

Op weg naar efficiënter energiegebruik bij de regeling van het klimaat in kassen

Dr.ir. E.J. van Henten

DLO-Instituut voor Milieu- en Agritechniek (IMAG-DLO)
Postbus 43, 6700 AA Wageningen

Dr. J. Bontsema, Prof.dr.ir. G. van Straten

Vakgroep Agrotechniek en -fysica
Sectie Meet-, Regel- en Systemtechniek
Landbouwuniversiteit Wageningen
Bomenweg 4, 6703 HD Wageningen

Referaat

Efficiënter gebruik van energie bij de teelt van gewassen onder glas is niet alleen in overeenstemming met het overheidsbeleid ten aanzien van de effectievere benutting van natuurlijke hulpbronnen en de reductie van emissies naar de omgeving, maar kan ook bijdragen tot een meer duurzame bedrijfsvoering en een beter bedrijfsresultaat. Naast maatregelen die al veel aandacht hebben gekregen, zoals energieschermen, zijn ook op het gebied van de klimaatregeling forse verbeteringen mogelijk ten aanzien van energie-efficiëntie. In dit artikel wordt het concept van een nieuw energie-efficiënt kasklimaatbesturingssysteem beschreven.

Trefwoorden: glastuinbouw, klimaatregeling, optimalisatie, modellen

Inleiding

De klimatisering van een kas in Nederland gaat gepaard met een aanzienlijke energieconsumptie. De Nederlandse glastuinbouwsector neemt ongeveer 10% van de totale Nederlandse aardgasconsumptie voor zijn rekening. Tevens is de klimatisering van de kas voor de tuinder een van de belangrijkste kostenposten. Efficiënter energiegebruik kan daarom niet alleen bijdragen tot een meer duurzame bedrijfsvoering en een beter bedrijfsresultaat, maar is ook in overeenstemming met het overheidsbeleid ten aanzien van de effectievere benutting van energie en de reductie van emissies naar de omgeving.

In essentie kan in de glastuinbouw efficiënter energiegebruik op twee manieren worden gerealiseerd. Ten eerste bestaat de mogelijkheid energieverliezen te beperken en de opgewekte energie efficiënter te benutten. Hierbij kan worden gedacht aan de toepassing van energieschermen, isolatie van de aanvoerleidingen van het verwarmingssysteem en aan het gebruik van rookgascondensators. Bij deze aanpak wordt getracht de consequentie, d.w.z. het energiegebruik, voortvloeiend uit de beslissing om energie aan de kas toe te voeren, te beperken. De eigenlijke beslissing om energie aan de kas toe te dienen wordt echter niet in beschouwing genomen. De tweede benadering om efficiënter energie-

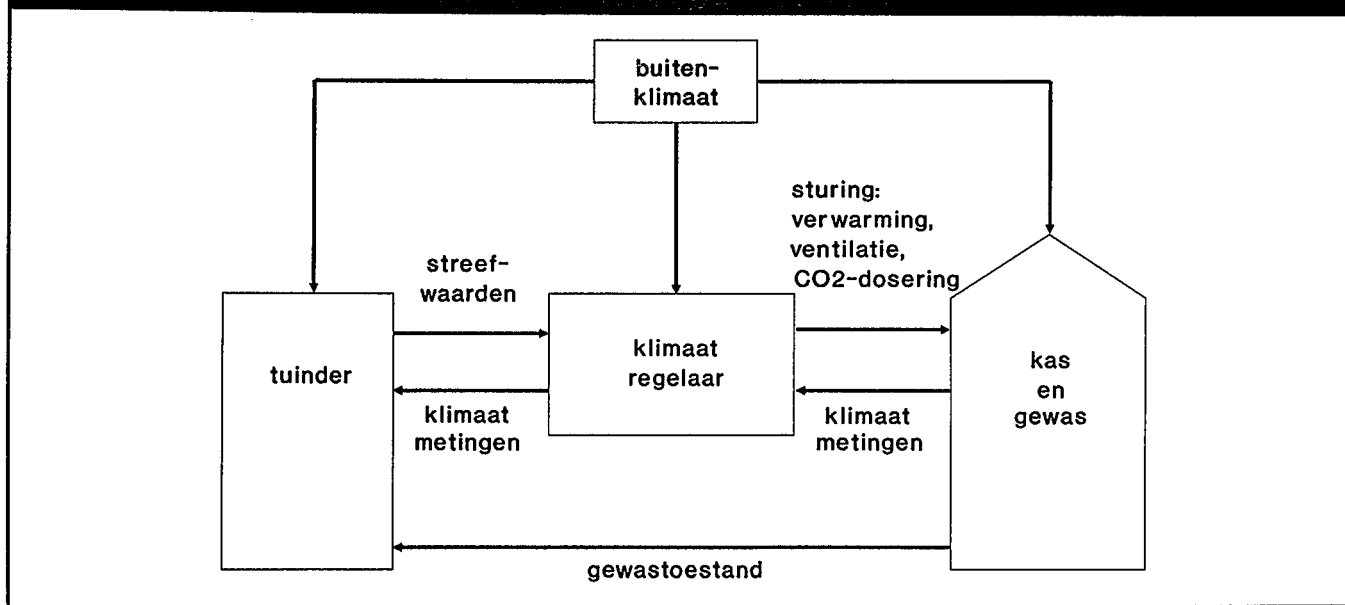
gebruik te realiseren, richt zich juist op die beslissing omtrent de hoeveelheid en het moment waarop het meest efficiënt energie aan de kas kan worden toegeediend. Hier staat de regeling van het kasklimaat centraal.

