

IT-ondersteuning voor management van de gewasproductie in kassen

Peter Schotman

Vakgroep Tuinbouwplantenteelt / Vakgroep Informatica

Landbouwuniversiteit Wageningen

p/o Dreijenplein 2, 6703 HB Wageningen

E-mail: Peter.Schotman@users.info.wau.nl, Tel: 08370-84724, Fax: 08370-84731

Referaat

In deze bijdrage is het ontwerp van een beslissingsondersteunend systeem voor de ondersteuning van het management van de gewasproductie geschetst. Bij de totstandkoming van dit ontwerp is extra aandacht besteed aan de analyse van het probleem van de tuinder. Doelgerichtheid en integratie van activiteiten behorende tot verschillende managementklassen zijn de belangrijkste kenmerken van dit systeemontwerp. Het systeem maakt gebruik van "constraint satisfaction" omdat deze techniek goed aan te passen is aan de eigenschappen van het probleem.

Trefwoorden: constraint satisfaction, kunstmatige intelligentie, klimaatbesturing, procesbesturing, glastuinbouw

Introductie

De beschermde teelt in kassen is ontstaan doordat de mens ontdekte dat beïnvloeding van de omgeving van het gewas een positieve invloed had op het produkt of het produktieproces. Tegenwoordig geldt dit nog steeds. De positieve invloed van de produktie van gewassen in kassen kan uitgedrukt worden in vier (rationele) attributen: kwantiteit, kwaliteit, timing en kosten, daarnaast spelen wat minder grijpbare zaken zoals bijvoorbeeld afbreukrisico en arbeidsvreugde een rol. Het relatieve belang van de bovenstaande attributen verschilt van teelt tot teelt. Zo is 'timing' bij de teelt van rozen van veel groter belang dan bij de teelt van tomaten omdat de produktprijs op dagen als Valentijnsdag duidelijke uitschieters naar boven vertoont.

De hedendaagse tuinder heeft door mechanisering en automatisering een uitgebreid arsenaal van mogelijkheden om het produktieproces in de kas en daarmee de eigenschappen van het uiteindelijke produkt te sturen. In een artikel van medewerkers van de firma Priva b.v. kunt u lezen wat dit betekent voor de huidige manier van sturen. In dit artikel zal het ontwerp van een beslissingsondersteunend systeem voor de ondersteuning van het management van de gewasproductie geschetst worden. Dit systeem maakt gebruik van constraint satisfaction (voor uitleg zie paragraaf 3.2.2), een geavanceerde techniek uit de informatie-technologie (IT) die in andere probleemdomeneinen reeds met succes is toegepast. De teelt van tomaten zal als voor-

beeld worden genomen en er zullen, berekend vanuit de doelstellingen van een tuinder, enkele aspecten van deze ondersteuning worden uitgewerkt.

