

OPTIMALISERING VAN HET KASKLIMAAT

Doelstelling, methodiek en implementatie in de praktijk

E.J. van Henten

In dit artikel wordt beschreven hoe wiskundige modellen van het gewas en het kasklimaat kunnen worden gebruikt bij het optimaliseren van het kasklimaat. De methodiek wordt geïntroduceerd en aangegeven wordt hoe kasklimaatoptimalisering in de praktijk kan worden toegepast.

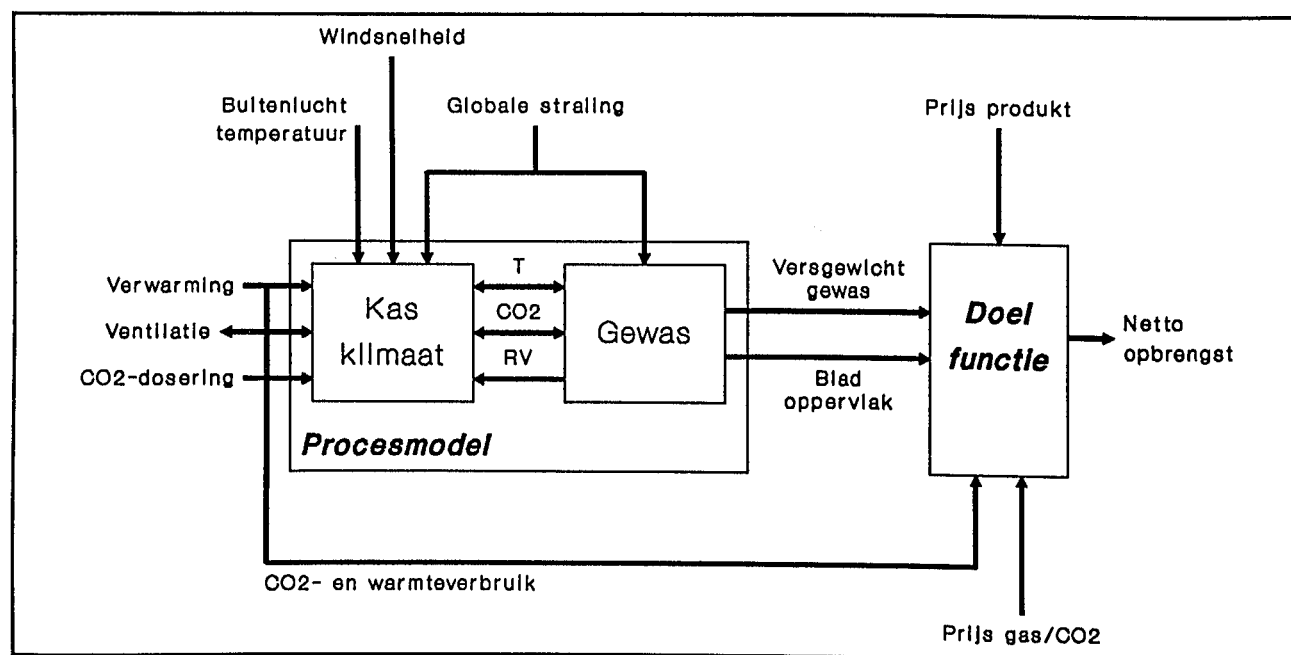
Inleiding

Het klimaat is een belangrijke factor voor de plant-aardige productie. Een onjuiste instelling heeft gevolgen voor het oogsttijdstip en de kwaliteit en kwantiteit van de productie. Anderzijds vormt het handhaven van het kasklimaat een niet te onderschatten kostenpost ten gevolge van het energieverbruik dat er onlosmakelijk mee verbonden is: tussen 10 en 15% van de totale produktiekosten in 1988 (De Veer en Begeer, 1990). De tuinder maakt gebruik van jarenlange ervaring en inzicht in het productieproces bij het regelen van het klimaat. De vraag moet aan de orde worden gesteld of de tuinder in alle gevallen de economisch optimale beslissing neemt met betrekking tot de klimaatgrootheden. Deze vraag geniet de laatste jaren een toenemende belangstelling van de glastuinbouwsector en het landbouwkundig onderzoek als gevolg van de sterker wordende concurrentie binnen Europa, de stijgende produktiekosten en strengere milieueisen van overheidswege.