In tegenstelling tot de eerste aanpak, heeft de tweede benadering, die zich richt op een efficiëntere klimaatregeling, tot op heden weinig aandacht gekregen in energiebesparingsonderzoek. Juist op het gebied van de klimaatregeling zijn nog aanzienlijke verbeteringen mogelijk ten aanzien van efficiënter energiegebruik (Bailey en Seginer, 1989; Van Henten en Bontsema, 1991; Van Henten, 1994^a).

De huidige wijze van klimaatregelen in de tuinbouwpraktijk

In de tuinbouwpraktijk wordt het omgevingsklimaat van het gewas gezien als een belangrijke factor waarmee de productie van het gewas zowel kwalitatief als kwantitatief kan worden gestuurd. Figuur 1 geeft schematisch aan hoe dat in zijn werk gaat. Afhankelijk van de (ontwikkelings)toestand van het gewas stelt de tuinder op de klimaatcomputer streefwaarden in voor klimaatgrootheden als de luchttemperatuur, luchtvochtigheid en koolzuurgasconcentratie in de kas. Ook worden streefwaarden ingesteld voor de stuur-

Figuur 1 - De huidige wijze van klimaatregelen.



grootheden waarmee het klimaat wordt beïnvloed, zoals de verwarming en de opening van de ventilatieramen. Een minimum buistemperatuur en een minimum raamstand zijn daar voorbeelden van. De meeste klimaatcomputers bieden de mogelijkheid om deze instelwaarden te laten variëren met de tijd. Bovendien kunnen invloeden van het weer op de streefwaarden van het binnenklimaat worden geprogrammeerd. Een voorbeeld daarvan is een lichtafhankelijke verhoging van de streefwaarde van de kasluchttemperatuur. Gebruikmakend van metingen van het kasklimaat zorgt vervolgens de klimaatcomputer ervoor dat de ingestelde waarden zo goed mogelijk worden gerealiseerd. Met regelmatige tussenpozen zal de tuinder de ingestelde waarden wijzigen als de ontwikkeling van het gewas anders verloopt dan verwacht of als de weersomstandigheden dat volgens hem vereisen.

Waarom een nieuw kasklimaatbesturings-systeem?

Voor efficiënt gebruik van energie bij de teelt van gewassen onder glas is het van belang dat dit produktiemiddel, net als ieder ander, zo efficiënt mogelijk wordt ingezet in relatie tot de economische output van het productieproces. Daartoe is het noodzakelijk dat het gebruik van energie continu wordt aangepast aan de toestand en de

wensen van het gewas, de buitenklimaat-omstandigheden, omdat deze in belangrijke mate het energieverbruik beïnvloeden, en aan de energie- en productprijs.

