



# Benadering van Temperatuur grenzen bij Temperatuurintegratie

Arie de Gelder

© 2003 Wageningen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

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

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



Financier : Productschap Tuinbouw

PT nummer: 36.091

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

Sector Glastuinbouw

Adres : Kruisbroekweg 5 Naaldwijk  
: Postbus 8, 2670 AA Naaldwijk  
Tel. : 0174 –63 67 00  
Fax : 0174 –63 68 35  
E-mail : [info@ppo.wur.nl](mailto:info@ppo.wur.nl)  
Internet : [www.ppo.dlo.nl](http://www.ppo.dlo.nl)

# Inhoudsopgave

1	TEMPERATUURINTEGRATIE, EEN NATUURLIJK PROCES.....	5
1.1	Actualiteit.....	5
2	TEMPERATUURINTEGRATIE .....	6
2.1	Temperatuur respons.....	7
2.2	Gewasstadia.....	10
2.3	Seizoen.....	11
2.4	Kasklimaat regelingen .....	11
3	GRENZEN.....	14
4	STRATEGIE VOOR HET TOEPASSEN VAN TI OP HET EIGEN BEDRIJF. ....	15
5	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN .....	17

# Voorwoord

Het project Inventarisatie grenzen temperatuurintegratie voor meerdere gewassen is in 2002 uitgevoerd. Gitta Scholte-Wassink en Karst Weening hebben met de leveranciers van kasklimaatregelingen gesproken en hebben interviews gehouden met gewasonderzoekers en een aantal telers. Zij hebben via literatuuronderzoek gezocht naar het antwoord op de vraag welke grenzen moet een teler in acht nemen bij toepassing van temperatuurintegratie. De zoektocht daarnaar leverde feitelijk weinig op. De leveranciers hebben geen harde cijfers en in het onderzoek is nooit naar een grens voor temperatuur gezocht maar altijd naar een optimale constante temperatuur. De literatuur geeft op de vragen naar grenswaarden feitelijk weinig of geen antwoorden.

In de loopt van dit project en door andere projecten die gericht zijn op temperatuurintegratie is het besef gegroeid dat temperatuurintegratie niet los gezien kan worden van andere factoren. Plantontwikkeling, lichtintensiteit, CO<sub>2</sub> beschikbaarheid, gewenste sturing van het gewas zijn allemaal factoren die mede het toepassen van temperatuurintegratie bepalen. Bovengenoemde samenspel van elementen heeft er in geresulteerd dat dit project niet de vooraf gewenste producten oplevert. Het rapport geeft een beschouwing waarom het resultaat niet bereikt kon worden. Achteraf gezien was de doelstelling te ambitieus en is onvoldoende nagedacht over de vraag of grenswaarden wel zo simpel zijn op te schrijven.

Dat temperatuurintegratie een instrument is dat telers kunnen inzetten om minder energie te gebruiken staat niet ter discussie. Door het ontbreken van harde grenzen wordt niet het maximale rendement. Dit onderzoek brengt daarin geen duidelijke verbetering.

Arie de Gelder

# 1 Temperatuurintegratie, een natuurlijk proces

## 1.1 Actualiteit

Ondernemen in de glastuinbouw is het vinden van het bedrijfseconomisch optimum van een groot aantal processen, zoals energie-input, productieplanning en arbeid. Door de ontwikkelingen in de informatie - en communicatietechnologie is de mogelijkheid van sturing op het gebied van kasklimaatregeling de laatste jaren sterk toegenomen. Hierdoor is onder meer temperatuurintegratie toepasbaar geworden. Dit regelprincipe levert de teler een economisch voordeel in de vorm van besparing op energiekosten. De energiebesparing die daarbij bereikt kan worden draagt bij aan het behalen van de energiedoelstellingen voor het GLAMI convenant. Tegen deze achtergrond is in de afgelopen jaren een aantal studies en onderzoeken verricht naar de mogelijkheden van energiebesparing door temperatuurintegratie. De resultaten hiervan waren positief, waarbij de relatief grootste energie besparing in voorjaar en najaar werd gerealiseerd.

Een tweede stimulans voor de toenemende aandacht voor temperatuurintegratie is de invoering van het CDS systeem bij de levering van aardgas. Een belangrijk onderdeel van dit systeem is de keuze van de contract capaciteit. Toepassing van temperatuurintegratie biedt de mogelijkheid om een tekort aan capaciteit op een later moment te compenseren. Voor deze toepassing, die vooral gebruikt wordt in koude perioden, is belangrijk wat de ondergrens is voor de acceptabele kastemperatuur, hoe lang deze mag worden aangehouden en de tijd waarover een tekort aan temperatuur mag worden gecompenseerd. Bij deze toepassing staat niet de energie besparing centraal maar de kostprijs van het ingekochte aardgas, die lager is door de afvlakking van de pieken. Er kan wel energie bespaard worden als de compensatie bereikt wordt door extra zonnewarmte, maar dit is een bijkomend voordeel.

