enk_Bom_480x450	Type kasbedekkingsmateriaal
InclusiefGevel:	Ja	Warmteverlies door gevel wordt al dan niet meegenomen
Leakage:	7.50E-05	Lekventilatie [m ³ /m ² /s per m/s windsnelh]

Luchtramen

Windowlength:	2.5	Lengte van een luchtraam in gootrichting [m]
Windowheight:	1.3	Hoogte van een luchtraam [m]
fr_Window:	0.0417	Aantal ramen per kas / kasoppervlak

Geo-informatie

Latitude:	52	Breedtegraad
-----------	----	--------------

Verwarmingsnetten

PrimNet:	bovennet
----------	----------

Ondernet

Ondernettype:	51-er	Buisdikte ondernet (51-er = 51 mm)
nLowPerKap:	12	Aantal buizen per kap bovennet

Bovennet

Bovennetype:	35-er	Buisdikte bovennet
nUppPerKap:	12	Aantal buizen per kap bovennet
Vloerverwarming		
Vloerverwarming:	nee	Heeft de kas een (verwarmde) betonvloer
nSlangPerKap:	5	Aantal vloerverwarmingslangen per kap
Slangdiameter:	32	Diameter van de slangen in de vloerverwarming [mm]
EbVloed:	nee	Wordt er gebruik gemaakt via een EbVloed-systeem ()
Verwarmingsunits		
Ketel		
Pketel:	100	Nominaal ketelvermogen [W/m ²]
Ketelverlies:	1	Ketelverlies [W/m ²]
T_rookgasKetel:	140	Rookgastemperatuur de ketel (voor de condensor) [°C]
Vultemp:	95	Vultemperatuur [°C]
Ketelcondensor:	combi	Heeft de ketel een condensor ?
WKK (warmtekrachtkoppeling)		
WKKType:	Jenbacher_JMS_156	Specificaties WKK
WKKPelek:	0	Elektrisch vermogen [W/m ²]
WKKcondensor:	ja	Heeft de WKK een condensor?
WKKoperationMode:	Openbaar net	Wijze waarop de WKK gebruikt wordt
Warmtepomp		
WPtype:	elektrisch	Type warmtepomp
Pwarmtepomp:	0	Maximaal asvermogen warmtepomp [W/m ²]
COPFactorInDeellast:	1	Vermenigvuldigingsfactor COP als fie van deellast
Warmteopslag Buffer		
Buffervolume:	100	Buffervolume [m ³ /ha]
AlsBufVol:	stoppen	Strategie bij volle buffer
Aquifer		
Aquifer:	Nee	Is er een aquifer aanwezig
TAquiferWarm:	15	Starttemp binnenste ring warme aquifer
TAquiferKoud:	9	Starttemp binnenste ring koude aquifer
Gewas		
Gewas:	tomaat	Type gewas
Plantdatum:	12-jan	Datum waarop gewas geplant wordt
Ruimdatum:	1-jan	Datum waarop gewas geruimd wordt
LAIfile:	lai_pri_tom	In dit bestand kan het LAI verloop gedurende de teelt worden opgenomen [m ² blad/m ² kas]

6.2.2 Aanvullingen gewas Chrysant

Kasmaten

oppervlakte glas	41.280 m ²
breedte X lengte	215 x 192 m
Goothoogte	6.0 m
Kapbreedte	4.8 m
Tralieafstand	4.5 m

Verwarming

Ondernet	12 x 40 ¹ mm per 9,60 m
Bovennet	4 x 57mm per 9,60 m
Type Schermdoek	XLS Obscura

Assimilatiebelichting

intensiteit	111 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$
aantal lampen	650 lampen van 1000 Watt
opgenomen vermogen	682 kW/ha = 68.2 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$

WKK

elektrisch vermogen	2000 kW = 484 $\text{kW}\cdot\text{ha}^{-1}$
gasverbruik per uur	538 m^3/uur = 130 $\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$

CO ₂	100 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ CO ₂ zuiver of 234 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ met rookgasreiniger
Buffergrootte	825 m^3 = 200 $\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$

6.3 Scenario van streefwaarden voor besturing van het klimaat

6.3.1 De standaard setpoints (tomaat en chrysant)

Temperatuur

StookTemp:	Stooktemperatuur [$^{\circ}\text{C}$]
StookTempTijdstip:	Stooktemperatuur tijdstippen [dec.h]
DodeZone:	Dode zone tussen stooklijn en ventilatielijn [$^{\circ}\text{C}$]
DodeZoneTijdstip:	Dode zone tijdstippen [dec.h]
LichtVbeg:	Begin stralingstraject voor temp. setp. verhoging [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]
LichtVend:	Einde stralingstraject voor temp. setp. verhoging [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]
LichtV:	Lichtafhankelijke setpointverhoging [$^{\circ}\text{C}$]
BuitempAfhVerl:	Setpointverlaging als functie van buitemp [$^{\circ}\text{C}_{\text{stooktemp}} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}_{\text{buitemp}}$]

Luchtvochtigheid

SpVocht:	Luchtvochtigheidssetpoint [RV %] [$\text{dX gram}\cdot\text{m}^{-3}$] [$\text{dT can } ^{\circ}\text{C}$]
SpVochtTijdstip:	luchtvochtigheid tijdstippen [dec.h]
KpRV:	Versterkingsfactor voor vocht op RV [% raam $\cdot\%^{-1}$ RV $^{-1}$]
KpDX:	Versterkingsfactor voor vocht op DX [% raam $\cdot\text{gram}\cdot\text{kg}^{-1}$]
KpDTcan:	Versterkingsfactor voor vocht op DTCan [% raam $\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$]
Vochtmetbuis:	Verhoging buistemp als functie van RV

CO₂

SpCO ₂ :	Setpoint CO ₂ -dosering overdag [ppm]
SpCO ₂ Tijdstip:	Setpoint CO ₂ -dosering tijdstippen [dec uren]
CO ₂ bron:	CO ₂ bron
kgCO ₂ :	CO ₂ doseerflux afhankelijk van lichtintensiteit [$\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$]

Temperatuurintegratie

Bandbreedte:	Maximale bandbreedte rond de stooklijn (enkele breedte !) [$^{\circ}\text{C}$]
IntegratiePeriode:	Maximale integratieperiode [uren]
maxGraaduren:	maxGraaduren dat in de integratie mag worden opgebouwd

¹ Bij Kaspro is de buisdiameter van het ondernet gesteld op 38 ipv 40 mm. Hierdoor zal voor het ondernet bij Kaspro een 5% lagere capaciteit worden berekend dan bij QMS.

Luchtramen

Vorstgrens:	Buitemtemperatuur waaronder ramen dicht blijven [°C]
StartWhet:	Raamstand lijzijde waarbij loefzijde meeloopt [%]
WinLeeMin:	Minimale raamstand lijzijde [%]
WinWhetMin:	Minimale raamstand loefzijde [%]
WinLeeMax:	Maximale raamstand lijzijde [%]
WinWhetMax:	Maximale raamstand loefzijde [%]
MaxWin:	Maximale raamopening [graden]
PI_regeling:	PI-geregelde raamopening
KpVent:	Versterkingsfactor raamopening als functie van buitemtemp [%·°C ⁻¹]

Buizen

MinBuisLow:	Minimum buistemperatuur op het ondernet
MinBuisLowTijdstip:	Ingangstijdstippen voor de temperatuur niveaus in het ondernet
MinBuisUpp:	Minimum buistemperatuur op het bovennet
MinBuisUppTijdstip:	Ingangstijdstippen voor de temperatuurniveaus in het bovennet
MinBuisBeg:	Begin stralingstraject minimumbuis afbouw [W·m ⁻²]
MinBuisEnd:	Einde stralingstraject minimumbuis afbouw [W·m ⁻²]
MaxBuisLow:	Maximumbuistemperatuur op het ondernet [°C]
MaxBuisLowTijdstip:	Ingangstijdstippen voor maximum buistemperaturen
MaxBuisUpp:	Maximumbuistemperaturen op het bovennet [°C]
MaxBuisUppTijdstip:	Ingangstijdstippen voor maximumbuistemperaturen
T2ndAcc:	Temperatuur ondernet waarboven bovennet bijkomt [°C]

Fogging

Fogging:	Is er een fogging systeem aanwezig
FoggingDose:	Doseercapaciteit in gram·m ⁻² ·h ⁻¹
-MaxTemp:	Temperatuur waarboven het fogging systeem gaat werken
MinVocht:	Relatieve luchtvochtigheid waaronder het fogging systeem aangaat.
MinVochtTijdstip:	Ingangstijdstip voor vochtsetpoint start fogging systeem
Stoptijd:	Aantal minuten geen fogging na 2 minuten foggen

Belichting

Belichting:	Keuze belichting
Lampvermogen:	Belichtingsintensiteit [W·m ⁻² als < 500, lux als > 500]
MaxIGlob:	Globale straling waarboven belichting geblokkeerd [W·m ⁻²] Cumsum lichtsom [J/cm ²] per dag waarboven belichting die dag niet meer aan gaat
MaxLichtsom:	
UitPerEtmaal:	Tijd per etmaal dat belichting geblokkeerd is [uren]
BlokUitBegin:	Tijdstip waarop belichtsblokking ingaat [dec. uren]

