

R
—
09
B
77

192019

**WERKGROEP
KASKLIMAATBESTURING
VAN DE JAREN '90**

Samenstellers:

G.P.A. Bot, N.J. van de Braak, H. Challa, E.M. Nederhoff

- 3 februari 1988 -



INHOUDSOPGAVE

VOORWOORD	2
ALGEMENE INLEIDING	3
Probleemstelling	3
Doelstelling	3
Motivering	3
Werkwijze	4
Organisatie	4
Internationale samenwerking	5
Opdrachten van derden	5
DEELWERKGROEP "SIMULATIE KASKLIMAAT" (GROEIOMSTANDIGHEDEN)	6
Inleiding	6
Doelstelling	6
Overzicht	6
Modelaanpassingen	7
Benodigd onderzoek	7
DEELWERKGROEP "SIMULATIE GEWASRESPONS-KASKLIMAAT"	8
Inleiding	8
Doelstelling	8
Overzicht	8
Benodigd onderzoek	9
DEELWERKGROEP "TEELT"	10
Inleiding	10
Doelstelling	10
Overzicht	10
Benodigd onderzoek	11
DEELWERKGROEP "INTEGRATIE"	12
Inleiding	12
Doelstelling	12
Overzicht	12
Benodigd onderzoek	13
LITERATUUR	14
BIJLAGEN	15
Bijlage 1.: Tijdschema in grote lijnen	15
Bijlage 2.: Direct betrokken projecten/onderzoekers	16
Bijlage 3: overzicht deelprojecten	17
Bijlage 4: knelpunten	18

VOORWOORD

Voor u ligt een beschrijving van een multi-disciplinair project waarin de optimalisering van de klimaatbesturing volgens een geheel nieuw concept wordt aangevat. Het doel van deze projectbeschrijving is de werkwijze globaal weer te geven en de benodigde inbreng vanuit verschillende disciplines en instellingen aan te geven. Juist in een tijd van inkrimping is het belangrijk in een dergelijk project met een afhankelijkheid van een groot aantal onderzoekers en onderzoeksinstellingen deze inbreng vast te leggen teneinde deze voor de loopduur van het project veilig te stellen. Bovendien is het in een project van deze omvang noodzakelijk de verantwoordelijkheden over en weer te regelen teneinde tot een goede onderlinge afstemming te komen: de delen van het project zijn onderling sterk van elkaar afhankelijk en het gevaar zou anders kunnen bestaan dat onderdelen niet op elkaar aansluiten of elkaar op ongewenste wijze zouden overlappen.

De opbouw van deze beschrijving is als volgt. Eerst wordt in een algemene inleiding de gevolgde benadering in grote lijnen geschetst. Vervolgens wordt aangegeven hoe de organisatie van het project is opgezet. Hierbij is het totale project opgedeeld in een viertal deelprojecten, die in de volgende hoofdstukken nader zijn omschreven. Per deelproject is voorts aangegeven welke inbreng van welke onderzoekers van welke instellingen hierbij noodzakelijk is alsmede de knelpunten waarvoor nog extra mankracht en/of faciliteiten noodzakelijk zijn. In de bijlagen wordt hiervan een totaal overzicht gegeven en is tevens een tijdsplanning van het project opgenomen.

De samenstellers, 3 februari 1988

ALGEMENE INLEIDING

Probleemstelling

In tegenstelling tot vollegrondsteelten, biedt de teelt in kassen veel mogelijkheden tot het besturen van de omgeving van de plant, met inbegrip van het wortelmilieu. Deze manipuleerbaarheid leidt, met name wanneer hierbij ook het kostenaspect wordt betrokken, tot de vraagstelling welke de beste (optimale) behandeling is. Dit probleem is met de traditionele (vooral empirische) onderzoeksbenadering moeilijk op te lossen aangezien er een grote discrepantie bestaat tussen de tijdstappen waarbinnen het klimaat dient te worden geregeld en die waarbinnen de relevante gewasreacties (groei, bloei, ontwikkeling, productie) zichtbaar kunnen worden gemaakt.

Tot op heden geschiedt de klimaatbesturing hoofdzakelijk op basis van teelt-ervaring en empirisch onderzoek. Voor het optimaliseren van de klimaatbesturing is deze basis echter ontoereikend. Thans komt real-time optimalisering binnen het bereik, als gevolg van de snelle ontwikkelingen in de computertechnologie en door het beschikbaar komen van kwantitatieve modellen van fysische en biologische processen. Om het totale systeem bestaande uit kas en gewas te kunnen optimaliseren moeten de doelstellingen en de randvoorwaarden expliciet worden geformuleerd. Vervolgens kan dan op basis van modelvoorspellingen met behulp van wiskundige optimaliseringstechnieken de optimale behandeling worden berekend (Challa en Schapendonk, 1986, Udink ten Cate, 1984).

Afbakening probleemveld

Er dient onderscheid te worden gemaakt tussen de volgende beslissingsniveaus:

- de regeling in engere zin (realiseren van set-points).
- het bepalen van set-points met behulp van optimalisering, waarbij, binnen het door het teeltsysteem gestelde randvoorwaarden, kosten en opbrengstverwachtingen bij de op dat moment heersende omstandigheden worden afgewogen (operationele beslissingen).
- de planning op middellange (weken) en langere termijn (geheel teeltseizoen: tactische beslissingen).