Beide ontwikkelingen hebben ertoe geleid dat vanuit de gewascommissies van LTO veel vragen zijn gerezen over de mogelijkheden van temperatuurintegratie voor hun gewassen. In deze studie wordt een inventarisatie gemaakt van de mogelijkheden. De vraag van de commissies was vooral wat de grenzen zijn voor hun gewassen. Het opsporen van deze kritische waarden blijkt zeer moeilijk. Per gewas ligt dit verschillend. Om toch meer te kunnen zeggen is er voor gekozen om eerst reactie van de belangrijkste processen te beschrijven. Tegen deze achtergrond kan een betere analyse van de onderzoeksvragen van de gewascommissies worden gemaakt en kan een meer algemene benadering van het gewasgerichte onderzoek bij temperatuurintegratie worden besproken.

Voor vrijwel alle gewassen kan een temperatuurintegratie met een korte integratie tijd en beperkte bandbreedte zonder risico's worden toegepast en is daarmee al een significante maar niet maximale energie besparing te behalen.

## 2 Temperatuurintegratie

Buwalda (1999) heeft een uitvoerige studie verricht naar temperatuurintegratie. In deze studie geeft hij een overzicht van alle processen die bij toepassing van temperatuurintegratie van belang zijn. Hij maakt onderscheid tussen groei en ontwikkeling. Groei is de toename in biomassa of drogestof en ontwikkeling is de vorming van organen zoals bladeren, knoppen en vruchten. Elk van de processen kan een karakteristieke temperatuurrepons vertonen. Uit de verschillende onderzoeken die zijn gedaan blijkt dat groei (productie van biomassa) meer ruimte biedt voor temperatuurintegratie dan ontwikkeling. Groei en ontwikkeling bepalen samen de productie en beïnvloeden elkaar, waarbij de teeltfactoren licht, nutriënten voorziening, watergift, CO<sub>2</sub> en luchtvochtigheid het gehele levensproces van de plant mederichting geven. De samenhang maakt dat de maximale integratiecapaciteit van een gewas een resultante is van alle processen. Buwalda omschrijft de integratiecapaciteit als het gebied waarbinnen met de gemiddelde temperatuur in plaats van met de actuele temperatuur kan worden gerekend zonder dat dit gevolgen heeft voor de teelt.

Hij noemt daarbij als aandachtspunten:

- er moet rekening gehouden worden met kwalitatieve eigenschappen, zoals kleur en vorm
- een effect op teelt kan worden geaccepteerd als reductie van de kostprijs leidt tot een beter economische rendement
- er zijn processen in de plant waarvan de reactie zich aanpast na een periode van afwijkende licht of temperatuur omstandigheden.

De integratiecapaciteit wordt uitgedrukt als maximale afwijking van temperatuur \* tijd in graad-uren of graaddagen. Deze wordt berekend als som van de afwijking van de gerealiseerde gemiddelde temperatuur ten opzichte van de gewenste temperatuur per uur respectievelijk per dag.

Een temperatuurintegratie regeling is erop gericht om een afwijking binnen een gegeven tijd te compenseren waarbij optimaal gebruik gemaakt wordt van de natuurlijke variatie in temperatuur en licht tussen dagen.

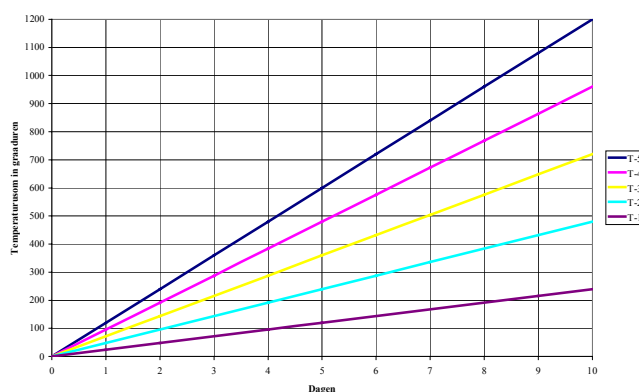
Uit bovenstaande omschrijvingen zijn een aantal variabelen te halen

- Een toelaatbare momentane afwijking van de gewenste temperatuur, zowel lager als hoger. In de regel wordt de totale afwijking aangeduid als de bandbreedte. De afwijking van de gewenste temperatuur kan in gelijke mate omlaag en omhoog worden toegepast, maar dit is niet noodzakelijk.
- Een temperatuur grens waaronder de temperatuur niet mag dalen. Dit is nodig omdat een aantal

plantprocessen een kritische lage temperatuur kent. Voor de hoge temperatuur is een maximale temperatuur minder nodig, omdat in de periode dat temperatuurintegratie wordt toegepast de hoge temperatuur alleen wordt bereikt door stoken of door de zon. Als door de zon de grens voor de hoge temperatuur wordt bereikt is het openen van de luchtramen voldoende om de temperatuur op het toegestane niveau te handhaven. Voor een goede balans tussen fotosynthese en ontwikkeling is het wel gewenst een bovengrens aan de temperatuur te stellen.