Wordt bij de huidige wijze van klimaatbesturing wel zo efficiënt mogelijk met energie omgegaan? De huidige regeling van het kasklimaat is niet gebaseerd op een continue objectieve afweging van kosten en baten. De enige wijze waarop de tuinder bij de regeling van het kasklimaat kan reageren op veranderingen in het prijspeil is door andere streefwaarden in te stellen op de computer. In het verleden is gebleken dat in tijden met hoge energieprijzen de tuinder bij het instellen van de klimaatcomputer een, zij het grove, kosten-baten afweging maakte. Zo werd het energiegebruik verminderd door het instellen van een lagere streefwaarde voor de kasluchttemperatuur en door de kas minder te ventileren.

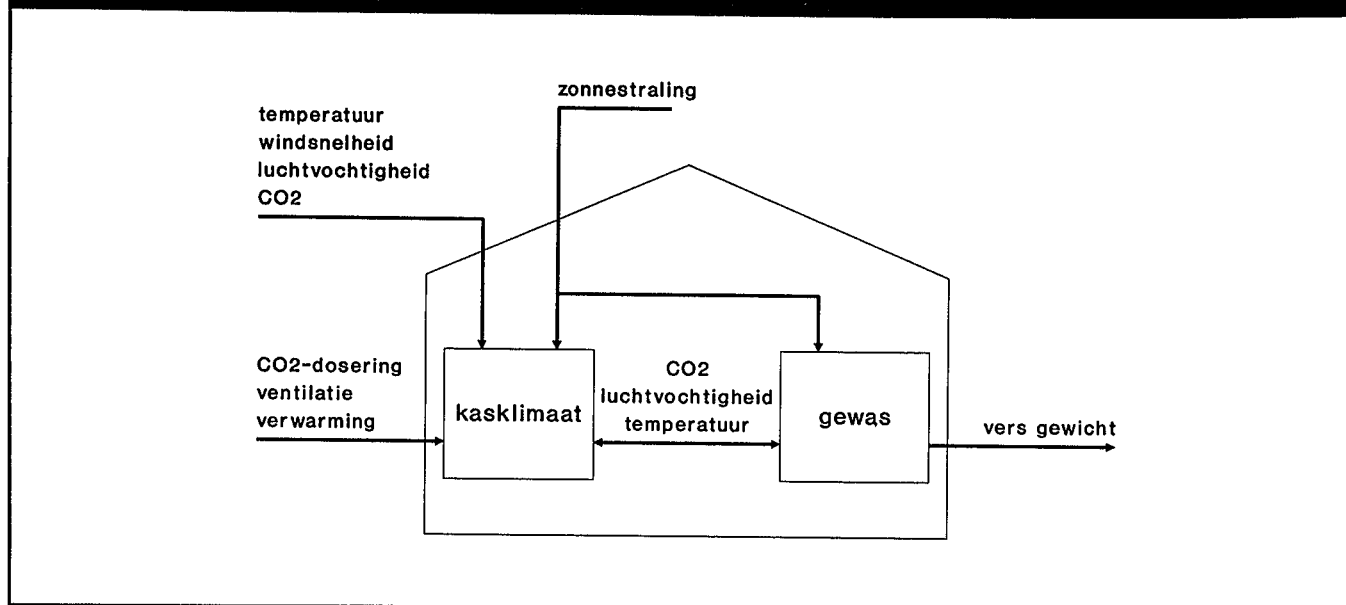
Het is echter geen eenvoudige opgave voor de tuinder om adequaat, in de zin van energie-efficiëntie, te reageren op de toestand van het gewas, het weer en de prijzen. Daarvoor zijn de betrokken fysische en fysiologische processen te complex. Op dit moment is in de kasklimaatbesturings-systemen relatief weinig fysische dan wel plantfysiologische proceskennis, bijvoorbeeld in de vorm van wiskundige dan wel anderssoortige modellen, verwerkt. Uit-

zondering vormt een modelondersteunde CO₂-regeling die streeft naar een effectieve benutting van de warmteopslagtank. De besturingssystemen bieden de tuinder vooral een ruim scala aan instelmogelijkheden waarmee hij op basis van jarenlange ervaring en resultaten van empirisch onderzoek, in wezen een mentaal model, het kasklimaat en daarmee de gewasgroei en productie kan sturen. Wel wordt steeds meer gebruik gemaakt van grafische ondersteuning om de tuinder te informeren over de gekozen instellingen. De besturingssystemen verschaffen echter niet of nauwelijks inzicht in de consequenties van de gekozen instellingen in termen van bijvoorbeeld energie-efficiëntie.