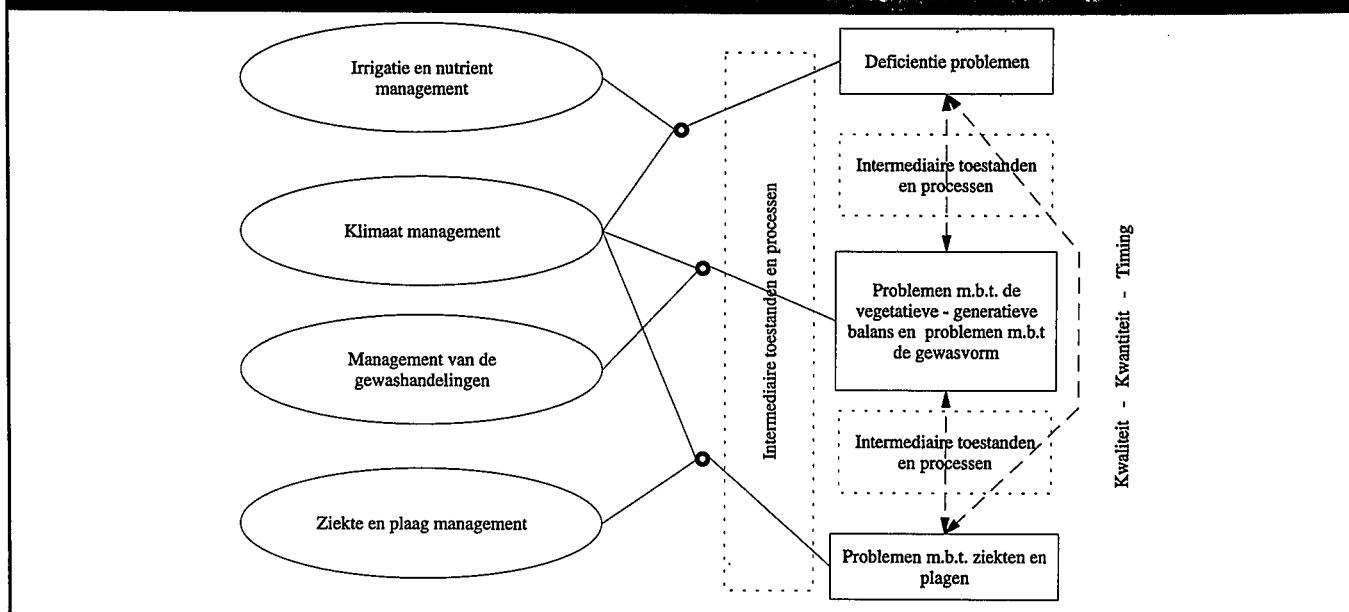
Probleemanalyse

Management

Management op tuinbouwbedrijven wordt in het algemeen opgedeeld in strategisch, tactisch en operationeel management (bijv. Challa en v. Straten, 1993). Deze indeling is gebaseerd op de invloed van de beslissingen op de respectievelijke managementniveau's in de tijd. In dit artikel wordt alleen het operationele niveau beschouwd; op dit niveau spelen de dagelijkse beslissingen die de tuinder neemt om de groei en produktie van zijn gewas zo optimaal mogelijk te laten verlopen. Deze beslissingen zijn noodzakelijk om zo goed mogelijk in te spelen op de onzekerheid in het systeem en zijn omgeving. Was deze onzekerheid er niet dan zou het geheel van activiteiten vooraf bepaald kunnen worden in de vorm van een blauwdruk. In de praktijk verlopen een aantal van de activiteiten van de tuinder volgens zo'n blauwdruk, bijvoorbeeld bladplukken. Hiervoor zijn een aantal redenen te geven; sommigen hebben te maken met onzekerheid, anderen hebben te maken met niet gewasgerelateerde redenen, zoals de wens van een gelijkmatige arbeidsfilm.

Soms wordt nog een vierde managementniveau onderscheiden, namelijk dat van de momentane sturingen van de regelsyste-

Figuur 1 - De vier vormen van management gerelateerd aan mogelijke probleemklassen in het gewas.



agro informatica 8(4) / oktober 1995

men in de kas. Dit wordt hier niet gedaan omdat gemeend wordt dat deze beslissingen direct dienen te volgen uit de operationele beslissingen van de tuinder.

Mogelijkheden voor beïnvloeding van de omgeving van het gewas

De tuinder heeft tijdens het teeltseizoen vier verschillende mogelijkheden om de groei, ontwikkeling en toestand van zijn gewas in de kas te beïnvloeden (zie figuur 1).

De activiteiten die het gevolg zijn van de beslissingen binnen de verschillende managementklassen kunnen zowel de toestand van het gewas als de snelheid van de verschillende processen in het gewas beïnvloeden. Activiteiten t.a.v. klimaatmanagement, en irrigatie- en nutriëntmanagement worden veelal uitgedrukt in een *setpoint* dat het betreffende regelsysteem moet realiseren. Het setpoint is zodoende een afgeleid doel dat gebruikt wordt om een bepaalde (omgevings)toestand te realiseren.