- Een integratie tijd. Het compenseren moet binnen een bepaalde tijd geschieden omdat een langdurig aanhoudende afwijking een verandering in de groei geeft.

Het product van integratietijd maal temperatuurafwijking levert een temperatuursom op uitgedrukt in graaddagen (Figuur1).



Figuur 1 : Verband tussen de tijd in dagen en de temperatuursom van de afwijking bij verschillende niveau's van constante temperatuur afwijking.

## 2.1 Temperatuur respons

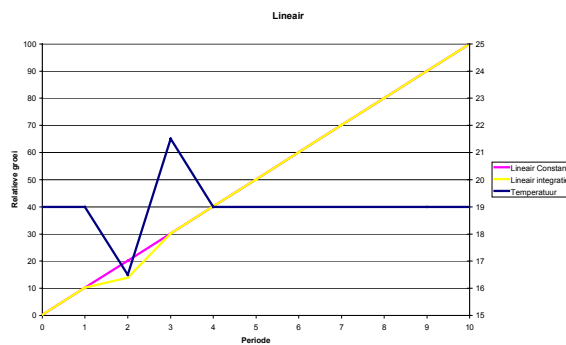
Uitgangspunt voor de temperatuurintegratie regelingen is dat de reactie van een plant op temperatuurverandering binnen bepaalde grenzen goed beschreven wordt door een vergelijking op basis van de gemiddelde etmaaltemperatuur. Variaties binnen het etmaal leiden niet tot andere groei. Een periodiek temperatuur verloop kan wel leiden tot een stuureffect op lengtegroei of orgaanontwikkeling. Dit wordt gebruikt bij omgekeerde dag-nachttemperatuur regelingen (DIF).

In dit uitgangspunt wordt als kleinste periode van onderscheid in temperatuur het etmaal als basis eenheid genomen, er zijn echter processen die een snellere respons kennen. Met name kwalitatieve processen zoals kouschade kunnen in kortere tijd optreden. Er wordt uitgegaan van één plant reactie, die is echter opgebouwd uit deelprocessen. Tenslotte wordt als beperking genoemd dat er zekere grenzen zijn, die nog niet nader zijn gedefinieerd.

Voor de temperatuurrepons is het van belang de karakteristieken van de reactie van verschillende

groeï- en ontwikkelingsprocessen op temperatuur te onderscheiden. Groei en ontwikkeling worden veelal beschreven in één van de elementaire typen vergelijkingen lineair, exponentieel of S-vormig. Een klassiek voorbeeld van lineaire reactie is de kieming van zaden. De temperatuursom boven een bepaalde drempelwaarde bepaald het moment van kieming. De eerste groei van jonge planten kan goed beschreven worden met een exponentiële vergelijking. De uitgroei van een blad voldoet aan een S-curve. Voor de reactie op temperatuur en het vermogen om de temperatuur te integreren kennen deze typen reacties elk een eigen respons.

Bij een lineaire vergelijking zal elke afwijking in temperatuur leiden tot een afwijkende relatieve groei. Een compensatie van de temperatuur kan op elk tijdstip erna plaats hebben en brengt de relatieve groei weer op het niveau dat zonder temperatuur afwijking zou zijn bereikt (Figuur 2)



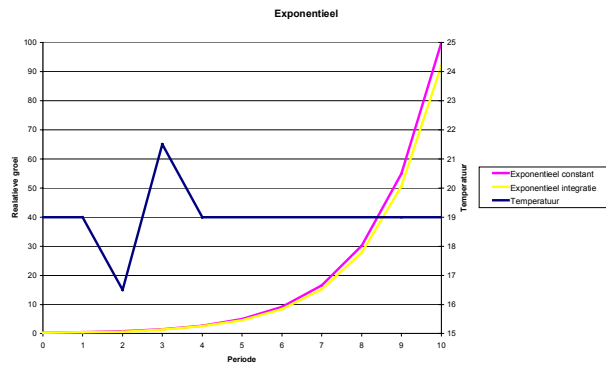
Figuur 2 : Relatieve toename van een groei of ontwikkelingsproces bij een lineaire functie als gevolg van constante of fluctuerende temperatuur.