Voor efficiënter gebruik van energie bij de teelt van gewassen onder glas is het noodzakelijk meer kennis omtrent de respons van het kasklimaat en het gewas te verwerken in het klimaatbesturingssysteem en de regeling te baseren op een continue objectieve afweging van kosten en baten in samenhang met de stand van het gewas en het buitenklimaat.

De kennis betreffende de respons van het kasklimaat en het gewas is de afgelopen decennia aanzienlijk toegenomen. Dit heeft geresulteerd in wiskundige modellen van bijvoorbeeld het kasklimaat (Bot, 1983; Udink ten Cate, 1983; De Jong, 1990), de gewasverdamping (Stanghellini,

Figuur 2 - Een model van het kas-gewasproductieproces.



agro informatica 8(4) / oktober 1995

1987) en de groei van sla (Sweeney et al., 1981). Deze modellen kunnen worden gebruikt voor de besturing van het kasklimaat.

De techniek om een energie-efficiënt kasklimaatbesturingssysteem te ontwikkelen, de zogenaamde optimale besturingstheorie, is reeds in de jaren '60 tot ontwikkeling gekomen (Kirk, 1970). Deze techniek heeft reeds met succes toepassing gevonden onder andere in de procesindustrie.

Op basis van deze ingrediënten is door IMAG-DLO en de Vakgroep Agrotechniek en -fysica van de Landbouwniversiteit Wageningen een nieuw concept van een klimaatregelsysteem ontwikkeld met als doel een bijdrage te leveren aan de verbetering van de energie-efficiëntie bij de beheersing van het kasklimaat in de Nederlandse glastuinbouw. Dit project werd uitgevoerd in het kader van de Werkgroep "Kasklimaatbesturing van de jaren '90", waaraan IMAG-DLO, de Landbouwniversiteit, AB-DLO en het PBG deelnamen.

Het nieuwe klimaatbesturingssysteem

In dit project stond het uitwerken van de optimale besturingsmethodiek voor de regeling van het kasklimaat centraal. Daarom is ervoor gekozen het nieuwe besturingssysteem te ontwikkelen voor de teelt

van sla. Dit gewas kan met een relatief eenvoudig model worden beschreven (Sweeney et al, 1981; Van Henten, 1994^b). Het concept is echter breder inzetbaar. Met enkele wijzigingen is het ook toepasbaar bij de teelt van bijvoorbeeld vruchtgewassen als tomaat en komkommer.

De kern van de optimaliserende kasklimaatregelaar wordt gevormd door een wetenschappelijk model van de kas en het gewas. In het model, schematisch weergegeven in figuur 2, is kennis verwerkt omtrent fysische en fysiologische processen die bij de teelt van een slagewas in een kas plaatsvinden. Dit model beschrijft hoe het klimaat in de kas wordt beïnvloed door de verwarming, de toediening van koolzuurgas en de luchtuitwisseling met de buitenlucht door de ventilatieramen. Ook de invloed van het weer op het binnenklimaat wordt meegenomen, evenals de gewichtsontwikkeling van sla onder invloed van het kasklimaat. Het model is door middel van teeltexperimenten met sla in een kas getest (Van Henten, 1994^b).