Lampeigenschappen

FracPAR:	Fractie PAR in belichtingsvermogen [-]
FracNIR:	Fractie NIR in belichtingsvermogen [-]
FracSens:	Fractie voelbare warmte in belichtingsvermogen [-]

Schermsystemen

Gevelscherm:	Indien beweegbaar loopt Gevelscherm mee met het onderste scherm
--------------	---

OndersteScherm

Scherm:	Keuze scherm in gebruik
Schermtype:	Type scherm Zonstr. open crit. , optioneel 2e argument voor sluiten van (schaduw)scherm
IGlobOpen:	
TbuitMax:	Buitemtemp waarboven niet geschermd wordt [°C]

Scrfile:	openen van het scherm, afhankelijk van buitentemperatuur en globale straling, via tabel
VerduisterSchermOpenDi	Tijdstip openen en sluiten verduisterscherm (0; 0 -> niet in gebruik)
MaxTexcess:	Dode zone tussen kasluchttemp. en kier temp [°C]
VoorloopSchermkier:	Voorloop kierregeling in %raamstand equivalenten
MaxVochtKier:	Maxale kier vocht vocht [%]

BovensteScherm

SchermBoven:	Tweede scherm in gebruik?
SchermtypeBoven:	Type scherm
IglobOpenBoven:	Zonstr. open crit. , optioneel 2e argument voor sluiten van (schaduw)scherm
TbuitMaxBoven:	Buientemp waarboven niet geschermd wordt [°C]
ScrfileBoven:	openen van het scherm, afhankelijk van buitentemperatuur en globale straling, via tabel
VerduisterSchermOpenDi	Tijdstip openen en sluiten verduisterscherm (0 0 -> niet in gebruik)
MaxTexcessBoven:	Dode zone tussen kasluchttemp. en kier temp [°C]
VoorloopSchermkierBove	Voorloop kierregeling in %raamstand equivalenten
MaxVochtKierBoven:	Maxale kier vocht vocht [%]

Krijten

Krijten:	Periode waarin het dek gekrijt wordt
Krijtfactor:	Deel van het zonlicht dat door het krijt wordt geabsorbeert [0 - 100%]

Koeling

Koeling:	Type koeling
SpTdek:	Temperatuur [°C] van het water bij dakbevoeiing. Vermogen naar aquifer !!!
MaxDekBvDebiet:	Maximaal sproeidebiet [liter·m ⁻² ·uur]
MinTDekBv:	Minimale aanvoertempertuur [°C]
OffsetDekBevl:	Offset starttemperatuur Dekbevoeiing t.o.v. SPvent

Carbonomic

Carbonomic:	CO ₂ -dosering wordt geoptimaliseerd naar maximale inkomsten
CO ₂ prijs:	Prijs van niet-gratis CO ₂ [Euro/kg]
productprijsfile:	Productprijzen per week [52x]

6.3.2 Aanvullingen voor Phalaenopsis

De Phalaenopsissteelt kan opgedeeld worden in een aantal fasen (Tabel 1). Na het oppotten wordt in de opkweekfasen een temperatuur van 28 °C aangehouden om de planten vegetatief te laten ontwikkelen. Als de planten voldoende bladeren gemaakt hebben gaan de planten naar de bloei-inductie met een lage temperatuur van 18-20 °C en hoog lichtniveau. Na inductie van de bloemtakken kan de temperatuur iets verhoogd worden naar 20-21 °C om de takuitgroei te versnellen.

Het overgrote deel van de Phalaenopsisbedrijven heeft voor de teeltfasen 2 aparte afdelingen (opkweek en gecombineerde koel- en afkweekafdeling) in plaats van 3 aparte afdelingen (opkweek, koeling en afkweek). Planten worden naar de volgende afdeling verplaatst als ze voldoende grootte hebben of als er voldoende takken geïnduceerd zijn. Ongeveer de helft van de teeltoppervlakte wordt door de warme afdeling ingenomen. Als de koelafdeling apart is, beslaat deze ca. 1/6 van de teeltoppervlakte (Campen et al, 2010; Gieling et al. 2010).

Tabel 1 Phalaenopsissteelt: kenmerken van de verschillende teeltfasen.

Fase	Opkweek 1	Opkweek 2	Bloei-inductie	Tak-uitgroei
PAR maximaal ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	70-90	80-110	150-170	130-150
PARsom ($\text{mol PAR m}^{-2} \text{etm}^{-1}$)	3-3.5	4-4.5	6-7	5.5-6.5
Temperatuur ($^{\circ}\text{C}$)	28	28	18-19	19-21
Teeltduur (weken)	12-14	12-14	6-8	8-12
Plantdichtheid ($\text{potten}\cdot\text{m}^{-2}$)	80	60-45	45-37	37

In de warme afdeling wordt het energieverbruik bepaald door de verwarming. In de koude afdeling wordt deze bepaald door de koeling en de verwarming. Daarnaast is de belichting een belangrijke energiegebruiker in beide afdelingen.

Verwarmingssysteem

Een ondernet onder de tafels van 18 buizen van 51 mmØ per 12.8 meter kap, en een bovennet van 6 buizen van 51mmØ per 12.8 meter kap. De maximale capaciteit door de ketel geleverd is $200 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ in de warme afdeling.

Minimum temperatuur van verwarmingsbuis

In de warme afdeling wordt overdag een minimum buistemperatuur van 40°C voor het ondernet (onder de roltafels) aangehouden. In de nacht wordt deze verlaagd naar 30°C . Overdag wordt deze afgebouwd naar de kasluchttemperatuur over een buitenstralingstraject van 200 tot $500 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Op de dagen dat de watergift plaats vindt wordt de minimumbuis-temperatuur van het bovennet in de ochtend met 30°C verhoogd en van het ondernet met 10°C tot het moment van watergift. Voor de koude afdeling wordt een lagere minimum buistemperatuur van 45°C op het ondernet en 35°C op het bovennet aangehouden, deze wordt in de donkerperiode verlaagd naar 35 respectievelijk 30°C . De afbouw op straling start in deze afdeling bij $150 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ en eindigt bij $300 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. De verhoging n.a.v. een watergift gedurende de dag is hetzelfde.

Ventilatie

De ramen worden geopend als de kasluchttemperatuur 1°C boven de stooktemperatuur ligt. Er wordt een P-band van 5 (\hat{a} 8) $^{\circ}\text{C}$ gebruikt in de berekeningen, wat inhoudt dat de ramen volledig geopend zijn indien de kasluchttemperatuur 6 (\hat{a} 9) $^{\circ}\text{C}$ boven de ventilatietemperatuur uitkomt. De loef-zijdige ramen gaan open als de lij-zijdige ramen verder dan 50% zijn geopend.

Luchtvochtigheid

De kas ventileert op basis van luchtvochtigheid bij een RV groter dan 65%. Er wordt niet extra verwarmd indien door ventileren niet voldoende vocht wordt afgevoerd. In de winter wordt tijdens gebruik van het energiescherm een maximale kier van 1% aangehouden om vocht af te voeren, vanaf 1 maart 2%, vanaf 1 mei 4%, vanaf 1 september tot 1 november 2%. Het schaduw scherm wordt maximaal 10% geopend op basis van luchtvochtigheid. In de koude afdeling wordt een relatieve luchtvochtigheid van 70% nagestreefd.

Belichting

In de warme afdeling wordt assimilatiebelichting met een lichtintensiteit van 6000 lux toegepast ($58 \text{ W}/\text{m}^2$ geïnstalleerd elektrisch vermogen), in de koude afdeling 9000 lux. De belichting wordt gebruikt van 1 september tot 1 mei. In de warme opkweek-afdelingen wordt het licht ingeschakeld als de lichtintensiteit t.g.v. zonne-instraling binnen in de kas onder de 6000 lux zakt ($\sim 23 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ PAR of $\sim 46 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ globale straling of $\sim 105 \mu\text{Mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) bij de warme afdeling bij 9000 lux. Van 19:00 uur tot 05:00 uur is de belichting geblokkeerd.

Voor de totale lichtsom zie Tabel 1

Koeling

Alleen in de koude afdeling wordt koeling ingezet. De hoeveelheid koeling is niet gelimiteerd en zorgt dat de streef temperatuur altijd gehaald wordt (slechts enkele graden boven de ventilatielijjn).

Schermen

Het energiescherm is in de warme afdeling in de nacht bijna het gehele jaar gesloten. Alleen op het moment dat de buitentemperatuur meer dan 25°C is en de zonne-instraling minder dan $400 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ gaat het scherm open. Bij een hoger lichtniveau wordt er een kier van 10% aangehouden bij hoge buitentemperatuur. In de koude afdeling wordt het scherm gebruikt bij een buitentemperatuur lager dan 8°C en een lichtniveau buiten de kas van minder dan $50 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

Om het lichtniveau op de plant vrijwel traploos te kunnen sturen zijn er meerder schermen in gebruik. Er wordt ook een schaduw scherm gebruikt. Het scherm gaat dicht in de nacht en als het lichtniveau in de kas boven de $100 \text{ } [\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}]$ komt.:

- o in de winter boven de $150 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ globale straling buiten de kas,
- o vanaf 1 maart boven de $200 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ straling buiten de kas en
- o vanaf 1 mei tot 1 september vanaf $300 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ straling buiten de kas, dit in relatie tot de benodigde lichtsom en het aanbrengen van krijt op het kasdek.