Bij een exponentiële vergelijking heeft een variatie in temperatuur een negatief effect op de relatieve groei als de invloed van de temperatuur wordt beschreven als.

$$G_t = c * G_{(t-1)} * (1 + b(T - T_{\min})).$$

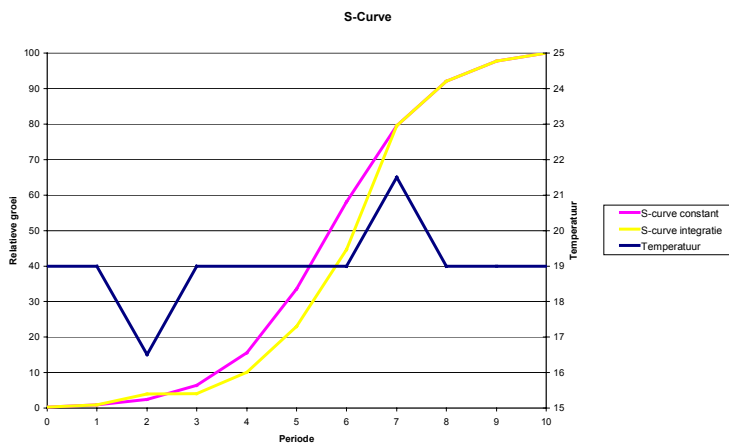
Het maakt daarbij niet uit of de afwijking eerst naar boven en daarna naar beneden is of omgekeerd (Figuur 3).





Figuur 3 : Relatieve toename van een groei of ontwikkelingsproces bij een exponentiële functie als gevolg van constante of fluctuerende temperatuur

Als de groei wordt beschreven met een S-vormige curve leidt een verandering in temperatuur tot een verschuiving van de groei in de tijd, terwijl het eindresultaat gelijk blijft ( figuur 4). Een compenserende actie zal de groei op het niveau brengen dat ook zonder temperatuurafwijking zou zijn bereikt. Ook zonder compensatie wordt hetzelfde eindresultaat bereikt, maar over een iets langere periode.



Figuur 4: Relatieve toename van een groei of ontwikkelingsproces bij een S-curve als gevolg van constante of fluctuerende temperatuur

Deze drie verschillende reacties op temperatuur hebben effect op de mogelijkheden van temperatuurintegratie bij verschillende gewassen. Een verlaging van de temperatuur in het jonge plant stadium, als een gewas exponentieel toeneemt in grootte, kan resulteren in een vertraging in groei die niet voldoende kan worden gecompenseerd. Dit is vooral belangrijk voor de toename in bladbedekking in een jong gewas, waardoor het licht onderscheppend vermogen toeneemt en daardoor de beschikbaarheid van assimilaten voor verdere groei.

Bij gewassen met een lange teeltduur, waarbij de uiteindelijke grootte door een tijdelijke afwijking in temperatuur slechts zeer gering beïnvloed wordt is compensatie van een lage temperatuur niet nodig.

## 2.2 Gewasstadia

In de ontwikkeling van een plant en plantendelen zijn verschillende stadia te onderscheiden.

De eerste fase is een periode van celdeling en differentiatie. In deze periode is de temperatuur belangrijk vanwege de exponentiele toename van het aantal cellen. In de volgende fase strekken de gevormde cellen en worden de organen zichtbaar. Hierbij is licht als energiebron voor de koolhydraten aanmaak een belangrijke groeifactor. Tot slot worden de gevormde organen zoals bloemen en later vruchten rijp.

In een jonge plant is vooral de eerste fase aanwezig. Bij een groeiende plant komen de verschillende fasen voor en is de totaal ontwikkeling een combinatie van alle afzonderlijke processen.

Bij een plant waarin de vegetatieve ontwikkeling overgaat in generatieve ontwikkeling is de eerste vorming van de bloemknop weer een proces waarin exponentiele toename van het aantal gedifferentieerde cellen belangrijk is. Hetzelfde geldt voor het ontstaan van een nieuwe scheut in een bladoksel. Dit zijn met name ontwikkelingsprocessen waarbij nieuwe delen worden gevormd.

Bij de beoordeling van de mogelijkheid van temperatuurintegratie zal per gewas gekeken moeten worden naar de aanwezige en gewenste ontwikkelingsprocessen. Een voorbeeld voor de teelt van een bloeiende potplant. Op een bedrijf komen bij jaarronde teelt alle verschillende gewasstadia voor. In één kas staan zowel jonge planten, planten waarbij de bloemknop wordt aangelegd en planten in de eindfase voor aflevering. Voor planten in de fase voor aflevering is variatie in temperatuur geen bezwaar als het aflevertijdstip en de uniformiteit niet wordt beïnvloed. Voor de jonge planten geeft een lage temperatuur een remming van de ontwikkeling met als gevolg een kleiner bladoppervlak. Hierdoor kan de plant minder licht onderscheppen en zal de groei nadelig worden beïnvloed. Een hoge temperatuur kan de groei zodanig versnellen dat de planten eerder wijder moeten worden gezet. De teeltplanning krijgt hierdoor een extra complicerende factor. De mogelijkheid van temperatuurintegratie wordt in dit geval beperkt door aanwezigheid van jonge planten. Ook de planten waarin de bloemknop wordt aangelegd kunnen in een kritische fase van de ontwikkeling verkeren. Bij teelten waarin alle planten in hetzelfde stadium verkeren en op eindafstand staan is deze beperking niet aanwezig.