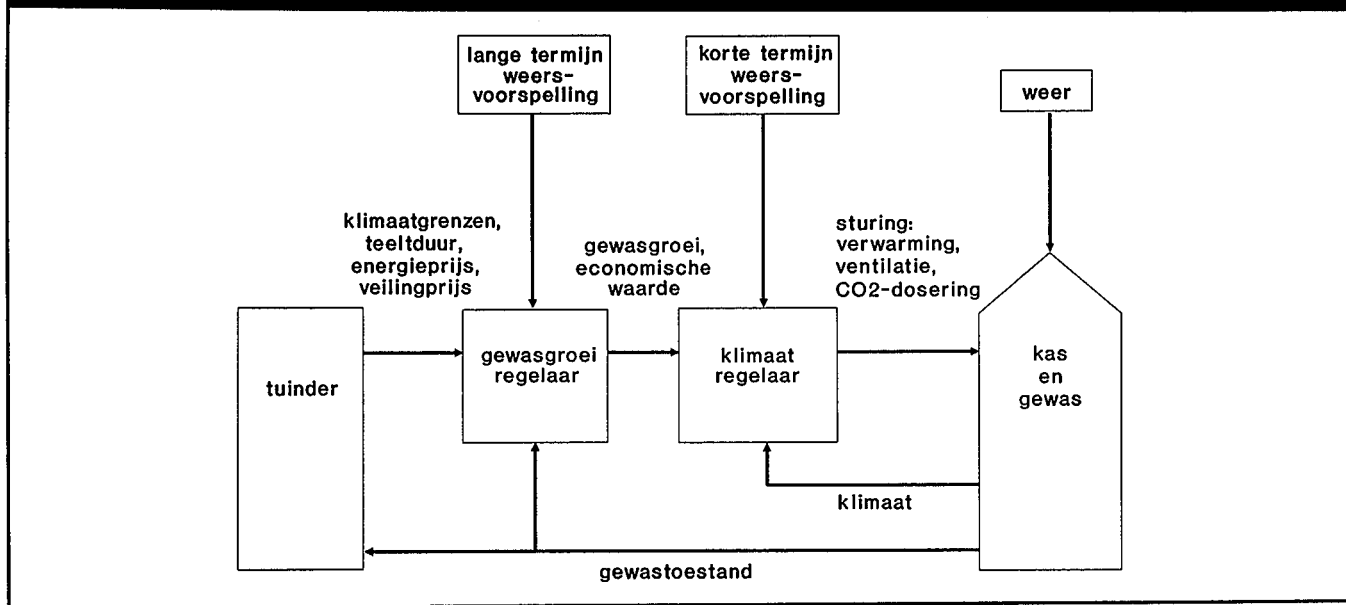
Figuur 3 toont het concept van het nieuwe kasklimaatbesturingssysteem. Het besturingssysteem is opgedeeld in twee delen die hiërarchisch ten opzichte van elkaar zijn georganiseerd. Eén deel, een zogenaamde gewasgroeiregelaar, regelt de groei en productie van het gewas op een zo efficiënt mogelijke wijze. Het tweede

deel, de klimaatregelaar, zorgt voor de efficiënte regeling van het klimaat in de kas.

De tuinder geeft aan het begin van de teelt aan hoe lang de teelt moet gaan duren, het aanvangsgewicht van de plant, de energieprijzen en de verwachte veilingprijzen. In Nederland wordt sla geveild in klasseringen die onder andere afhankelijk zijn van het gewicht. Analyse van de veilingprijzen van sla heeft een lineair verband tussen het oogstgewicht van een krop sla en de prijs aan het licht gebracht. Tevens werd in de veilingprijzen duidelijk seizoensafhankelijke trends waargenomen. Deze trends bieden voldoende aanknopingspunten voor voorspelling van de veilingprijzen. Deze voorspelling kan door tuinder worden gebruikt wanneer hij aan het besturingssysteem de verwachte veilingprijzen opgeeft. Tenslotte moet de tuinder aangeven welke waarden van de luchttemperatuur, luchtvochtigheid en koolzuurgas-concentratie niet door de klimaatregeling mogen worden overschreden om schade aan het gewas of kwaliteitsverlies van het geoogste produkt te voorkomen.

Vervolgens berekent de gewasgroeiregelaar op basis van een lange termijn weersvoorspelling (bijvoorbeeld een langjarig gemiddelde) een optimaal groeipad voor het gewas. Aan de gewasgroei wordt bovendien een economische waarde toegekend, die gerelateerd is aan de verwachte

Figuur 3 - Het nieuwe kasklimaatbesturingssysteem.



veilingprijs. Deze economische waarde wordt bij de eigenlijke regeling van het kasklimaat gebruikt.