Kasdek bedekken met een krijtlaag

Het kasdek materiaal bij 80-85% van de bedrijven is conventioneel. Op de meeste bedrijven wordt van medio februari tot 1 oktober één of meerdere krijtlagen op het kasdek aangebracht om minder licht toe te laten. In het begin wordt 65% van het licht tegengehouden, op 1 mei 75% en op 1 september wordt nog 65% tegengehouden ten gevolge van veroudering van het krijt en op 1 oktober wordt het krijt verwijderd. In de koude afdeling wordt in maart 40% van het licht tegengehouden door het krijt; deze wordt in april verhoogd naar 50%.

Uitgangspunten verdamping

Voor de berekeningen zijn de volgende gegevens en aannamen gebruikt.

De verdamping in Phalaenopsis teelt komt enerzijds van de plant zelf (CAM-plant) en anderzijds door verdamping uit de pot waar de plant in staat. In vergelijking met andere tuinbouwkundige gewassen is de verdamping van Phalaenopsis extreem laag. De verdamping vindt voornamelijk vanuit de pot plaats. Gemiddeld is de verdamping ongeveer $1 \text{ liter}\cdot\text{m}^{-2}$ per etmaal met een variatie van 0.4 (net voor een watergift) tot maximaal $2.3 \text{ liter}\cdot\text{m}^{-2}$ (direct na een watergift). Uit de berekeningen volgt dat de hoeveelheid water die moet worden verdampt geen grote invloed heeft op het gasverbruik. Dit komt voornamelijk omdat de berekening in de ochtend gebeurt waardoor de zonnewarmte of lampwarmte voor de verdamping zorgt waardoor niet veel extra energiegebruik is.

7. Energiestromen gedurende een jaar (WP1.2)

7.1 Inleiding

Wageningen UR Glastuinbouw heeft een groot aantal modellen ontwikkeld die in onderzoek en praktijk worden toegepast:

- Oogstvoorspelling en planning
- Scenarioberekening: verkenning van de gevolgen van veranderde instellingen van klimaatregelingen of door teelthandelingen
- Besturing van klimaat, water- en meststofvoeding
- Interpreteren van sensorinformatie: fyto-monitoring
- Doorrekenen van energiebesparingsopties
- Bedrijfsvergelijking
- Beslissingsondersteuning-, informatie- en adviesystemen

Ze geven antwoord op vragen als: wanneer moet s'morgens het scherm open, wat is het effect van het verwijderen van bladeren bij tomaat en komkommer, wat levert een meer licht doorlatende kas op, wat gebeurt er met de EC in de mat, enzomeer.

De energiestromen zoals die voorkomen bij de verschillende gewassen zijn berekend met het simulatiemodel KASPRO. §7.2 geeft een beschrijving van het model KASPRO.

In de navolgende paragrafen is KASPRO zodanig ingesteld dat de resulterende data zijn weergegeven in $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{week}^{-1}$. Indien gewenst kunnen de outputdata van KASPRO per uur, per minuut of per sec. worden aangeleverd. De grafieken met energiedata, die in §7.3 als output van KASPRO worden gepresenteerd, zijn slechts ter illustratie. De output kan op verzoek van de CAGIM partners worden aangeleverd in verschillende dataformats (Excel, Matlab, etc.)

KASPRO maakt gebruik van onderliggende deelmodellen. Zo is een eenvoudig gewasmodel ingebouwd, dat de reacties van het gewas (fotosynthese, verdamping en productie) op de variaties in het kasklimaat berekent. Het gewasmodel is beschikbaar om in de modellen van de partners te worden opgenomen voor het uitvoeren van bijvoorbeeld gevoeligheidsanalyses. N.B.: Het gewasmodel is eigendom van Wageningen UR Glastuinbouw.

7.2 Het model KASPRO

Het simulatiemodel KASPRO gebruikt de eigenschappen van de kas, de gewasgegevens, de ingestelde setpoints voor de regelaar en de buitenklimaatgegevens. Kaspro berekent de relevante klimaatvariabelen als functie van de tijd. KASPRO maakt daarmee berekening van de energiestromen en de gewasproductie mogelijk. De basis van het model wordt gevormd door de energie-, water- en CO_2 -balansen van de installaties die in het systeem zijn opgenomen. Het resulteert in een set van niet lineaire, eerste orde differentiaal vergelijkingen die numeriek worden opgelost.

Het kasklimaatmodel heeft als startpunt de kasklimaatregelaar.

De lucht in de kas ("Kaslucht") is een component waarvan de temperatuur, vochtigheid en CO_2 concentratie als primaire variabelen worden beschouwd. De kasklimaatregelaar vergelijkt deze waarden met setpoints (streefwaarden). De setpoints zijn functies van tijd en buitenklimaat. De teler (hier de gebruiker van het model) stelt de parameters van deze functies in. Op grond van de vergelijkingen zal de regelaar het volgende doen:

- De stand van de mengklep van de warmwatertoevoer wordt aangepast, ten einde de temperatuur van de verwarmingbuizen te wijzigen. Meestal wordt de temperatuur van twee afzonderlijke verwarmingssystemen geregeld, waarvan één met verwarmingsbuizen dicht bij de grond en één met verwarmingsbuizen in of boven het gewas.
- De stand van de luchtramen wordt aangepast voor warmte, vocht en CO_2 -uitwisseling tussen de kas- en buitenlucht.
- De CO_2 -gift naar de kas wordt gestart en gestopt.
- De schermssystemen worden aangestuurd.

Naast het kasklimaat, stuurt de regelaar de apparaten aan die van belang zijn voor de warmtevoorziening (ketel en evt. warmtepomp, opslagtank etc.) en de CO_2 -productie van de ketel. De regelactiviteiten hebben direct of indirect invloed op het brandstofverbruik. Dit is duidelijk het geval bij verhoging van de buistemperatuur, hoewel de energie om

in de warmtebehoefte te voorzien al uren eerder opgewekt kan zijn en tijdelijk zijn opgeslagen in een warmteopslagtank. De tank voor korte termijn warmteopslag met zijn grote thermische vermogen is gemodelleerd met een uitgebreid meer-lagen-model, overeenkomstig de uitgangspunten gepresenteerd door Yoo en Pak (1993). Als gedurende perioden van energievraag regelactiviteiten worden uitgevoerd op grond van het setpoint luchtvochtigheid kunnen deze regelactiviteiten effect hebben op de ramen en zo de energieconsumptie beïnvloeden. Het besturen van de CO₂-gift tijdens perioden zonder energievraag voor verwarming veroorzaakt een brandstofverbruik indien de uitlaatgassen van een ketel of WK-installatie de CO₂ bron is. In KASPRO wordt extra aandacht besteed aan de beschrijving van het dynamisch gedrag het warmtedistributiesysteem in de kas omdat dit gewoonlijk bestaat uit een warmwatercircuit van buizen met een groot thermisch vermogen en typische afkoelingseigenschappen (De Zwart, 1996).

Naast de kasklimaatregelaar zijn de kasluchtomstandigheden ook afhankelijk van de warmte, vocht en CO₂-uitwisseling tussen de kaslucht en zijn directe omgeving. Om deze interacties te beschrijven onderscheidt het model samenhangende componenten voor het gewas, de bodem en het kasdek.

De grond onder de kas vertegenwoordigt een grote warmteopslagcapaciteit met een sterk dempend effect op fluctuaties van de kasluchttemperatuur. Om een goede afspiegeling van dit effect te verkrijgen is de ondergrond onderverdeeld in meerdere lagen.

Het kasdek vormt een belangrijke belemmering voor warmteverlies naar de buitenlucht. Indien de temperatuur van het dek echter onder het dauwpunt van de kaslucht komt, veroorzaakt dit condensatie aan het dek-oppervlak en ontvochtiging van de kas.

De buitenomstandigheden dienen als omgevingsfactoren voor het model. De temperatuur van de buitenlucht bij het kasdek en de hemeltemperatuur beïnvloeden de warmteverliezen door convectie en straling en daardoor de temperatuur van het dek. De temperatuur, vochtigheid en CO₂-concentratie van de buitenlucht hebben een directe invloed op de primaire toestandsvariabelen via luchtuitwisseling door geopende ramen of kieren.

De windsnelheid is een belangrijke indirecte weerconditie omdat deze invloed heeft op de convectieve warmte-uitwisseling aan het dek en in belangrijke mate de luchtuitwisseling door de ramen bepaalt. De windrichting is van invloed op de besturing van de ramen (loefzijde eerst, pas daarna lijzijde). De windrichting heeft invloed op de horizontale verdeling van de temperatuur in kas.

Een belangrijk meteorologisch gegeven is de globale straling. Directe en diffuse straling wordt geabsorbeerd, gereflecteerd en doorgelaten door het dek, het gewas en de grondoppervlakte. Bovendien is straling op gewashoogte belangrijk voor de fotosynthese. Diffuse straling dringt dieper in het gewas door dan directe straling en heeft zo een groter effect voor de fotosynthese.