## 2.3 Seizoen

Temperatuurintegratie regelingen maken gebruik van de natuurlijke variatie in licht en temperatuur. De zon is een belangrijke bron van energie zowel voor de groei (fotosynthese) als voor de warmte in de kas.

De relatief grootste besparingen kunnen worden bereikt in voorjaar en najaar als de zon voldoende energie levert om de kas op temperatuur te brengen en de buitentemperatuur laag is. Juist in deze periode is de verandering in hoeveelheid licht tussen dagen vrij groot. Gezien over een periode van enkele weken neemt het licht in het voorjaar sterk toe en in het najaar sterk af.

In de kas moet de ontwikkeling van de plant afgestemd zijn op deze verandering van licht condities, omdat de behoefte aan en beschikbaarheid van assimilaten bepaald wordt door de mate van aanleg van bladeren en organen zoals - bloemen en vruchten, in de periode daarvoor. Met name het proces van differentiatie is afhankelijk van de temperatuur. Hoe hoger de temperatuur des te sneller zullen bladeren, bloemen en vruchten worden aangelegd. Dit leidt in de periode daarna tot een hogere behoefte aan assimilaten, die gedekt moet worden door fotosynthese. De temperatuur en het licht hoeven vanuit deze benadering niet synchroon te lopen. In het voorjaar kan de differentiatie sneller verlopen, en dus de temperatuur hoger zijn, omdat het licht in de periode erna meestal toeneemt. In het najaar zou de differentiatie langzamer moeten lopen om de afnemende lichthoeveelheid op te vangen.

Juist in de periode waarin de gemiddelde lichthoeveelheid en de straling per dag sterk toe- of afneemt is de kans op variatie in beschikbare hoeveelheid licht tussen dagen vrij groot. In deze tijd is het van belang om de ontwikkeling van de plant zo te sturen dat de verschillen tussen aanleg van organen en beschikbare assimilaten niet te ver uit elkaar lopen. Daarvoor is op zonnige dagen een begrenzing van de temperatuur aan de bovenzijde nodig om niet te veel ontwikkeling te krijgen, waarvoor op donkere dagen geen assimilaten beschikbaar zijn voor verdere uitgroei. Dit is vooral belangrijk voor de ontwikkeling van bloemen en vruchten omdat deze gevoelig zijn voor abortie, door gebrek aan koolhydraten. Over de juiste verhouding tussen gewasontwikkeling en fotosynthese is bij de meeste bloemisterij gewassen nog relatief weinig bekend, terwijl deze voor vruchtgroenten nog maar beperkt beschreven zijn (Buwalda, pers med).

## 2.4 Kasklimaat regelingen

De temperatuurintegratie programma's worden toegepast boven op de huidige kasklimaatregelingen. In deze regelingen worden allerlei temperatuur- en ventilatieverlopen binnen een dag toegepast om de plantopbouw te reguleren en de fotosynthese zo maximaal mogelijk te doen zijn. Bijvoorbeeld een oplopende temperatuur in de dag bij veel licht om de aangemaakte assimilaten in voldoende tempo af te voeren uit de bladeren zodat er geen remming van de fotosynthese optreedt, door de oplopen

de hoeveelheid koolhydraten in de bladcellen. Vaak zijn deze regelingen ontstaan op basis van gedachten bij telers, voorlichters of onderzoekers, waarna ze in de praktijk zijn toegepast.

De stureffecten van temperatuur en temperatuursverandering begrenzen de mogelijkheden van temperatuurintegratie, omdat de regelaar zodanig moet kunnen worden ingesteld dat de gewenste stureffecten wel gehandhaafd blijven en ongewenste effecten worden gemeden. Een bekend voorbeeld hiervan is de toepassing van gebruik van een scherm in combinatie met omgekeerde dag-nacht temperatuur (DIF). Voor energiebesparing is het handhaven van een hogere temperatuur bij gesloten scherm gunstig, terwijl dit voor de plant opbouw zodanig negatief kan zijn dat dit niet kan worden toegepast.

Temperatuurintegratie kan op twee manieren toegepast worden.

1. Achteraf compenserend: warmtetekort of warmteoverschot wordt achteraf gecompenseerd door te stoken of sneller te luchten resp. minder te stoken. De periode waarover compensatie kan worden berekend is daardoor beperkt tot een aantal dagen terug kijken.
2. Afhankelijk van de weersvoorspelling vooruitkijkende, en op basis van de werkelijke waarden achteraf compenserende sturing die met behulp van de weersvoorspelling al vooraf de te verwachten warmtetekorten of overschotten inschat en bovendien achteraf de feitelijke warmtetekorten of overschotten bijwerkt. Hierdoor is de periode waarover geïntegreerd kan worden groter.