In het kas-gewas systeem heeft de tuinder te maken met snelle en langzame processen, zo is het opwarmen van de kaslucht als gevolg van een toename van de globale straling een snel proces en is de ontwikkeling van de bladmassa van het gewas als gevolg van het beschikbaar hebben van suikers een traag proces. De acties van de

regelsystemen, de activiteiten van de tuinder in de kas en de voortdurend variërende maar niet-beïnvloedbare omgevingsfactoren resulteren in een continu veranderende omgeving van het gewas. Deze omgeving zal vervolgens processen in het gewas en als gevolg daarvan de toestand van het gewas beïnvloeden. Zo zal bijvoorbeeld het sluiten van de luchtramen in het algemeen leiden tot een verhoging van de luchtvochtigheid en zal een afname van de globale straling in het algemeen resulteren in een afname van de gewastranspiratie. Problemen kunnen gezien worden als (onwenselijke) kenmerken van het gewas; de processen die ten grondslag liggen aan de problemen zijn relatief traag.

Attributen van het gewas worden (gelijktijdig) beïnvloed door meerdere activiteiten (of hiervan afgeleide omgevingsveranderingen) behorende tot de verschillende managementklassen (figuur 1). Geredeneerd vanuit een bepaald doel betekent dit dat om een doel te realiseren deze interactie (en de relatieve invloedsgrootte van de activiteiten) expliciet in acht moet worden genomen, zeker indien de onderliggende processen ongeveer dezelfde tijdconstante hebben. Deze interactie zal in het voorgestelde management ondersteunende systeem expliciet worden meegenomen, in de huidige generatie systemen is dit nog nauwelijks het geval.

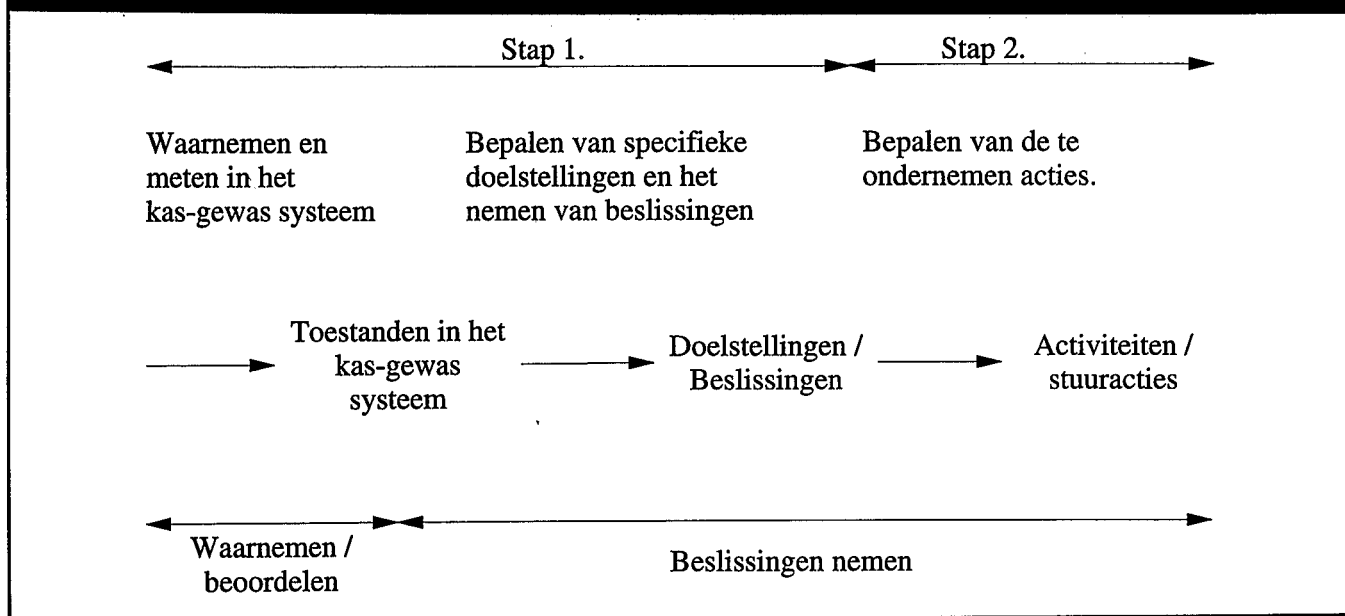
Doelstellingen en werkwijze van de tuinder