Als in de loop van de teelt uit metingen blijkt dat de werkelijke gewasgroei zeer sterk afwijkt van het vooraf berekende groeipad, wordt een nieuw pad voor de gewasgroei en de bijbehorende economische waarde uitgerekend. Herberekening van deze paden kan ook plaatsvinden als gedurende de teelt betere voorspellingen van het weer en de veilingprijs beschikbaar komen. Deze werkwijze, in de regeltechniek terugkoppeling genaamd, zal het effect van bijvoorbeeld modelfouten voor een belangrijk deel compenseren. Omdat de groei van het gewas een relatief traag proces is, worden deze berekeningen hooguit wekelijks herhaald.

Het groeipad van het gewas, de bijbehorende economische waarde en een korte termijn weersvoorspelling worden gebruikt door de klimaatregelaar. Deze berekent direct bedrijfseconomisch optimale instelwaarden voor de verwarming, de koolzuurgasdosering en de ventilatie. Tevens berekent de klimaatregelaar het optimale verloop van de binnen-klimaatgrootheden zoals de luchttemperatuur, luchtvochtigheid en koolzuurgas-concentratie. Ook in de klimaatregelaar wordt gebruik gemaakt van terugkoppeling. Om te compenseren voor verschillen tussen het berekende kas-

klimaat en metingen van het kasklimaat worden regelmatig de klimaatsturingen herberekend. Dit is ook het geval bij optredende verschillen tussen het werkelijke weer en de korte termijn weersvoorspelling. Omdat het kasklimaat een relatief snel proces is, vinden deze herberekeningen elke minuut plaats.

Optimale kasklimaatbesturing resulteert in efficiënter energiegebruik

Door middel van computersimulaties is optimale kasklimaatbesturing vergeleken met klimaatregeling onder supervisie van de tuinder. Gebruikmakend van meetgegevens van het weer verkregen tijdens een kasexperiment met sla in de winter van 1992 zijn optimale besturingsstrategieën berekend en vervolgens vergeleken met de klimaatregeling ingesteld door de tuinder tijdens deze teelt. Bij deze vergelijking werden een aantal interessante verschillen zichtbaar. De simulaties toonden aan dat optimale kasklimaatbesturing efficiënter gebruik maakt van de verwarming, koolzuurgasdosering en ventilatie. De koolzuurgasdosering reageerde bijvoorbeeld efficiënter op de zonnestraling en de ventilatie, daarbij beter gebruikmakend van de mogelijkheden om de produktie van het gewas te verhogen onder gunstige weersomstandigheden. In overeenstemming met de

tuinbouwpraktijk werd door de optimaliserende klimaatregeling voornamelijk geventileerd om een te hoge relatieve luchtvochtigheid in de kas te voorkomen. Tevens werd door een betere aanpassing van de verwarming aan de stand van het gewas een aanzienlijke energiebesparing gerealiseerd. De simulaties geven aan dat afhankelijk van de omstandigheden de besparing kan oplopen tot meer dan 15%.

Discussie en conclusies

In het nieuwe concept kasklimaatbesturingssysteem wordt aan de tuinder een iets andere rol toegedicht dan tot nu toe gebruikelijk was (zie figuren 1 en 3). Is het bij de huidige klimaatregeling de tuinder die op basis van zijn kennis en ervaring de gewasgroei regelt door het kiezen van de juiste instellingen, in het nieuwe besturingssysteem is het de gewasgroei regelaar die een deel van deze taak overneemt. Daartoe is kennis van de respons van het gewas en het klimaat in het besturingssysteem verwerkt. Toch blijft de tuinder ook bij het nieuwe besturingssysteem een belangrijke rol spelen. Het kasklimaat, de gewasgroei en -produktie worden door de gebruikte modellen niet volledig en exact beschreven. Op basis van metingen van de gewas-toestand en het kasklimaat kunnen verschillen tussen de modellen en de werkelijkheid worden ontdekt en correcties in de

klimaatsturing worden aangebracht. Als ondanks deze terugkoppeling de tuinder ziet dat de gewasgroei en produktie te sterk af gaan wijken van de gewenste toestand zal hij kunnen ingrijpen door bijvoorbeeld het instellen van andere begrenzingsen voor de klimaatgrootheden zoals de luchttemperatuur en luchtvochtigheid. Op deze wijze houdt de tuinder in zekere mate grip op de sturing van het proces en blijven de risico's tengevolge van onvolkomenheden in de modellen beperkt.