Voor de tweede regeling is het een vereiste dat een sturingsprogramma gebruikt wordt, dat meerdere malen per dag de weersvoorspelling ophaalt van een weerbureau.

Temperatuurintegratie is vanuit de optiek van energiebesparing en piekafvlakking belangrijk als er geen warmteoverschot is. Gebruik van hoge intensiteit assimilatiebelichting, waarbij een warmteoverschot ontstaat beperkt de noodzaak van toepassing van temperatuurintegratie, tenzij door uitschakeling van de belichting en leeg stoken van de warmtebuffer, de in de plant aanwezige buffercapaciteit moet worden gebruikt.

Naast temperatuur en licht en de balans tussen deze twee groeifactoren heeft een regeling op luchtvochtigheid invloed op de gerealiseerde temperaturen. Een hoge relatieve luchtvochtigheid vergroot de kans op condensatie op koude plantendelen. Het te veel aan vocht moet worden afgevoerd door ventilatie. Hierdoor is de mogelijkheid om de temperatuur op te laten oplopen beperkt. Het gevolg is dat compensatie van lage nacht temperaturen door een hoge dag temperatuur maar beperkt mogelijk zal zijn.

De huidige kasklimaatregelingen zijn vooral gebaseerd op technische mogelijkheden en natuurkundi

ge principes om in de kas het door de teler gewenste klimaat te realiseren. Temperatuurintegratie doet dat op een zo energie-efficiënte wijze als mogelijk, maar wel vanuit de technisch haalbare opties zonder dat de plant de werkelijke conditie van de plant in de regeling wordt meegenomen. Voor een optimale kasklimaat sturing is het nodig om te reageren op de condities van de plant.

### 3 Grenzen

In de aanleiding is aangegeven dat er twee belangrijke motieven zijn voor aandacht voor temperatuurintegratie. De eerste is energiebesparing zonder invloed op de groei en ontwikkeling. De tweede is het afvlakken van pieken in het gasverbruik. De temperatuur grenzen die aan het gewas worden gesteld verschillen hierbij. Bij de eerste, energiebesparing, zijn de bandbreedte en de integratiecapaciteit van belang zonder dat de teelt vertraagt. De opbrengst in kg/m<sup>2</sup> of €/m<sup>2</sup> moet gelijk blijven. Bij het afvlakken van pieken en opvangen van koude perioden is de minimum temperatuur die toelaatbaar is belangrijk. Hierbij mag de opbrengst dalen als het netto economisch resultaat positief is. De toelaatbare grens is voor de ondernemer daarmee afhankelijk van het doel dat hij nastreeft. Een maatregel om de temperatuur te laten zaken tot een niveau waarbij de groei blijvend vermindert moet passen binnen de gehele bedrijfsvoering.

Uit onderzoek van het IMAG (N.J. van de Braak en H.F. de Zwart; 2001) naar de energiebesparing door temperatuurintegratie kwam dat de bandbreedte de belangrijkste variabele is, terwijl verlenging van de integratietijd van 24 naar 72 uur een beperkte extra besparing opleverde. Voor de bandbreedte en integratietijd geldt dat er een afnemende meeropbrengst in besparing is bij toenemende bandbreedte en duur. Om meer inzicht in de verhouding bandbreedte en integratietijd te krijgen zou de studie van het IMAG nog moeten worden uitgebreid met simulaties met weersverwachting, variërende setpoints en wel of niet toepassen van -DIF.

Voor de ontwikkeling van de plant is het moment waarop een afwijking in temperatuur in temperatuur optreedt belangrijk. Bij jonge planten kan een vertraging in de ontwikkeling basis zijn voor een blijvende achterstand in groei.

Voor het afvlakken van pieken in het energieverbruik is een ondergrens waarbij geen blijvende schade aan het gewas optreedt, maar het teeltplan wel wordt beïnvloed, acceptabel. Deze grens zal in de regel bij veel lagere temperaturen liggen. Mits bij op temperatuur komen van de kas door opstoken geen condensatie op het gewas optreedt. Hiervoor is het noodzakelijk dat de temperatuur verdeling in een compartiment zo uniform mogelijk is.

Een apart aandachtspunt is het optreden van omgekeerde dag- nacht temperaturen (-DIF). Als geen stureffecten optreden of de stureffecten gewenst zijn vergroot dit de mogelijkheid van toepassing van temperatuurintegratie met gebruik van energiescherm. Als -DIF wel kan worden toegestaan moeten hiervoor per gewas afzonderlijke grenzen worden aangegeven om de kasklimaatregeling de juiste ruimte te geven.