Voor de berekening van de warmte-, vocht- en CO₂-stromen tussen de samenhangende componenten, zijn de relaties voor de warmtestroming ontleend aan een aantal auteurs. De warmtestraling is berekend met gebruikmaking van relaties gebaseerd op de wet van Stefan-Boltzmann, en bevat view factoren, absorptie en emissie. Interceptie van de straling door het gewas is behandeld in overeenstemming met Goudriaan (1988). De transmissie van licht door het dek is berekend middels een methode beschreven door Bot (1983). De convectieve warmte-uitwisseling aan de binnen en buitenkant van het dek is beschreven in de relaties eveneens gepresenteerd door Bot. De ventilatiestromen, in tuinbouwkundige context, is gebaseerd op natuurlijke ventilatie en is berekend op basis van de theorie gepresenteerd door De Jong (1990). De gewasverdamping, een belangrijk onderdeel van het model, is afgeleid van het werk van Stanghellini (1987). De convectieve warmteoverdracht van verwarmingsbuizen en convectieve warmteuitwisseling van de bodem is eveneens beschreven door Bot. De warmtegeleiding in de grond is benaderd vanuit de algemene warmtegeleidingtheorie.

Ten gevolge van de complexiteit en de niet-lineariteit van het model, is de oplossing van de differentiaalvergelijkingen uitgevoerd in numerieke voorwaartse integratie. De stapgrootte wordt steeds zodanig gekozen dat geen numerieke instabiliteit ontstaat. Dit betekent dat het tijdsduur per integratiestap vaak niet meer dan 15 sec bedraagt. Wanneer het buitenklimaat en de klimaatregelaar activiteiten stabiel zijn, neemt de stapgrootte toe tot 2 minuten, hetgeen overeen komt met de meetfrequentie van de klimaatregelaar.

Vergelijking van de resultaten van het model met metingen in een semi-praktijk kas (4 afdelingen van 200m² elk) toonden een zeer goede overeenkomst. Absolute verschillen tussen model en metingen voor de luchttemperatuur voor gemiddelde 10 minuten waarden bedroegen minder dan 0.5 °C in 90% van de tijd. Het energieverbruik (warmte) werd gesimuleerd met een nauwkeurigheid van 95% en de regelactiviteiten met betrekking tot ramen en de CO₂-gift toonden een goede gelijkens (de Zwart, 1996). Voor de beschrijving van het buitenklimaat wordt een dataset gebruikt die uitgaat van typisch Nederlandse weersomstandigheden. Deze dataset is wordt aangeduid als het SEL-jaar (Breuer en Van de Braak, 1989).

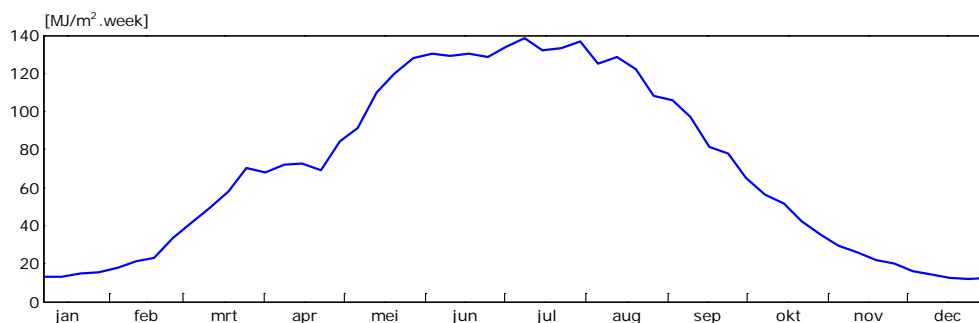
N.B.: De deelmodellen van KASPRO en het totale Model KASPRO zijn eigendom van Wageningen UR Glastuinbouw.

7.3 Beschikbare gegevens

Onderstaande grafieken bevatten de energiegegevens [in MJ·m⁻²·wk⁻¹] gedurende een jaar. Indien gewenst kunnen de outputdata van KASPRO per uur, per minuut of per sec. worden aangeleverd. De waarden zijn het resultaat van een simulatie met het programma KASPRO. Voor de betreffende gewassen zijn de waarden van de klimaatsetpoints t.a.v. de besturing, de waarden van de kasparameters en de meteorologische waarden van het standaard SEL2000 jaar toegevoegd. De klimaatsetpoints zijn gekozen overeenkomstig de discussies die plaatsvinden t.a.v. de nieuwe methode van aanpak binnen "Het Nieuwe Telen".

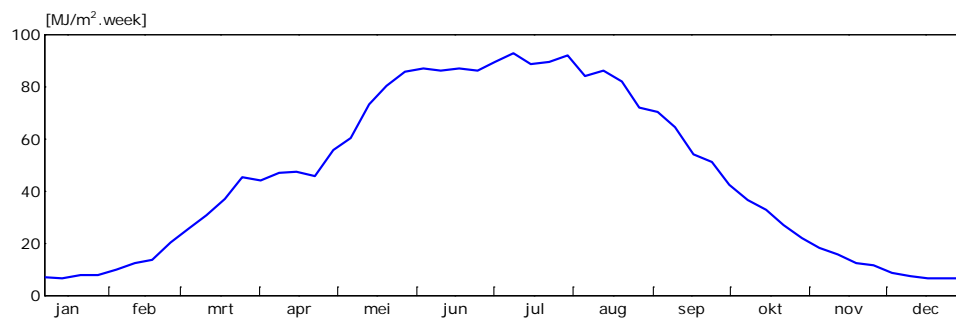
Figuur 12 geeft de globale straling buiten de kas, overeenkomstig het volledige spectrum van de zonnestraling, zoals zou zijn gemeten met een pyranometer. Deze informatie is maatgevend voor de energiebehoefte van de verschillende teelten. Meer licht houdt in dat er meer fotosynthese is, met als gevolg meer behoefte aan warmte en meer behoefte aan CO₂, met als resultaat meer productie.

Voor de gewassen tomaat, chrysant en Phalaenopsis zijn in verband met de warmtevraag de onderstaande diagrammen van belang. De PAR straling op gewasniveau (Figuur 13) is een gevolg van de Globale Straling buiten de kas (Figuur 12). De warmte input wordt weergegeven in de Figuur 14, Figuur 16 en Figuur 18.

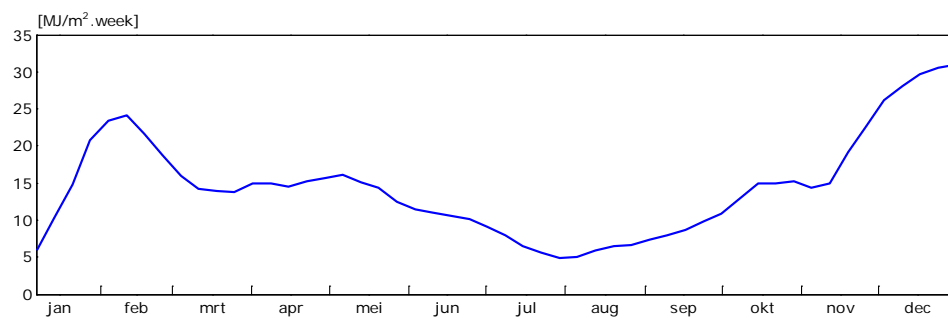


Figuur 12 Globale straling buiten de kas (SEL2000 jaar)

7.3.1 Tomaat



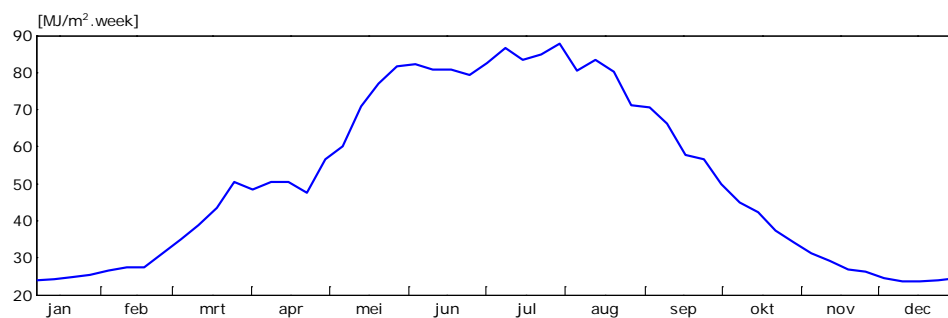
Figuur 13 PAR (Photosynthetic Active Radiation) op niveau van gewas binnen in de kas.



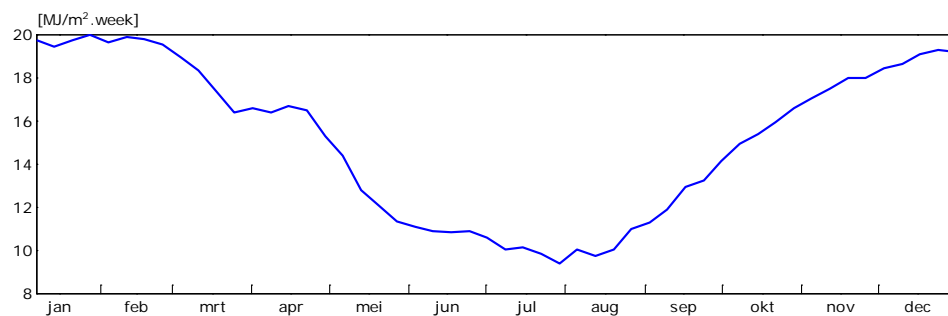
Figuur 14: Warmte input bij het gewas tomaat

7.3.2 Chrysant

Voor het gewas Chrysant gelden onderstaande data.