Figuur 1 geeft aan dat klimaatmanagement een belangrijke rol speelt in het voorkomen van problemen. In figuur 2 is de werkwijze van de tuinder en de interactie tussen de tuinder en zijn klimaatbesturingssysteem uitgewerkt. Stap 1 bestaat uit de activiteiten van de tuinder en stap 2 die van het klimaatbesturingssysteem. Wat opvalt is dat het huidige klimaatbesturingssysteem beslissingen neemt, het systeem heeft in de loop der tijd beslissingen (t.a.v. wanneer de ramen of de verwarmingsklep te openen) overgenomen van de tuinder. De tuinder heeft dit volledig geaccepteerd en zich aangeleerd zichzelf uit te drukken in termen van setpoints voor het klimaat- en het irrigatie- en nutriëntmanagement.

1. Waarnemen van veranderingen

De tuinder neemt de toestand van het kas-gewas systeem waar d.m.v. meetsensoren en (visuele) observatie. Veranderingen in de toestand van het gewas (behoudens de relatief weinig voorkomende extremen) zijn meestal niet direct zichtbaar, omdat deze veranderingen langzaam plaatsvinden. Uit interviews met een tuinder is gebleken dat doelgerichte veranderingen pas na enkele dagen waar te nemen zijn. Vanwege deze onzekerheid in het systeem heeft de tuinder deels een reactieve werkwijze.

Figuur 2 - Activiteiten in het kas-gewas systeem



2. Doelstellingen en beslissingen

De tuinder zou als hij bovenstaand activiteitenmodel doorloopt zich de volgende vragen kunnen stellen: Wat is de toestand van mijn gewas? Is dit de gewenste toestand? Zo niet, wat is de gewenste toestand en welke processen moet ik beïnvloeden om daar te komen? Hoe moet ik deze gewenste processnelheidsveranderingen realiseren? Welke omgevingsveranderingen/setpoints realiseren deze gewenste processnelheidsveranderingen het best?

De kunst voor de tuinder is:

- 1 De juiste waarnemingen te doen en de juiste gewenste toestand van zijn gewas voor ogen te hebben;
- 2 De juiste processen te kiezen en bepalen van de mate waarin deze processen verandering behoeven;
- 3 De juiste vertaling naar omgevingsveranderingen te maken, daarbij rekening houdend met het verwachte weer.

De rol van informatietechnologie (IT)

Informatietechnologie zou de tuinder kunnen ondersteunen door m.b.v. modelsimulaties de tuinder van informatie te voorzien die nu niet of moeilijk aan het gewas of aan de data van klimaat- of voedingscomputers zijn waar te nemen. Deze vorm van ondersteuning is in principe nu al mogelijk, problemen bevinden zich nog

op het vlak van de (on-line) modelcalibratie.

Een andere mogelijkheid die in dit artikel verder zal worden uitgewerkt is de ondersteuning van de vertaling van de - hogere orde - doelstellingen/beslissingen op gewasprocesniveau naar afgeleide setpoints op het klimaat- of sturingsniveau.

Prototype beslissingsondersteunend systeem

In deze paragraaf zal een beschrijving worden gegeven van een prototype van een kennisgebaseerd beslissingsondersteunend systeem dat de tuinder helpt in het vertalen van zijn doelstellingen naar acties welke door één van de regelsystemen kunnen worden uitgevoerd. In de huidige fase van het onderzoek is nog niet bekend of deze vertaling zal resulteren in setpoints, directe stuurwaarden of begrenzingen voor een optimaliserend systeem. Voor een voorbeeld van zo'n optimaliserend systeem wordt verwezen naar van Henten (1994). Eerdere pogingen op het gebied van beslissingsondersteuning in de klimaatbesturing zijn beschreven in Martin-Clouaire et al. (1994); in Fynn et al. (1989) wordt een kennisgebaseerd systeem beschreven voor het management van de nutriënthouding.