De doelstelling van het onderzoek was om voor meerdere gewassen op basis van de literatuur gren

zen voor de temperatuurintegratie op te sporen. Uit de literatuur is echter heel weinig informatie op dit gebied af te leiden. De meeste temperatuur onderzoeken beschrijven het zoeken naar de optimale constante teelttemperatuur en doen dit in een beperkte range van 16 tot 24 oC. Een constante temperatuur zegt echter weinig over het gedrag bij een wisselende temperatuur. Gesprekken met diverse gewasdeskundigen en de leveranciers van kasklimaat programma's met temperatuurintegratie optie lieten zien dat ook zij geen harde grenzen konden aangeven.

In onderstaande tabel is een samenvatting gegeven van de belangrijkste aspecten voor toepassing van grenzen aan temperatuurintegratie bij verschillende gewassen. Voor een specifiek gewas zal de analyse van het teeltplan rekening houdend met de verschillende gewasprocessen, en gewasstadia tot een specifieke toepassing moeten leiden. Dat daarbij risico's worden vermeden is een logisch gevolg en dat vermijden van risico's resulteert in een minder dan maximale energie besparing eveneens. Maar een beperkte vorm van temperatuurintegratie zal al leiden tot een energiebesparing.

Dat toepassing per gewas een eigen benadering vraagt kan met een twee voorbeelden worden geïllustreerd.

Bij Amaryllis is de bodemtemperatuur de sturende factor voor de ontwikkeling. Hierdoor is de mogelijkheid van temperatuurintegratie voor de kastemperatuur tijdens de groei van de bol ruimschoots aanwezig.

Bij Alstroemeria kan toepassing van temperatuurintegratie leiden tot een oogstpatroon dat met sterkere pieken verloopt, omdat de temperatuur op een donkere dag laag blijft en de oogst vertraagd, terwijl op een zonnige dag de temperatuur extra zou oplopen en tot meer oogst zou leiden.

Gewas	Bandbreedte als afwijking van setpoint in oC	Integratiecapaciteit in graaduren	integratie tijd in dagen	Minimum temperatuur voor energiebesparing	Minimum temperatuur voor piekafvlakking	Stuur effecten temperatuur	Verschillende stadia gewas in een complex
Tomaat	2 oplopend tot 4	150 oplopend tot 300	2 oplopend tot 7	16	13	nee	nee, behalve bij tussen planten
Komkommer	2 oplopend tot 4	150 oplopend tot 300	2 oplopend tot 5	17	12	ja, vooral op lengte groei	nee, behalve bij tussen planten
Paprika	2 oplopend tot 3	150 oplopend tot 300	2 oplopend tot 5	16		nee	nee
Potplanten, groen	4	200	2	16	13	ja, DIF geeft reductie plant lengte	ja
Ficus bejamina	4	300	7	17	16	ja, DIF geeft kortere planten	ja
Kalanchoë	2	100	1	17	16	ja, op stengel strekking	ja
Spathiphyllum Phalenopsis						ja, bloeiinductie ja, bloeiinductie	ja ja
Poinsettia				16	16	ja, DIF geeft kortere planten	ja
Begonia				17	15	ja, DIF en Kouval geeft kortere planten	ja
Roos	2 oplopend tot 4	150 oplopend tot 300	2 oplopend tot 7	15	12	ja, op stengel strekking en knopgrootte	nee, wel takken in verschillende stadia
Chrysant	3	50	1	16	16	ja, strekking bloemsteel	ja
Gerbera	4	200	4	16	15		nee, wel verschillende cultivars
Anthurium	2	100	2	16	16	?	



## 4 Strategie voor het toepassen van TI op het eigen bedrijf.

Temperatuurintegratie leidt bij alle toepassingen tot energiebesparing of energiekosten besparing. In het onderzoek wordt voor de maximale energiebesparing gezocht naar de grenzen wat vanuit de temperatuur mogelijk zou moeten zijn. Het bereiken van deze maximale besparing heeft in de meeste gevallen te grootte invloed op de teeltplanning en bedrijfsvoering van de ondernemer. Toepassing van een beperkte mate van integratie met een beperking van de duur en in mindere mate op de bandbreedte levert energiebesparing zonder risico's.