Het onderzoek dat in dit artikel wordt gepresenteerd, optimalisering van het kasklimaat, is gericht op een verhoging van de efficiëntie van het productieproces. De doelstelling is het berekenen van die klimaatstrategie die het verschil tussen inkomsten en kosten maximaliseert. Dit gebeurt met behulp van wiskundige modellen van het kasklimaat en de gewasproductie. De inkomsten komen voort uit de verkoop van het geogoste produkt en de kosten zijn de uitgaven verbonden aan het handhaven van het binnenklimaat.

Het onderzoek wordt uitgevoerd in een interdisciplinair project met de titel 'Kasklimaatbesturing van de jaren '90' dat in 1988 is gestart (Bot e.a., 1988, Challa e.a., 1989). In dat project worden toepassingsmogelijkheden van wiskundige procesmodellen en heuristische modellen, die op expertkennis zijn gebaseerd, bij de kasklimaatregeling onderzocht. De snelle ontwikkelingen gedurende de laatste decennia op het gebied van computerhardware en -software alsmede het beschikbaar komen van de wiskundige procesmodellen vormen de basis voor dit onderzoek. Het gebruik van een expertsysteem bij de kas-klimaatregeling is besproken door Schotman (1989).

In dit artikel worden kort het optimaliseringsvraagstuk en de oplossing daarvan geïntroduceerd. Ter illustratie zal vervolgens een optimaliseringsexperiment met sla worden besproken. Tenslotte wordt aandacht besteed aan de toepassing van kasklimaatoptimalisering in de praktijk.



Figuur 1 - Het optimaliseringsmodel

Het optimaliseringsvraagstuk

In figuur 1 is schematisch een optimaliseringsmodel van het kasklimaat weergegeven. Het optimaliseringsmodel bevat twee componenten, te weten een procesmodel, een wiskundige beschrijving van het productieproces, en een doelfunctie, waarin de kosten-baten analyse wordt gemaakt.

Het procesmodel is onderverdeeld in twee delen, te weten het kasklimaat en het gewas. In de figuur zijn de verschillende ingangs- en uitgangsgrootheden van het productieproces aangegeven. De ingangsgrootheden zijn de grootheden die invloed op het proces uitoefenen maar zelf niet door het proces worden beïnvloed. Sommige hiervan kunnen door middel van menselijk ingrijpen worden gestuurd, zoals de warmte-input in de kas en de CO₂-dosering. Andere zijn niet te sturen zoals de globale straling, de buitenluchttemperatuur en de windsnelheid. De uitgangsgrootheden van het productieproces zijn het vers gewicht van het gewas en het bladoppervlak.

In dit onderzoek wordt er vanuit gegaan dat alleen de luchttemperatuur (T) en de CO₂-concentratie (CO₂) de gewasgroei beïnvloeden. De relatie tussen luchtvochtigheid (RV) en gewasgroei, ontegenzeggelijk belangrijk, is niet in de modellen opgenomen omdat er nog te weinig over bekend is. Dit vormt voor de nu beschreven methodiek geen belemmering. Tegen de tijd dat kennis over deze aspecten in modelvorm beschikbaar komt, kan deze op eenvoudige wijze in het optimaliseringsmodel worden opgenomen.

De gewasgroei wordt beschreven met een dynamisch model. Voor de beschrijving van het kasklimaat wordt een statisch model gebruikt.

In de doelfunctie worden de inkomsten, voortkomend uit de teelt van het gewas verminderd met de kosten, verbonden aan de realisatie van het kasklimaat. Dit resulteert in een netto-opbrengst waarin alleen de klimatiseringskosten zijn verwerkt. Aangenomen wordt dat de overige produktiekosten niet van de klimatisering afhankelijk

zijn zodat het niet noodzakelijk is ze in het optimaliseringsvraagstuk mee te nemen.