Karakteristieken van het ontwerp

Het ontwerp voor een nieuw beslissingsondersteunend systeem verschilt t.o.v. de huidige systemen op twee belangrijke punten, namelijk:

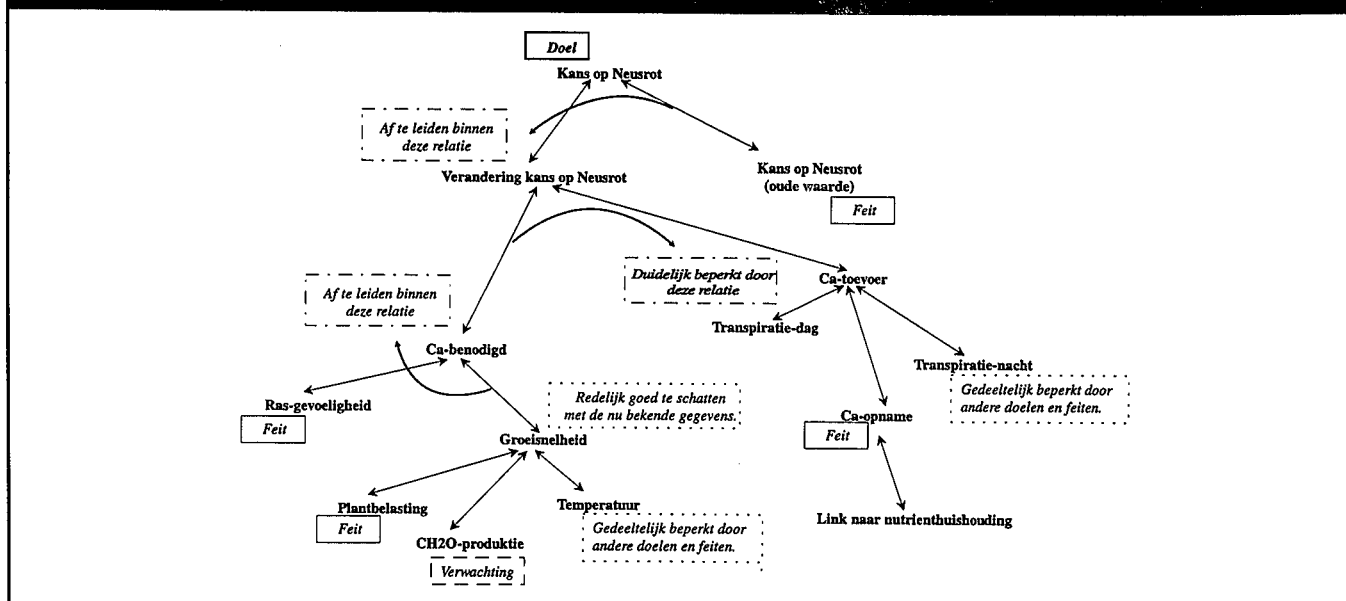
- 1 doelgerichtheid;
- 2 integratie van de acties behorende tot de verschillende managementklassen.

Daarnaast zijn er een aantal andere kenmerken waar te nemen zoals: expliciet omgaan met onzekerheden, inschatting van de haalbaarheid van de doelstellingen, etc.. Deze zijn echter gedeeltelijk af te leiden uit bovenstaande verschillen.

1. Doelgerichte managementondersteuning

De doelgerichtheid van het systeem houdt in dat de doelen/beslissingen van de tuinder centraal worden gesteld. Uit de combinatie van zijn doelstellingen worden m.b.v. domeinkennis acties afgeleid. Een voorbeeld van deze werkwijze is weergegeven in figuur 3. Deze figuur geeft een gedeelte van het constraint netwerk (hierover later meer) op het dagniveau weer. De tuinder bepaalt zijn doel voor het probleem van Neusrot door het gewenste domein (= doel-constraint: een constraint m.b.t. een doel) voor de variabele "Kans op Neusrot" aan te geven. Dit gewenste domein wordt gecombineerd met andere doelen, de huidige waarde van de overige

Figuur 3 - Invoer van een gewenste domein voor de variabele "kans op Neusrot" en de gevolgen voor de variabele "transpiratie-dag".