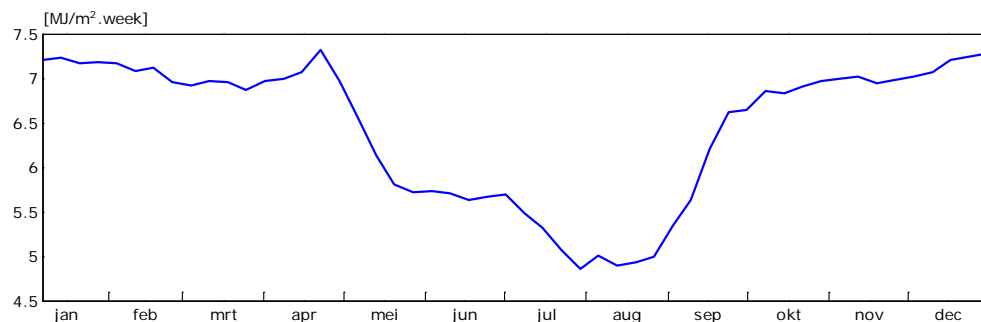
Figuur 15: PAR straling op gewasniveau bij Chrysant (zelfde als bij tomaat) inclusief lampenergie



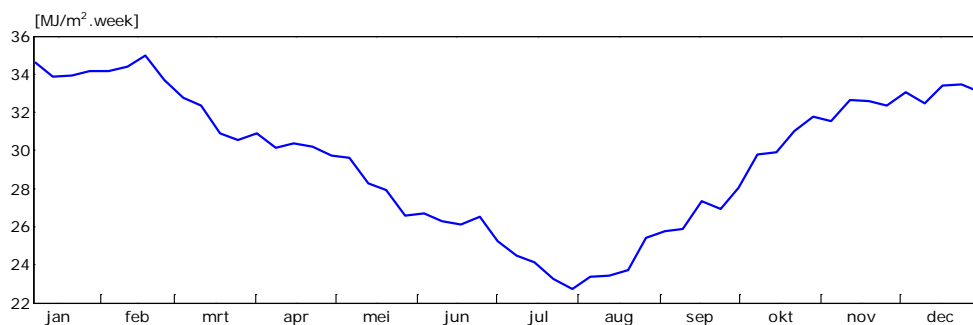
Figuur 16: Warmte ingebracht via verwarming bij het gewas Chrysant

7.3.3 Phalaenopsis

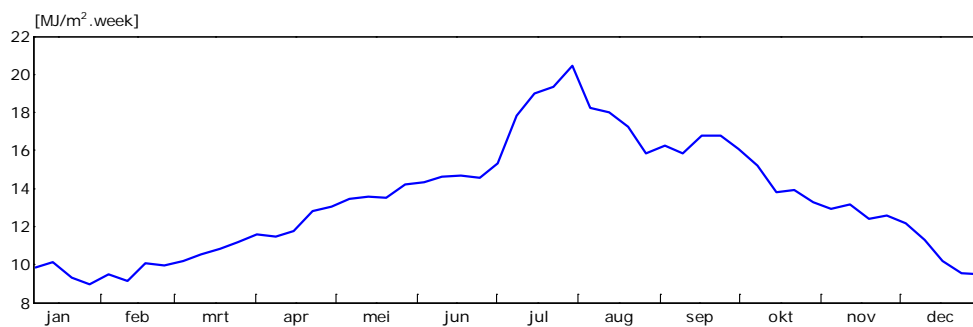
Voor het gewas Phalaenopsis gelden onderstaande data.



Figuur 17: PAR straling op gewasniveau bij Phalaenopsis (inclusief lampenergie)



Figuur 18: Warmte input via buisverwarming in Phalaenopsis



Figuur 19: Koelvraag bij Phalaenopsis

8. Matchen van teelten onderling (WP1.3)

8.1 Inleiding

Tijdens de bespreking van de resultaten gedurende de eerste periode van WP1, die plaatsvonden in Delft en Bleiswijk, bleek dat de matching van de energiebehoefte en het energieoverschot van tuinbouwbedrijven onderling en tuinbouwbedrijven met industrie niet zonder meer kan worden gerealiseerd (zie ook Rapportage TU-Delft). Op de bronbedrijven en de vraagbedrijven in het matching probleem is gedurende het gehele jaar op beide bedrijfstypen een gelijktijdigheid in de warmtevraag en op beiden een gelijktijdigheid in het warmteoverschot.

Het warmte tekort van het vraagbedrijf valt dus niet samen met het warmteoverschot van het bronbedrijf. Dit kan worden opgelost door opslag van warmte in ondergrondse aquifers, met als nadeel de lage temperatuur van de aquifer als bron.

Deze lage temperatuur van de overschotwarmte op de bronbedrijven (tot 27°C) heeft een lage energie-inhoud van het transportmedium (water) als gevolg. Het leveren van energie van enige omvang brengt dan het transport van grote hoeveelheden water met zich mee.

Indien op een tuinbouwbedrijf warmte/koude wordt geoogst via combinaties van warmtepompen en opslag in ondergrondse aquifers, is doorlevering binnen het eigen bedrijf de beste oplossing. In een aantal gevallen wordt zo het overschot aan gewonnen en opgeslagen warmte/koude van een (semi)gesloten kas gebruikt om een standaard (niet-gesloten) kas van warmte en koude te voorzien. De teelt van Phaleanopsis (een continue proces) heeft in een deel van de kas verwarming nodig en in een deel koeling nodig. Hier is op het eigen bedrijf matching van vraag en aanbod mogelijk.

Gebruik van bronnen van die beschikken over hoogwaardige energie geeft wel mogelijkheden tot matching van overschot en vraag.

- Bij de toepassing van WKK wordt vaak t.b.v. hoge elektriciteit productie meer warmte en CO₂ geproduceerd dan voor de eigen kas nodig is. Dit levert een overschot aan hoogwaardige warmte (tot 90°C), die wel kan worden ingezet op andere tuinbouwbedrijven of in industrie of utiliteitsgebouwen (bijv zorginstellingen).
- Combinaties van tuinbouwbedrijven en industrie rondom de inzet van aardwarmte als energiebron geeft mogelijkheden voor volledige uitnutting van de bron (§8.3) en elkaars overschotten
- Er zijn bijzondere combinaties denkbaar van tuinbouw en industrieën, waarbij ze elkaars overschotten aan warmte, koude en CO₂ kunnen uitnutten indien vanaf het moment van de bouwplanning van de industrieën met een mogelijk energieoverschot aan afvalwarmte wordt gerekend.

8.2 Clustering binnen één bedrijf

In de rapportage van het project "Monitoring van Teeltomstandigheden bij Verschillende Technische Systemen in Semigesloten Kassen" (Gieling et al., 2010) worden 9 tuinbouwbedrijven beschreven met hun klimaatgegevens, installaties en energiegebruik.

De vier daar beschreven tomatenteeltbedrijven zijn een voorbeeld van levering van energie die wordt geoogst in het semi-gesloten deel van het bedrijf aan het "normale" standaard deel van het bedrijf. Om faseverschuiving van zomerseizoenen naar winterseizoenen te overbruggen wordt gebruik gemaakt van ondergrondse aquifers.

De twee Phalaenopsis bedrijven die in dezelfde publicatie worden beschreven, oogsten tijdens het koelen warmte in deel A van het bedrijf, om dit als warmte in het deel B toe te passen. Tijdens het afstaan van warmte in deel B wordt hier dus koude geoogst, die wordt benut in deel A om daar te koelen. Dit zijn voorbeelden van doorleveren van warmte en koude op één bedrijf. Eén van deze bedrijven is diepgaand beschreven in de publicatie "Kas Zonder Gas" (Campen et al., 2010)

Deze klimaatprocessen met bijbehorende installaties zijn uitvoerig beschreven in: (Gieling et al., 2010; 2009; Campen et al., 2010, 2009; Sapounas et al., 2009).

8.3 Warmtecluster van tuinbouwbedrijven

In een onderzoekproject gericht op het toepassen van aardwarmte is in Noukoop, in een cluster van 26 tuinders aanpalend aan een industriegebied, gestart met een voorstudie naar de mogelijkheden van het opzetten van een warmtecluster (De Zwart et al., 2011). Achttien tuinders hebben meegewerkt aan een z.g. Quickscan, uitgevoerd door Wageningen UR Glastuinbouw in samenwerking met DLV Glas en Energie. Teneinde de mogelijkheden te schetsen zijn in de Quickscan de energieverbruiksprofielen van de tuinbouwbedrijven en het verwachte profiel van het bedrijventerrein in kaart gebracht en is berekend wat de investeringsruimte is voor een aardwarmtecluster. In hun publicatie geven De Zwart, Vermeulen, Zwarts en Van Antwerpen aan welke bedrijfstypen in dit cluster voorkomen.