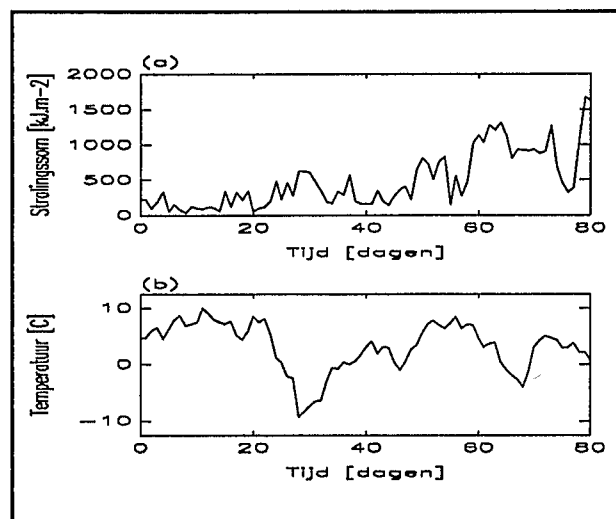
Het optimaliseringsvraagstuk luidt nu als volgt: "Vind die klimaatstrategie voor de luchttemperatuur en de CO₂-concentratie die de netto opbrengst, zoals hierboven omschreven, maximaliseert".

Dit karakteristieke dynamisch optimaliseringsvraagstuk is niet eenvoudig op te lossen. Ten behoeve van een eenvoudiger oplossing is het vraagstuk getransformeerd in een niet-lineair programmeringsprobleem dat met behulp van een numerieke zoekroutine wordt opgelost. Deze zoekt door middel van herhaalde simulatie naar die combinatie van sturingen die de hoogste netto opbrengst tot gevolg heeft.

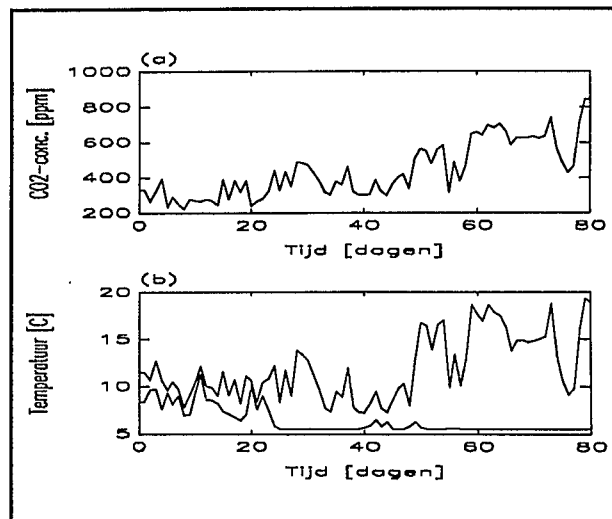
Een optimaliseringsexperiment met sla

Ter illustratie worden resultaten getoond van een optimalisering van het kasklimaat bij een slateelt. Bij dit experiment is er vanuit gegaan dat op een vast oogstijdstip een vooraf bepaald oogstgewicht van de slakrop moet worden bereikt met gebruikmaking van zo min mogelijk warmte en CO₂. Voor de eenvoud zijn in dit voorbeeld de warmte- en CO₂-productie onafhankelijk van elkaar verondersteld. Als startijdstip voor de teelt is 1 januari 1976 genomen. Het optimaliseringsvraagstuk is met volledige voorkennis van de weergegevens uit dat jaar opgelost. De teeltduur is vastgesteld op 80 dagen, een waarde die in de praktijk gebruikelijk is. Het gewenste oogstgewicht na 80 dagen is 250 gram versgewicht per krop. Voor het gewasgroeimodel van sla is uitgegaan van het werk van Sweeny (1981). Het kasklimaatmodel is gebaseerd op het werk van Bot (1983).