agro informatica 8(4) / oktober 1995

variabelen, en de verwachting voor de niet-beïnvloedbare omgevingsvariabelen. Via de relaties in het constraint netwerk worden waarden (gereduceerde domeinen) voor alle (andere) variabelen afgeleid. In figuur 3 is aangegeven dat op deze wijze de domeinen van de variabelen "Calcium-toevoer" en "Transpiratie-dag" gereduceerd worden. Uit het gereduceerde domein voor de variabele "Transpiratie-dag" kunnen gelijktijdig en op overeenkomstige wijze gereduceerde domeinen voor variabelen op het klimaatniveau worden afgeleid.

2. Integratie van de acties behorende tot de verschillende managementklassen.

Door de combinatie van doelgeoriënteerd werken en de beschikbaarheid van modellen die variabelen bevatten die beïnvloed worden door acties uit verschillende managementklassen, wordt een koppeling tot stand gebracht tussen deze managementklassen. In figuur 3 komt de variabele "Calcium-toevoer" voor, deze variabele vormt een verbinding tussen klimaat- en nutriëntmanagement. De calciumtoevoer naar de top van de plant hangt zowel af van de calciumconcentratie in het xyleemvocht als van de hoeveelheid water die naar de top van de plant getransporteerd wordt. De eerste variabele wordt bepaald door het calciumopname-proces in het wortelmilieu, de tweede variabele wordt

voornamelijk gestuurd door de transpiratie van de bladeren.

Eén van de voordelen van deze directe sturing op gewaskarakteristieken is een verwachte efficiëntie-winst omdat het stringent handhaven van een setpointwaarde voor een klimaatvariabele (bijvoorbeeld luchtvochtigheid) niet perse meer nodig is. Onze domeinkennis is echter niet compleet zodat deze wijze van sturen niet voor alle gewassenmerken mogelijk is. De techniek van "constraint reasoning" maakt het echter mogelijk om deze sturing op het gewasniveau te combineren met de sturing op het klimaatniveau. In deze benadering zijn de doelstellingen (doel-constraints) op het gewasniveau in principe van even groot belang als de doel-constraints op het klimaatniveau. Constraint reasoning heeft ten opzichte van hierarchische optimalisatie technieken het voordeel dat een gebrek aan domeinkennis op gewasniveau minder doorslaggevend is voor de toepassingsmogelijkheden van de techniek.

Redeneren, kennisrepresentatie en implementatie

Domeinkennis

De kennis binnen het systeem bestaat uit veelal mechanistische relaties afkomstig uit wetenschappelijk onderzoek. Verschillende modellen die processen zo-

als fotosynthese, transpiratie, groei en drogestofverdeling beschrijven, zijn geïmplementeerd. Daarnaast zijn modellen van de problemen Neusrot en Botrytis (naar Kerssies, 1994) ontwikkeld en geïmplementeerd.

Constraint reasoning

Constraint reasoning zou vertaald kunnen worden als "het redeneren met beperkingen"; de term beperking moet hierbij breed worden opgevat: het kan gezien worden als een bewering tussen objecten met hun eigenschappen of tussen object-eigenschappen en de waarden van deze object-eigenschappen (bijvoorbeeld: "Piet is langer dan Klaas" en "Klaas is 1 meter 96 lang" leidt m.b.v. constraint reasoning tot de conclusie dat de lengte van Piet minimaal 1 meter 97 moet zijn).

Constraint reasoning of constraint satisfaction is een techniek die tot doel heeft een zodanige waardetoekening voor de variabelen te vinden zodat aan alle constraints gelijktijdig is voldaan. De domeinkennis is geïmplementeerd in de vorm van relaties (relatie-constraints) tussen variabelen; het geheel van relaties vormt het constraint netwerk. Deze constraints kunnen zowel wiskundige vergelijkingen als kwalitatieve database-achtige tupels zijn. Door gebruik te maken van object oriëntatie bleek het mogelijk op een geïntegreerde wijze met kwantitatieve en kwalitatieve

Figuur 4 - Interval constraint voor de fotosynthese.