Tabel 2 Verdeling van het gebied naar oppervlak per gewastype en aantal bedrijven

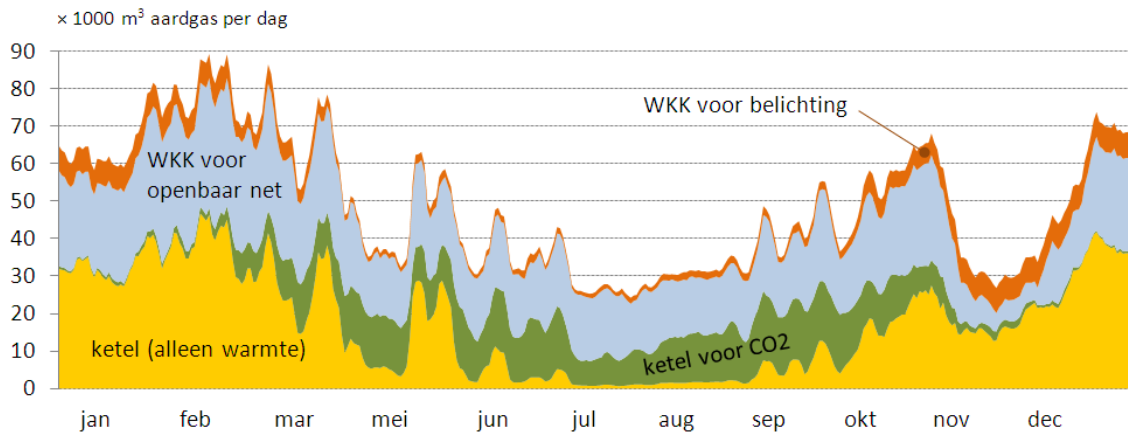
gewas	totaal oppervlak [ha]	aantal bedrijven
paprika	13.8	3
komkommer	9.3	4
orchidee	6.2	4
chrysant	5.7	1
tomaat	5.5	2
potplant	2.9	2
amaryllis	2.1	1
gerbera	1.5	1
Totaal	47.0	18

Bovenstaande tabel uit hun publicatie (Tabel 2) laat zien dat in 2010 in dit cluster de groentebedrijven ruim 60% van het areaal beslaan en dat Paprika de meest geteelde groente is. In het sierteelt-segment is de orchideeënteelt het grootst, op de voet gevolgd door de chrysantenteelt. Middels onderstaande tabel (Tabel 3) geeft genoemde publicatie inzage in de warmtevraag en het warmtegebruik van de bedrijven in dit gebied.

Tabel 3 Verdeling van het gebied naar warmteverbruik per gewastype

gewas	warmtevraag [mln m ³ aardgas eq.]	Warmtegebruik [m ³ aardgas eq m ⁻² y ⁻¹]
paprika	6.4	46.7
komkommer	4.2	44.6
orchidee	2.3	36.6
chrysant	2.7	47.2
tomaat	2.0	36.6
potplant	0.7	23.2
amaryllis	0.4	17.0
gerbera	0.3	17.5
	Totaal 18.9	Gemiddeld 40.1

In aanvulling op het jaarverloop van de invulling van de warmtevraag (Figuur 20) analyseert het rapport op basis van de jaarbelastingsduurkromme van 4 verschillende installatietypen hoe de capaciteiten gedurende het jaar worden ingezet: i) ketel alleen voor warmte, ii) ketel voor CO₂, iii) WKK voor warmte, iv) WKK voor belichting.



Figuur 20 Invulling van de warmtevraag van het gebied naar de bron van herkomst

Het is van belang voor het CAGIM project om dit clusteringsproject in Noukoop op de voet te volgen, bijv. via direct contact en kennisuitwisseling met het projectteam en via discussie en brainstorm met de projectleider(s).

9. Koppeling buiten de tuinbouw



In de Nota Ruimte is het glastuinbouwcluster met de benoeming van de Greenports en de projectlocaties (zie afbeelding) ruimtelijk-economisch op de kaart gezet.

(bron Wageningen UR LEI; M. Ruijs en A. v.d. Knijff)

De nota Ruimte (VROM, 2004) geeft de visie op de ruimtelijke ontwikkeling van Nederland. Zogenaamde Greenports krijgen een hoge prioriteit. Dit zijn 'gebieden waar de kennisintensieve tuinbouw en agribusiness zich concentreert. In de Greenports zijn zowel de primaire productie, de verwerking, de handel als de distributie op elkaar afgestemd. Het gaat vooral om niet-grondgebonden en kapitaalintensieve vormen van tuinbouw (glastuinbouw, permanente bloembollenteelt en pot- en containerteelt). Het beleid is erop gericht de ontwikkeling van Greenports zodanig te sturen dat hun functie als Greenport op lange termijn behouden blijft en/of wordt versterkt. Belangrijk aspect daarbij is, de wisselwerking tussen logistieke en ruimtelijke keuzes. Daarom wordt er samen met andere overheden naar gestreefd om een infrastructuur- en logistieke agenda te krijgen voor Greenports, waarin overheid en bedrijfsleven samenwerken en elkaar kunnen vinden.

In de Greenports worden waar mogelijk koppeling gezocht tussen industrie en glastuinbouw. Deze gebieden zijn zeer goed geschikt voor het zoeken van koppelingen zoals binnen CAGIM gewenst. Een aantal voorbeelden kunnen nu al gegeven worden.

- In Greenport Venlo levert een kas warmte uit de kas en de WKK aan een zorginstelling. Het is een goed voorbeeld van de mogelijkheden van koppeling tussen glastuinbouw en utiliteitsbouw.
- In Greenport Terneuzen wordt een koppeling gezocht tussen glastuinbouw en het industriegebied voor levering van CO₂ en warmte.
- In Groningen wordt een haalbaarheidstudie verricht naar een koppeling tussen een kassengebied en de suikerindustrie.

10. Scenario's optimale koppeling (WP 1.4)

De conclusies die tijdens de bespreking in Bleiswijk Februari 2011 naar voren kwamen geven aan dat het niet eenvoudig is om zonder verregaande ingrepen te clusteren tussen tuinbouwbedrijven onderling, of tussen tuinbouwbedrijven en utiliteitsbouw (kantoren, huizen, zorginstellingen), of tuinbouwbedrijven en industrieën. In de vorige paragrafen zijn al enkele redenen aangestipt.

Het is goed dit hier nog eens samen te vatten:

- Gelijktijdigheid gedurende het jaar in behoefte aan warmte/koude i.p.v. complementaire behoefte hieraan.
- Lage energie-inhoud door lage temperatuur in de aquiferopslag en het transportmedium
- Lange transport afstand

Ontwikkelingen die hierin mogelijk verandering kunnen brengen:

- bedrijven met warmte en/of CO₂ overschotten en gebieden met glastuinbouw in elkaars nabijheid plaatsen (bijv. in de Greenport gebieden)
- transportproblemen aanpakken, bijv. door de ontwikkeling van smart grids voor warmte of CO₂
- tuinbouw en industrie gezamenlijk bronnen van aardwarmte laten exploiteren.
- verhogen van de opslagtemperatuur in de aquifers (> 40°C)

In een de discussie tijdens deze februari bespreking werd vastgesteld dat het op dit moment nog niet evident is om aan te geven welke combinaties het meest veelbelovend zijn.

Voor de Greenports lijken mogelijkheden te bieden. Zoals in de voorgaande twee paragrafen al is aangegeven worden daar de voor de hand liggende oplossingen in kaart gebracht en ook al in uitvoering genomen. Sommige voorlopers (Greenport Venlo) hebben laten zien dat het goed kan werken, mits hoogwaardige energie doorgeleverd kan worden (WKK).

Dit legt een zware claim op het werk dat in WP 2, 3 en vooral WP4 moet worden gedaan.

Mogelijk bieden de inzichten die daar ontwikkeld worden een nieuwe kans op verdergaande koppelingen.

Dit belang pleit voor een zo snel mogelijk oppakken van de werkzaamheden in WP4. Pas dan kan worden vastgesteld of er ook andere conclusies mogelijk zijn.