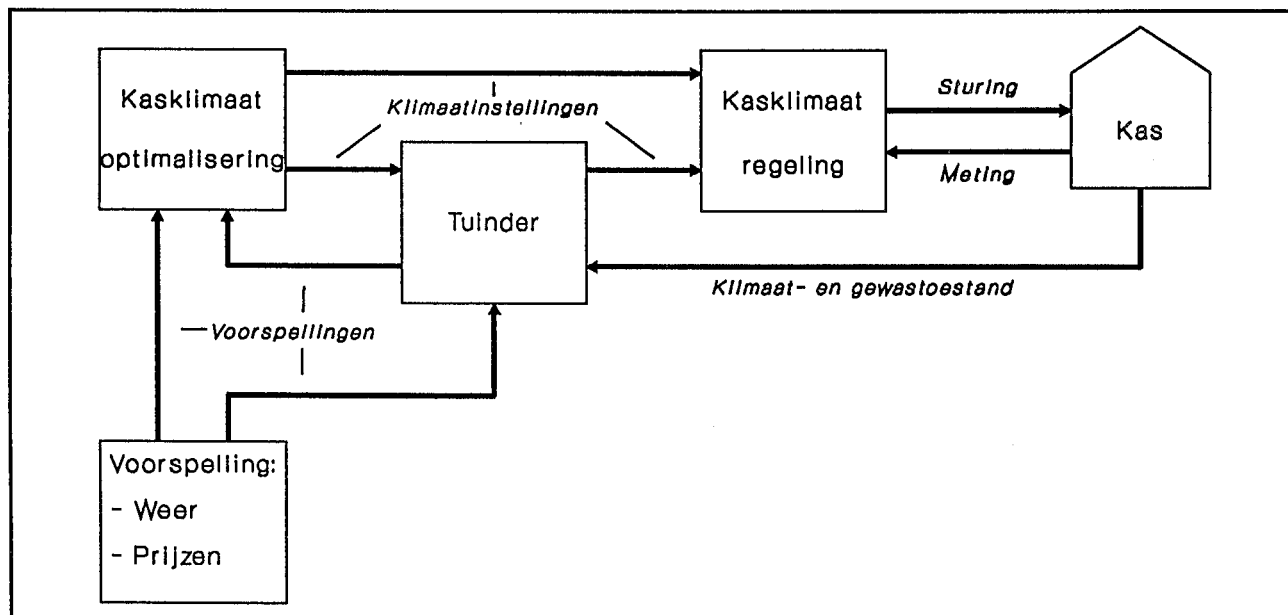
De globale stralingssom en de buitenluchttemperatuur op basis waarvan de optimale klimaatstrategieën voor respectievelijk de CO₂-concentratie, de dagtemperatuur en de nachttemperatuur zijn berekend, zijn weergegeven in figuur 2. De berekeningen zijn uitgevoerd met een Micro-



Figuur 2 - Stralingssom (a) en buitenluchttemperatuur (b) gedurende de eerste 80 dagen van 1976.



Figuur 3 - Optimale strategieën voor de CO₂-concentratie (a) en (b) de dagtemperatuur (-) resp. de nachttemperatuur (—) bij een slateelt gestart op 1 jan.



Figuur 4 - Kasklimaatoptimalisering als beslissingsondersteunend systeem.

VAX 3500. Resultaten van de optimalisering zijn weergegeven in figuur 3.

Uit de vergelijking van de figuren 2 en 3 blijkt dat de optimale waarden van de CO₂-concentratie en de dagtemperatuur gekoppeld zijn aan de lichtintensiteit. Er is geen duidelijke relatie tussen deze berekende grootheden en de buitenlucht temperatuur. De CO₂-concentratie vertoont een stijgende tendens wat samenhangt met de toenemende stralingssom en gewasomvang in de tijd. De nachttemperatuur speelt de eerste 20 dagen een rol en wordt vervolgens laaggehouden. In die laatste periode heeft een verhoging van de nachttemperatuur hogere stookkosten tot gevolg en is de invloed op de groei zichtbaar gering.