Een opvallend verschil met de huidige klimaatbesturing is dat in het nieuwe klimaatbesturingssysteem niet langer met streefwaarden voor de klimaatgrootheden wordt gewerkt. Het besturingssysteem berekent direct de optimale waarden voor de verwarming, koolzuurgasdosering en ventilatie. Uit het onderzoek is gebleken dat dit tot gevolg heeft dat de klimaatgrootheden, zoals de temperatuur en koolzuurgasconcentratie, binnen de opgegeven grenzen sterk over de dag kunnen fluctueren. Nu volgen de klimaatgrootheden vaak nog het vrij starre verloop van de ingestelde streefwaarden. Gebleken is dat juist de flexibele aanpassing van het binnenklimaat aan het buitenklimaat een aanzienlijke bijdrage levert aan de verbetering van de energie-efficiëntie.

Een belangrijk pluspunt van het nieuwe besturingssysteem is dat bij wijziging van de veilingprijzen of veranderingen in het beleid op energiegebied, zoals heffingen op het energiegebruik, automatisch het ener-

gieverbruik wordt bijgesteld door het aanpassen van de klimaatregeling.

In dit onderzoeksproject is aangetoond dat ook op het gebied van klimaatregeling in kassen aanzienlijke verbeteringen in energie-efficiëntie mogelijk zijn. Tevens is uitgewerkt hoe dit kan worden gerealiseerd. Voor de toepassing van het nieuwe besturingssysteem in de tuinbouwpraktijk zijn geen grote investeringen in hardware nodig. De meeste tuinbouwbedrijven zijn inmiddels uitgerust met een klimaatbesturingssysteem waarmee een PC met voldoende rekencapaciteit verbonden is. Ook zijn de benodigde sensoren voor het binnen- en buitenklimaat beschikbaar. Daarmee is toepassing van de optimaliserende op modellen gebaseerde kasklimaatregeling in de tuinbouwpraktijk in zicht gekomen.

In de nabije toekomst zal een aanvang worden gemaakt met de bouw van een prototype van het energie-efficiënte kasklimaatbesturingssysteem dat onder praktijkomstandigheden zal worden getest. Daartoe is een ontwikkel- en demonstratieproject geformuleerd waarin IMAG-DLO, PBG te Naaldwijk, Landbouwuniversiteit Wageningen en AB-DLO participeren.

Literatuurlijst

Bailey, B.J. en I. Seginer (1989).

Optimum control of greenhouse heating. *Acta Horticulturae*, 245, p. 512-518.

Bot, G.P.A. (1983).

Greenhouse climate: from physical process to a dynamical model. Proefschrift Landbouwuniversiteit Wageningen.

Henten, E.J. van en J. Bontsema (1991)

Optimal control of greenhouse climate. IFAC Workshop Series, 1, p. 27-32.

Henten, E.J. van (1994^a)

Greenhouse climate management: an optimal control approach. Proefschrift Landbouwuniversiteit Wageningen.

Henten, E.J. van (1994^b)

Validation of a dynamic lettuce growth model for greenhouse climate control. *Agricultural Systems*, 45, p. 55-72.

Jong, T. de (1990).

Natural ventilation of large multi-span greenhouses. Proefschrift Landbouwuniversiteit Wageningen.

Kirk, D.E. (1970).

Optimal control theory. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.

Stanghellini, C. (1987).

Transpiration of greenhouse crops. Proefschrift Landbouwuniversiteit Wageningen.

Sweeney, D.G., D.W. Hand, G. Slack en J.H.M. Thornley (1981).

Modelling the growth of winter lettuce. In: Rose, D.A. en D.A. Charles-Edwards (eds.). *Mathematics and plant physiology*. Academic Press, New York.

Udink ten Cate, A.J. (1983).

Modelling and (adaptive) control of greenhouse climates. Proefschrift Landbouwuniversiteit Wageningen.