11. Referenties

- Annevelink, E., C.M.L. Hermans, A.A. van der Maas, S.M. Pegge, M.N.A. Ruijs, S.O. Tromp, M. Favier, W. van de Geijn, P. Bleumink, B. Roelofs, 2006. Naar een gedeelde agenda voor infrastructuur en agrologistiek rondom Greenports. Wageningen UR - AFSG, Rapport 626
- Bot, G.P.A. 1983 - Greenhouse climate: from physical processes to a dynamic model. Ph.D. Thesis Agricultural University Wageningen, The Netherlands.
- Breuer, J.J.G. en N.J. van de Braak 1989 - Reference Year for Dutch Greenhouses, Acta Horticulturae 248, 1989.
- Campen, J.B.; Kempkes, F.L.K.; Sapounas, A. 2010. Klimaat "Kas zonder Gas". Wageningen UR Glastuinbouw, Rapport GTB-1001.
- Campen, J.B. and F.L.K. Kempkes, 2009. Climatic Evaluation of Semi-Closed Greenhouses. Acta Horticulturae, Greensys 2009 Canada.
- De Zwart, H.F., T. Vermeulen, G. Zwarts en A. van Antwerpen 2011. Warmtecluster Noukoop. Rapport Wageningen UR Glastuinbouw. In Print.
- De Zwart, F., T. Driessen, 2010. Gebruiksmogelijkheden van restwarmte van de Suikerfabriek voor de verwarming van kassen in het tuinbouwontwikkelingsgebied Dinteloord. Wageningen UR Glastuinbouw, Rapport GTB 5001.
- De Zwart, H.F. 1996 Analyzing energysaving options in greenhouse cultivation using a simulation model. IMAG-DLO rapport 96-05, 236 pp.
- Dueck, T.A.; Boer-Tersteeg, P.M. de; Noort, F.R. van, 2011. Teeltversnelling Phalaenopsis door klimaat optimalisatie tijdens op- en afkweek. Wageningen UR Glastuinbouw. Rapport GTB 1016A.
- Gieling, T.H.; Bruins, M.A.; J.B. Campen, H.J.J. Janssen, F.L.K. Kempkes, M.G.M. Raaphorst, A. Sapounas, 2010. Monitoring technische systemen in semi-gesloten kassen. Wageningen UR Greenhouse Horticulture. Rapporten GTB-1008.
- Gieling Th.H., J.B. Campen, J.A. Dieleman, N. Garcia, H.J.J. Janssen, F.L.K. Kempkes, J.A.M. Kromwijk, M.G.M. Raaphorst, 2009. Monitoring of Climate Variables in Semi-closed Greenhouses. Acta Hort. Greensys 2009 Canada.
- Goudriaan, J. 1988 - The bare bones of leaf-angle distribution in radiation models for canopy photosynthesis and energy exchange. Agricultural and forest meteorology, 43, 155-169.
- Jolliet, O., 1994. HORTITRANS, a model for predicting and optimizing humidity and transpiration in greenhouses. In: Journal of Agricultural Engineering Research, 57: p. 23-37.
- Jolliet, O. and B.J. Bailey, 1992. The effect of climate on tomato transpiration in greenhouses: measurements and models comparison. In: Agricultural and Forest Meteorology, 58, p. 43-62.
- Kempkes, F.L.K. en J. Janse, 2011. De VenLowEnergy-kas doet wat hij beloofde. Groenten en Fruit Actueel 2011 (2). - p. 11.
- KWIN 2010. Kwantitatieve informatie voor de Glastuinbouw Een regelmatig verschijnende periodiek met actuele informatie over onder meer productie, prijzen van producten en productiemiddelen. Uitgave Wageningen UR Glastuinbouw.
- Raaphorst, M.; Kempkes, F.; Corsten, R.; Roelofs, T.; Veld, P. de, 2010. Het Nieuwe Telen bij chrysaant: Verkenning van energiebesparingsopties voor de chrysaanteelt. Wageningen UR Glastuinbouw, Rapport GTB 1042.
- Monteith, J. L. and M. Unsworth, 1990. Principles of environmental physics. Edward Arnold, London, 291 pp.
- Sapounas A.A., J.B. Campen, F.L.K. Kempkes and Th.H. Gieling, 2009. Influence of Different Air Treatment Systems to the Environment of Semiclosed Greenhouses: Simulation Study of Four Commercial Greenhouses with Pot Plants. Acta Horticulturae, Greensys 2009, Canada.
- Stanghellini, C 1987 - Transpiration of greenhouse crops. An aid to climate management. Ph. D. Thesis, Agricultural University Wageningen, The Netherlands.
- Spaargaren J.J. 2002. Jaarrond Chrysaant, Hfdst 6, blz 75-130.
- Staalduinen, J. van en A. de Gelder, 2009. Het nieuwe telen : komkommer en tomaat met 25 m³ gas per m² : Gezamenlijke studie naar energiearm telen. Onder Glas 6 (2). p. 48 - 49.
- Velden, N. van der en P. Smit, 2010. Energiemonitor van de Nederlands glastuinbouw 2009. LEI-rapport 2010-091.
- Yoo H. en E. Pak 1993. Theoretical model of the charging process for stratified thermal storage tanks. Solar Energy, 51, 513-519.

Bijlage I. Setpointwaarden Klimaat Tomaat

setpointtemperatuur	van	tot							
StookTemp:	12-jan	19-jan	16	17	19	20			
	19-jan	2-feb	15	16	17	18	20	22	
	2-feb	16-feb	14	16	18.5	20	21	22	
	16-feb	23-feb	12	17	22	22			
	23-feb	2-mrt	12	17	17	22	22		
	2-mrt	9-mrt	12	18	15	21	22		
	9-mrt	16-mrt	13	17	20	22			
	16-mrt	23-mrt	17	22	22				
	23-mrt	30-mrt	17	19	21				
	30-mrt	6-apr	16	17	20	22			
	6-apr	11-mei	14	16	18	20	20		
	11-mei	7-jun	13	16.5	21	21			
	7-jun	28-jun	12	13.5	18	20			
	28-jun	5-jul	12	16	18	18			
	5-jul	13-sep	11	17	18	19	18		
	13-sep	27-sep	11	13	18	19	19		
	27-sep	11-okt	12	15	18	17			
	11-okt	25-okt	14	15	16	18			
	25-okt	1-nov	14	15	16	17			
	1-nov	14-nov	14	16	16.5				
	14-nov	12-jan	19	20.5					
	StookTempTijdstip:	12-jan	19-jan	on	0	13	on-1		
		19-jan	2-feb	on+2	0	2	10	13	on
2-feb		16-feb	on+2	0	4	9	12	on	
16-feb		23-feb	19	4	12	17			
23-feb		2-mrt	19	5	11	15	17		
2-mrt		9-mrt	18	6	8	14	17		
9-mrt		16-mrt	18	5	12	17			
16-mrt		23-mrt	19	13	18				
23-mrt		30-mrt	19	8	16				
30-mrt		6-apr	20	3	15	18			
6-apr		11-mei	21	4	10	13	20		
11-mei		7-jun	on	5	13	on-1			
7-jun		28-jun	21	3	7	19			
28-jun		5-jul	21	5	12	20			
5-jul		13-sep	21	8	10	16	20		
13-sep		27-sep	19	5	11	13	18		
27-sep		11-okt	19	8	12	17			
11-okt		25-okt	19	4	6	13			
25-okt		1-nov	17	3	8	11			
1-nov		14-nov	16	8	12				
14-nov		12-jan	18	10					
DodeZone:		12-jan	15-mei	2	6				
		15-mei	1-jun	1					
	1-jun	12-jan	1	2					
DodeZoneTijdstip:	12-jan	15-mei	op-2	on-2					
	15-mei	1-jun	0						
	1-jun	12-jan	on	10					

II - 2

LichtVbeg:	12-jan	1-mrt	100		
	1-mrt	12-jan	200		
LichtVend:	12-feb	1-mrt	300		
	1-mrt	12-feb	400		
LichtV:	12-jan	30-mrt	3		
	30-mrt	6-apr	2		
	6-apr	29-aug	1		
	29-aug	12-jan	3		
BuitentempAfhVerl:			0		
Vocht					
SpVocht:	12-jan	23-feb	90		
	23-feb	23-mrt	90	85	93
	23-mrt	20-apr	93	88	94
	20-apr	27-apr	90	85	
	27-apr	11-mei	88	84	
	11-mei	28-jun	87	83	
	28-jun	2-aug	90	85	
	2-aug	9-aug	85	88	85
	9-aug	11-okt	88	85	
	11-okt	25-okt	85	80	
	25-okt	10-nov	89		
	10-nov	12-jan	91		
SpVochtTijdstip:	12-jan	23-feb	0		
	23-feb	23-mrt	0	8	17
	23-mrt	20-apr	0	7	18
	20-apr	2-aug	20	8	
	2-aug	9-aug	20	2	8
	9-aug	11-okt	20	8	
	11-okt	25-okt	20	8	
	25-okt	12-jan	0		
KpRV:			(5,2)#(12,4)		
KpDX:			0		
KpDTcan:			0		
Vochtmetbuis:			ja		
CO2					
SpCO2:			900		
SpCO2Tijdstip:			0		
CO2bron:			zuiver		
kgCO2:			150		
Temperatuurintegratie					
Bandbreedte:			0		
IntegratiePeriode:			24		
maxGraaduren:			20		
Luchtramen					
Vorstgrens:			-1		
StartWhet:			40		
WinLeeMin:	12-jan	28-jun	0		
	28-jun	16-aug	5		
	16-aug	30-aug	10		
	30-aug	12-jan	0		
WinWhetMin:			0		
WinLeeMax:	12-jan	2-mrt	2		
	2-mrt	16-mrt	10		
	16-mrt	13-apr	50		