Er is een zekere mate van overeenkomst tussen de berekende temperatuur en de temperatuurstrategie die in de praktijk wordt toegepast. Daar wordt in eerste twee weken van de teelt de dag- en nachttemperatuur op 10 °C gehouden, waarna gedurende de resterende teeltperiode een nachttemperatuur van 7 °C en een dagtemperatuur van 12 °C wordt aangehouden. In dit voorbeeld blijven de dagen nachttemperatuur de eerste 20 dagen redelijk dicht bij elkaar rond 10 °C waarna de nachttemperatuur sterk daalt tot 5 °C en de dagtemperatuur stijgt rond een gemiddelde waarde van ongeveer 13 °C.

Het zou voorbarig zijn om aan deze resultaten verstrekkende conclusies te verbinden. Wel toont dit experiment aan dat met behulp van modellen en wiskundige methodiek realistische klimaatstrategieën kunnen worden berekend.

Toepassing van kasklimaatoptimalisering in de praktijk: een vooruitblik

Er zijn twee aspecten die bepalend zijn voor de inzetbaarheid van kasklimaatoptimalisering in de praktijk, namelijk:

- (1) de volledigheid en nauwkeurigheid waarmee de gebruikte modellen het werkelijke klimaat- en groeiproses beschrijven,
- (2) de voorspelbaarheid van het weer en de veilingprijzen.

Ad 1) Een model is een vereenvoudigde weergave van een deel van de werkelijkheid. De eenvoud waarmee de werkelijkheid wordt beschreven, vormt de kracht van een model. Maar eenvoud vereist dat concessies worden gedaan aan de volledigheid en de nauwkeurigheid waarmee de werkelijkheid wordt beschreven. Dit geldt evenzeer voor de kasklimaat- en gewasgroeimodellen die in dit onderzoek worden gebruikt. Het ontbreken van kwantitatieve relaties tussen luchtvochtigheid en gewasgroei in de modellen is een vorm van onvolledigheid. Van de effecten van de CO₂-concentratie en de luchttemperatuur op het gewas worden alleen de belangrijkste beschreven vanwege het ontbreken van meer gedetailleerde kwantitatieve kennis van de onderhavige processen.

Ad 2) Voor het oplossen van het optimaliseringsvraagstuk is voorkennis vereist van het weer gedurende het optimaliseringsinterval en de veilingprijzen op het oogsttijdstip. Korte termijn voorkennis van de ontwikkelingen in het weer kan worden verkregen uit de gangbare weervoorspelling. Lange termijn weervoorspellingen vormen echter een probleem. Een zekere mate van voorkennis over de lange termijn ontwikkelingen in het buitenklimaat kan worden verkregen door van deze

grootheden langjarige gemiddelden te bepalen en deze bij de optimalisering te gebruiken. Hetzelfde geldt voor de veilingprijs die voor het geteelde produkt wordt verkregen. In wezen is er sprake van een stochastisch optimaliseringsvraagstuk waarbij rekening wordt gehouden met de onzekerheid in deze grootheden.

Als gevolg van lacunes in de modelkennis en de matige voorspelbaarheid van een aantal belangrijke factoren lijkt het inzetten van kasklimaatoptimalisering als volledig autonoom procesbesturingssysteem op dit moment niet aanbevelenswaardig. De in dit onderzoek gebruikte procesmodellen vormen echter een bron van informatie die een belangrijke rol kan spelen bij het nemen van beslissingen over het kasklimaat. Eerder wordt daarom gedacht aan toepassing in de vorm van een beslissingsondersteunend

systeem. Hiervan is in figuur 4 een relatiediagram weergegeven.