Interval-constraint

- name **photosynthesis**
- importance **1**
- constraint-function **$0.18 * LAI - 0.78 + 11.9 * CO_2 / (CO_2 + 221) * I_o / (I_o + 577)$**
- variable **phot hour-n**
- argument-variables **phot hour-n, LAI_{day}, CO₂ hour-n, I_o hour-n,**

kennis te redeneren. Een op deze wijze geïmplementeerd gewasgroei-model zal in het algemeen bestaan uit een set van meerdere constraints. Figuur 4 geeft een voorbeeld van een numerieke constraint die een zeer eenvoudig fotosynthese model beschrijft. Dit constraint-object beschrijft een directionele constraint welke het domein van de variabele *Phot_{hour-n}* beperkt.

De integratie tussen snelle en langzame processen is gerealiseerd door de variabelen gedefinieerd binnen de verschillende tijdschalen door middel van accumulatie en gemiddelde constraints te koppelen (Schotman, 1995). Redeneren vindt plaats met behulp van aangepaste domeinreductie- en zoektechnieken (zie bijvoorbeeld Tsang, 1993 of Hyvönen, 1992).

Het prototype is geïmplementeerd in CLOS dit is een object-georiënteerde programmeertaal gebaseerd op LISP. De eerste simulatieresultaten zijn beschreven in Schotman (1995).

Afsluitende opmerkingen

In dit artikel is op basis van een probleem-analyse een redenerend systeem beschreven dat de tuinder kan assisteren bij zijn gewasproductie-management. De probleem-analyse heeft extra aandacht gekregen omdat deze fase in andere pogingen

(Martin-Clouaire et al., 1994) vaak onvoldoende aanwezig bleek. Onvoldoende kennis van het werkelijke probleem leidt vaak tot technisch fraaie systemen die de boer of tuinder helaas niet bereiken, of het hierboven beschreven systeem een betere toekomst vergund is, kan op dit moment nog niet uitgemaakt worden.

Een van de kritieke succesfactoren voor introductie van een ander besturingsconcept is de mate waarin de tuinder zijn huidige werkwijze geleidelijk kan aanpassen aan de mogelijkheden van het nieuwe systeem. Het beschreven concept voldoet hieraan omdat de tuinder de mogelijkheid heeft al één constraint te plaatsen op de klimaatvariabelen.

Referenties

Challa, H. and G. van Straten, 1993.

Optimal diurnal climate control in greenhouses as related to greenhouse management and crop requirements. In: *The computerized greenhouse: automatic control application in plant production*. Eds: Hashimoto Y., G. Bot, W. Day, H.J. Tantau and H. Nonami, Academic Press, New York, pg. 119-137.

Fynn, R. P., W.L. Roller and H.M. Keener, 1989.

A decision model for nutrient management in controlled environment agriculture. *Agricultural Systems*, 31, pg 35-53.

Henten, E.J. van, 1994.

Greenhouse climate control: an optimal control. PhD dissertation Wageningen Agricultural University, The Netherlands.

Hyvönen, E., 1992.

Constraint reasoning based on interval arithmetic: the tolerance propagation approach. *Artificial Intelligence*, 58, pg 71-112.

Kerssies, A., 1994.

Epidemiology of Botrytis spotting on gerbera and rose flowers grown under glass. PhD dissertation Wageningen Agricultural University, The Netherlands.

Martin-Clouaire, R., P.J. Schotman and M.

Tchamitchian, 1994.

A survey of computer-based approaches for greenhouse climate management. IFAC/ISHS second international workshop on: *Mathematical and control applications in agriculture and horticulture*. Silsoe, UK, 12-15 September 1994. (Acta Horticulturae in press.)

Schotman, P.J., 1995.

Constraint reasoning based on interval arithmetic in a hierarchical time structure: an application in greenhouse production management. In preprints of IFAC/IFIP/EurAgEng second workshop on: *Artificial intelligence in agriculture*. pg 189-194.

Tsang, E., 1993.

Foundations of constraint satisfaction. Academic Press, London, UK.