Om temperatuurintegratie in het bedrijfssysteem in te voeren dienen conventionele teeltrecepten als vertrekpunt. Stap voor stap kan, binnen veilige marges, de temperatuur rond de vaste setpoints geïntegreerd worden. Als het gewas geen negatieve reactie vertoont kan een verdere stap genomen worden door grotere bandbreedtes in te stellen. Bedenkt daarbij dat in de conventionele kasklimaatregelingen behoorlijke variaties in gerealiseerde temperatuur optreden, vooral naar de hoge kant. Instellingen zoals lichtverhoging en de snelheid waarmee luchtramen worden geopend leveren bij voldoende instraling grote variaties in temperatuur op zonder dat dit ten koste hoeft te gaan van de productie. Omdat in de conventionele regelingen geen compensatie van een warme periode door een koude periode wordt toegepast zal de gerealiseerde gemiddelde temperatuur over een langere periode hoger liggen dan de temperatuur die gerealiseerd wordt als de stooktemperatuur wordt gevolgd. Hiermee maakt de teler al gebruik van een stukje temperatuurintegratie, wat door regelingen die hier gericht op sturen wordt vergroot en geoptimaliseerd. In het begin zal voor korte integratieperiodes gekozen worden (één dag). Als hierdoor geen negatief effect ontstaat kan de integratieperiode verlengd worden. Van groot belang blijft het gewas kritisch in de gaten te houden, de techniek goed te kennen en te benutten.

Risicovolle/ gevoelige periodes bijvoorbeeld de zetting bij paprika of de bloemaanleg bij chrysant zijn voor de toepassing van temperatuurintegratie minder geschikt. Fasen zoals begin van de verduisteringsperiode bij kortedag planten vormen vaak gevoelige momenten voor de toepassing van TI. Hierbij speelt ook een rol dat van een gewas vaak verschillende stadia in een kas geteeld worden. Als een partij, in een gevoelig stadium, tussen andere partijen, waarvoor temperatuurintegratie toepasbaar zou kunnen zijn, staat is die gevoelige partij de beperkende factor.

De toepassing van temperatuurintegratie kan als, rekening wordt gehouden met de specifieke eisen van een gewas bij de sturing van de teelt, ook voordelen bieden. Bijvoorbeeld door gericht te sturen op een bepaald aflevermoment.

Over het gedrag van ziektes, plagen en de biologische bestrijding ervan onder veranderde klimaatomstandigheden is tot nu toe weinig bekend. Duidelijk heeft de RV en de temperatuur invloed op de ontwikkeling van een aantal ziektes en plagen.

Het door bekende teeltrecepten gerealiseerde klimaat in de kas is door jarenlange toepassing vertrouwd geraakt.

Telers met veel ervaring hebben op basis van het klimaat in de kas een goed of minder goed gevoel over de groei en ontwikkeling van het gewas en sturen het kasklimaat hierop voortdurende bij .

Voor het onderzoek ligt de uitdaging om de ontwikkeling van het gewas zodanig te beschrijven dat een juist beeld van de conditie van een gewas wordt gegeven, waardoor het kasklimaat geregeld kan worden naar de mogelijkheden van het gewas. In de vruchtgroenten is met het begrip plantbalans hiervoor een aanzet gegeven. Voor de potplanten loopt er onderzoek om de basis hiervoor te leggen. De gedachten van de teler over de conditie van het gewas kan daarbij niet de referentie zijn, maar een onderbouwde fysiologische beschrijving moet de basis vormen.

Bedenk dat een nieuwe klimaatstrategie het klimaat in de kas zal veranderen en leer hiermee om te gaan.

## 5 Conclusies en aanbevelingen

Temperatuurintegratie wordt toegepast voor verschillende doelen, bijvoorbeeld piekafvlakking en energiebesparing. De grenzen die hiervoor aan de toelaatbare temperaturen moeten worden gesteld verschillen afhankelijk van het gekozen doel.

Elke vorm van temperatuurintegratie hoe klein ook leidt tot een besparing op kosten voor energie. Een betere onderbouwing van de meeropbrengst van een langere integratietijd of grotere bandbreedte is nodig voor de bedrijfseconomische afweging van de teler.

De afweging tussen risico en opbrengst leidt er in de praktijk toe dat telers niet de maximale besparing zullen realiseren.

Bij teelten met veel verschillende stadia in een kas zal temperatuurintegratie gericht moeten zijn op het stadium met de geringste mogelijkheden.

Een goed beeld van de conditie of status van een gewas is nodig om de mogelijkheden van temperatuurintegratie beter te kunnen benutten.

De gevoeligheid van ontwikkelingsprocessen voor temperatuur is groter dan die van groei (biomassa toename). Verschillen in ontwikkeling als gevolg van variërende temperatuur in vergelijking met constante temperatuur moeten beter beschreven worden. Deze analyse moet niet gericht worden op het eindproduct maar op de ontwikkeling in de tijd.

## Literatuur

Buwalda, F. 1999 .

Mogelijkheden voor energiebesparing door temperatuurintegratie bij siergewassen. Literatuuroverzicht. Proefstation voor de Bloemisterij en Glasgroente. Rapport 118, pp 57

Braak, N. J. van de, en H.F. de Zwart, 2001

Analyse energiebesparing door temperatuurintegratie. IMAG-Wageningen rapport P 2001-98, pp 14.