Het beslissingsondersteunend systeem moet worden voorzien van

informatie over de stand van het gewas en voorspellingen van de veilingprijzen en het weer. Dit is een taak van de tuinder of kan automatisch geschieden met behulp van de elektronische media die nu reeds in de tuinbouw in gebruik zijn. Vervolgens worden door het beslissingsondersteunend systeem optimale klimaatwaarden berekend. Deze kunnen door de tuinder worden gebruikt bij het instellen van het kasklimaat. Het is ook mogelijk deze waarden direct naar de klimaatcomputer door te sluisen, die er voor zorgt dat het berekende klimaat wordt gerealiseerd.

Een actieve betrokkenheid van de tuinder bij het beslissingsproces blijft echter noodzakelijk. De ervaring van de tuinder is nodig op het moment dat teeltaspecten die niet in de modellen zijn verwerkt een rol spelen bij het bepalen van het klimaat. Ook ten aanzien van bijvoorbeeld de ontwikkelingen in de veilingprijzen komt het inzicht van de tuinder goed van pas. Dit aspect is niet eenvoudig in een model te beschrijven en er bestaan tussen tuinders onderling verschillen ten aanzien van de bereidheid risico's te nemen met een teelt.

Lacunae in modelkennis kunnen ook worden opgevangen door het optimaliseringsstelsel te combineren met een expertsysteem waarin ervaringsfeiten van de expert, de tuinder zijn verwerkt. Naar verwachting zal het expertsysteem aan kunnen geven binnen welke grenzen het kasklimaat moet worden gehouden, voor het beste resultaat. Vervolgens kan het optimaliseringsstelsel zoals door Schotman (1989) aangegeven binnen deze grenzen naar de optimale waarden zoeken.

Kasklimaatoptimalisering past gezien vanuit het oogpunt van de hiervoor benodigde hardware goed binnen de ontwikkelingen op automatiseringsgebied in de glastuinbouw. Naast de klimaatcomputer en de substraatcomputer beschikt een toenemend aantal tuinders over een PC waarmee bedrijfsgegevens worden geregistreerd en verwerkt. Het is de bedoeling de hier beschreven kasklimaatoptimalisering verder te ontwikkelen voor een PC die past in de structuur van het geautomatiseerde bedrijfsbeheer dat nu al op een groot aantal glastuinbouwbedrijven wordt toegepast. De gebruikte PC zal wel over een behoorlijke reken capaciteit moeten beschikken. Maar gezien de snelle verbeteringen in de prijs-prestatie verhouding komen deze machines

binnen een aantal jaren in het bereik van de tuinbouwpraktijk.

Referenties

Bot, G.P.A., 1983. *Greenhouse climate: from physical processes to a dynamical model*. Dissertatie, Landbouwuniversiteit, Wageningen, 240 p.

Bot, G.P.A., Braak, N.J. van de, Challa, H., Nederhoff, E.M., 1988. *Werkgroep Kasklimaatbesturing van de jaren '90*. Project voorstel.

Challa, H., Bot, G.P.A., Nederhoff, E.M., Braak, N.J. van de, 1989. *Greenhouse climate control in the nineties*. Acta Horticulturae, nr. 230: 459-470.

Schotman, P.J., 1989. *Ondersteuning en optimalisering van de kasklimaatregeling van de tomatenteelt op lange termijn met behulp van een expertsysteem*. VIAS Nieuwsbrief, jr. 2, nr. 3: 19-22.

Sweeny, D.G., Hand, D.W., Slack, G., Thornley, J.H.M., 1981. *Modelling the growth of winter lettuce*. In: Rose, D.A., Charles-Edwards, D.A. (eds.). *Mathematics and plant physiology*. Academic Press, New York.

Veer, J. de, Begeer, W., 1990. *Tuinbouwcijfers 1990*. LEI, Den Haag, CBS, Voorburg. 154 p. □

Ir. E.J. van Henten is werkzaam bij de Landbouwuniversiteit, Vakgroep Agrotechniek en -fysica, Sectie Meet-, Regel- en Systeemtechniek en gedetacheerd bij het Instituut voor Mechanisatie Arbeid en Gebouwen, afdeling Procestechiek (IMAG, Postbus 43, 6700 AA Wageningen, Tel.: 08370-76483, Fax: 08370-25670)