	13-apr	2-mrt	100					
	2-mrt	12-jan	10					
WinWhetMax:	12-jan	30-mrt	0					
	30-mrt	27-apr	30					
	27-apr	25-okt	100					
	25-okt	12-jan	30					
MaxWin:			45					
PI_regeling:			Nee					
KpVent:	15-sep	15-okt	20					
	15-okt	15-sep	40					
Buizen								
MinBuisLow:	27-apr	4-mei	30	30	0			
	4-mei	11-mei	0	40	40	0		
	11-mei	11-jun	0	35	35	0		
	11-jun	15-jul	0	30	30	0		
	15-jul	10-aug	0					
	10-aug	24-aug	0	25	25	0		
	24-aug	7-sep	0					
	7-sep	12-okt	0	28	28	0		
	12-okt	27-apr	0					
MinBuisLowTijdstip:	27-apr	4-mei	1	8	9			
	4-mei	11-mei	2	3	7	8		
	11-mei	11-jun	4	5	7	8		
	11-jun	15-jul	4	5	7	8		
	15-jul	10-aug	0					
	10-aug	24-aug	0	1	6	0		
	24-aug	7-sep	0					
	7-sep	12-okt	3	4	9	10		
	12-okt	27-apr	0					
MinBuisUpp:	27-apr	4-mei	35	35	38	38	0	
	4-mei	11-mei	40	40	40	40	30	0
	11-mei	18-mei	35	40	40	0		
	18-mei	1-jun	30	35	38	38	0	
	1-jun	15-jun	30	37	37	32	0	
	15-jun	29-jun	30	37	37	0		
	29-jun	13-jul	30	35	38	38	0	
	13-jul	16-jul	25	34	34	0		
	16-jul	23-jul	25	36	38	0		
	23-jul	3-aug	32	38	38	0		
	3-aug	10-aug	28	35	35	0		
	10-aug	24-aug	34	34	0			
	24-aug	31-aug	30	30	0			
	31-aug	3-sep	0	35	35	0		
	3-sep	15-okt	30	30	35	35	30	0
	15-okt	27-apr	0					
MinBuisUppTijdstip:	27-apr	4-mei	0	4	6	9	21	
	4-mei	11-mei	1	6	9	11	12	21
	11-mei	18-mei	1	6	9	12		
	18-mei	1-jun	1	4	7	9	21	
	1-jun	15-jun	2	4	9	10	21	
	15-jun	29-jun	0	6	11	12		
	29-jun	13-jul	1	4	7	9	11	
	13-jul	16-jul	2	5	8	10		
	16-jul	23-jul	2	5	8	12		

	23-jul	3-aug	0	6	8	10		
	3-aug	10-aug	0	6	9	10		
	10-aug	24-aug	0	9	10			
	24-aug	31-aug	1	8	10			
	31-aug	3-sep	4	7	9	11		
	3-sep	15-okt	0	4	8	9	11	21
	15-okt	27-apr	0					
MinBuisBeg:	12-jan	1-mei	100					
	1-mei	11-jun	400					
	11-jun	3-sep	1000					
	3-sep	12-jan	300					
MinBuisEnd:	12-jan	1-mei	250					
	1-mei	11-jun	600					
	11-jun	3-sep	1050					
	3-sep	12-jan	500					
MaxBuisLow:	12-jan	19-jan	50					
	19-jan	26-jan	40	60				
	26-jan	2-feb	45	60				
	2-feb	16-feb	45	55				
	16-feb	23-feb	40	50				
	23-feb	2-mrt	45					
	2-mrt	27-apr	42					
	27-apr	18-mei	40					
	18-mei	12-jan	35					
MaxBuisLowTijdstip:	12-jan	19-jan	0					
	19-jan	26-jan	18	11				
	26-jan	23-feb	20	9				
	23-feb	2-mrt	0					
	2-mrt	12-jan	0					
MaxBuisUpp:	12-jan	26-jan	30					
	26-jan	16-feb	38					
	16-feb	23-feb	35	40				
	23-feb	27-apr	35	40				
	27-apr	18-mei	40					
	18-mei	25-mei	35	38				
	25-mei	21-sep	38					
	21-sep	9-nov	45					
	9-nov	12-jan	48					
MaxBuisUppTijdstip:	12-jan	16-feb	0					
	16-feb	23-feb	18	9				
	23-feb	6-apr	13	8				
	6-apr	27-apr	20	8				
	27-apr	18-mei	0					
	18-mei	25-mei	16	5				
	25-mei	12-jan	0					
T2ndAcc:	12-jan	2-mrt	25					
	2-mrt	12-jan	30					
Fogging								
Fogging:			Ja					
FoggingDose:			200					
MaxTemp:			12					
MinVocht:			72					
MinVochtTijdstip:			0					
Stoptijd:			4					

Belichting

Belichting:	Nee
Lampvermogen:	0
Setpoints	
MaxIGlob:	125
MaxLichtsom:	1500
UitPerEtmaal:	4
BlokUitBegin:	20
Lampeigenschappen	
FracPAR:	0.25
FracNIR:	0.25
FracSens:	0.5

Schermb

Gevelschermb	vast
OndersteSchermb	
Schermb	Ja
Schermtyp	XLS10
IGlobOpen:	12-jan 23-jan 300
	23-jan 26-jan 50
	26-jan 9-feb 100
	9-feb 2-mrt 120
	2-mrt 16-mei 100
	16-mei 27-sep 20
	27-sep 12-jan 75
TbuitMax:	12-jan 28-apr 10
	28-apr 15-mei 0
	15-mei 1-nov 12
	1-nov 12-jan 14
Scrfile:	none
VerduisterScherbOpenDi	cht: 0 0
MaxTexcess:	1.5
VoorloopScherbkier:	2
MaxVochtKier:	4
BovensteScherb	
ScherbBoven:	ja
SchermtypBoven:	XLS18
IglobOpenBoven:	12-jan 19-jan 10
	19-jan 30-mrt 20
	30-mrt 12-nov 0
	12-nov 12-jan 20
TbuitMaxBoven:	12-jan 30-mrt 11
	30-mrt 13-apr 9
	13-apr 1-mei 8
	1-mei 1-jun 0
	1-jun 23-okt 7
	23-okt 12-nov 10
	12-nov 12-jan 12
ScrfileBoven:	none
VerduisterScherbOpenDi	0 0
MaxTexcessBoven:	1.5
VoorloopScherbkierBove	2
MaxVochtKierBoven:	100

Krijten

Krijten: nee

Krijtfactor: 0

Koeling

Koeling: none

SpTdek: 13

MaxDekBvDebiet: 5

MinTDekBv: 8

OffsetDekBevl: -0.25

Carbonomic

Carbonomic: Nee

CO2prijs: 0.15

productprijsfile: tomaat.prijs

Bijlage II.

Aanvullende setpoint waarden Chrysant

Verwarming

Stooktemperatuur overdag	18°C
Stooktemperatuur 's nachts	20°C
Primair net	onder
Min/max buistemperatuur onder	35-36°C
Traject afbouw min buistemperatuur onder	350-450 W/m ² ²
Min/max buistemperatuur boven	40-70°C
Traject afbouw min buistemperatuur boven	200-300 W/m ²

Ventilatie

Dode zone ventilatietemperatuur	0,5°C
Stralingsverhoging ventilatietemperatuur jong gewas	4°C
Stralingsverhoging ventilatietemperatuur oud gewas	0-1°C
Traject stralingsverhoging ventilatietemperatuur	150-300 W/m ²
Minimum raamstand luwe zijde	5%
Traject buitentemp. op afbouw minimum raamstand luwe zijde	11-6°C

CO₂

Streefwaarde CO ₂	1000 ppm
Starttijdstip doseren	9:00 uur
Eindtijdstip doseren (uren voor de start van de kortedag)	1 uur

Schermen

Schermkier tijdens KD (Korte Dag) (belichting uit)	0-5%
Schermkier tijdens KD (belichting aan)	2-10% ³
Traject buitentemp. op afbouw schermkier KD	10-16°C

Belichting

Belichting uit bij straling van	200 W/m ²
Belichting uit na stralingssom van	250 J/cm ² .dag

² Bij Kaspro worden beide minimumbuisinstellingen afgebouwd in het stralingstraject van 200-400 W/m²

³ Bij Kaspro wordt alleen een schermkier getrokken (max 10%) als de minimumbuis een te hoge kastemperatuur (3°C boven stooktemperatuur) realiseert.

Bijlage III. Aanvullende waarden Phalaenopsis

		Koude afdeling		Warme afdeling
O n d e r n e t				
Ondernettype:		51-er		51-er
nLowPerKap:		6		6
B o v e n n e t				
Bovennettype:		51-er		51-er
nUppPerKap:		3		3
SETPOINTS				
T e m p e r a t u u r				
StookTemp:		19		27
StookTempTijdstip:		0		0
DodeZone:		2		2
DodeZoneTijdstip:		0		0
LichtVbeg:		100		100
LichtVend:		300		300
LichtV:		0		0
SpVocht:		85		85
SpVochtTijdstip:		0		0
KpRV:		2		2
MinBuisLow:		40		40
MinBuisLowTijdstip:		0		0
MinBuisBeg:		100		100
MinBuisEnd:		300		300
Belichting:		15/09	01/04	Ja
"		01/04	15/09	Nee
Lampvermogen:		100		50
S e t p o i n t s 1				
MaxIGlob:		125		125
MaxLichtsom:		400		400
UitPerEtmaal:		15/09	01/12	11
"		01/12	01/02	9
"		01/02	15/09	11
BlokUitBegin:		17		17
Gevelscherm:		beweegbaar		beweegbaar
Scherm:		Ja		Ja
Schermtypen:		SLS10UltraPlus		SLS10UltraPlus
IGlobOpen:		50		50
TbuitMax:		12		17
Scrfile:		none		None
VerduisterScherOpenDicht:		0 0		0 0
MaxTexcess:		1.5		1.5
VoorloopSchermkier:		2		2
MaxVochtKier:		4		4
B o v e n s t e S c h e r m				
Schermboven:		ja		Ja
SchermtypenBoven:		XLS16F(schaduw)		XLS16F(schaduw)
IglobOpenBoven:		0 300		0 300
TbuitMaxBoven:		10		16
ScrfileBoven:		none		None
VerduisterScherOpenDichtBoven:		0 0		0 0
MaxTexcessBoven:		1.5		1.5
VoorloopSchermkierBoven:		2		2
MaxVochtKierBoven:		100		100
Krijten:		nee		Nee
Krijtfactor:		0		0