Voor toepassing op het laatst genoemde beslissingsniveau zijn andere modellen nodig dan voor de twee eerst genoemde. In het kader van deze werkgroep wordt bij optimalisering vooral aandacht besteed aan de problematiek van korte-termijn beslissingen, de operationele beslissingen. Deze kunnen echter niet los worden gezien van de tactische planning: de uit de tactische planning voortvloeiende streefwaarden voor met name de temperatuur zullen bij de operationele planning mede in beschouwing dienen te worden genomen. Het project sluit nauw aan bij het VF¹⁾ projectvoorstel "Decision support systems in de Akker- en Tuinbouw" van de Landbouwuniversiteit (thans project IB 87.03). In dat project wordt aandacht besteed aan de operationele-, tactische- en strategische beslissingen op akker- en tuinbouwbedrijven die uiteindelijk weer het kader vormen waarbinnen de klimaatbesturing dient te worden ingepast.

Doelstelling

Het ontwikkelen van een optimale klimaatbesturing ten behoeve van de kasteelt, gebaseerd op fysiologische, teeltkundige, fysische en systeemtechnische kennis.

Motivering

Dankzij de toepassing van fundamentele kennis op het gebied van plantenfysiologie, fysica en techniek zal een optimale en flexibelere besturing van het kasklimaat mogelijk worden. Hierdoor zal de teler in de toekomst zijn doelstellingen op efficiëntere wijze (maximaliseren verschil opbrengsten-kosten) kunnen bereiken. Belangrijk is daarbij dat niet met recepten wordt gewerkt, maar dat op basis van actuele informatie van het bedrijf, de tuinder, de markt, en van kostprijzen beslissingen kunnen worden genomen. Een tweede voordeel is dat langs deze weg op den duur ook een koppeling tot stand kan worden gebracht met de besluitvorming op tactisch en strategisch niveau. De open structuur van de toegepaste modeltechniek bevordert bovendien een continue instroom van nieuwe kennis vanuit de ondersteunende wetenschapsgebieden, hetgeen sterk stimulerend en richtinggevend zal werken in de betreffende onderzoeksgebieden.

¹⁾voorwaardelijke financiering, dwz. beschermd onderzoek van de Landbouwuniversiteit

Werkwijze

Om het totale systeem van de kas met het gewas te kunnen optimaliseren is het allereerst noodzakelijk een kwantitatieve beschrijving te maken van het gehele systeem met zijn relaties met de buitenwereld. Hierbij komen aan de orde:

- deelmodellen voor het fysische gedrag van de kas en het gewas (inclusief het regelgedrag)
- deelmodellen voor het gedrag van het gewas (fysiologisch en teeltkundig)
- deelmodellen voor het uitvoeren van economische voorspellingen

Op basis van deze deelmodellen kan vervolgens een beslissingsmodel worden opgesteld waarmee met behulp van optimaliseringstechnieken een optimale kasklimaatbesturing kan worden nagestreefd. Het deelmodel voor het uitvoeren van economische voorspellingen zal in eerste instantie nog niet worden uitgewerkt. Voorlopig zal met het gemiddelde jaarverloop van de veilingprijzen worden gebruikt voor de schatting van de prijs dat het produkt op de veiling zal opbrengen. Later zal dit onderdeel kunnen worden verfijnd.

Beslissingen zullen moeten worden genomen op basis van de doelstellingen van de tuinder, rekening houdend met teeltkundige en technische begrenzingen en het gedeeltelijk stochastisch karakter van de verschijnselen. Bekeken zal moeten worden hoe één en ander kan worden geïmplementeerd in een klimaatregelalgoritme en hoe deze benadering door de computer-, cq. softwareleveranciers voor de glastuinbouw kan worden gebruikt in hun systemen.

Teneinde een integrale aanpak binnen een redelijke termijn te kunnen realiseren zal het nodig zijn aanvankelijk een keuze te maken voor een gewas of een beperkte groep van gewassen. Het uitbreiden van het te ontwikkelen systeem naar andere gewassen zal, dankzij de modulaire en universele aanpak, mogelijk zijn. De keuze is in eerste instantie gevallen op komkommer, tomaat en een nader te specificeren potplant aangezien dit belangrijke gewassen zijn waarover reeds veel bekend is. Veel modules van de gewasmodellen, met name die, welke de fysische en fysiologische basisprocessen betreffen, zijn echter geldig voor een veel breder spectrum van gewassen.

In verband met de complexiteit van het onderwerp wordt gekozen voor een strategie, waarbij de nog in ontwikkeling zijnde deelmodellen in een zo vroeg mogelijk stadium worden samengebracht in een concept "geoptimaliseerde" regeling. Op deze wijze kan het gedrag van het systeem als geheel worden bestudeerd en wordt een eerste evaluatie mogelijk gemaakt. Aldus kunnen knelpunten worden aangewezen en eisen tav. deelmodellen worden gekwantificeerd. Hiermee kan dan het werk binnen de deelwerkgroepen worden gestuurd en kunnen prioriteiten in het onderzoek worden aangegeven. Bovendien kan de, voor de praktijktoepassingen noodzakelijke vereenvoudiging ter hand worden genomen.

In principe dienen uiteindelijk alle manipuleerbare klimaatfactoren in de optimalisering te worden betrokken: temperatuur, licht, CO₂, luchtvochtigheid, EC van de voedingsoplossing, etc. Aangezien de modelontwikkeling nog niet zo ver gevorderd is dat voor al deze factoren kwantitatieve relaties met opbrengst kunnen worden geformuleerd zal de optimalisering in eerste instantie vooral gericht moeten zijn op de factoren licht, CO₂ en temperatuur. Bovendien zal mbt. de factor temperatuur alleen aandacht worden geschonken aan de momentane effecten en zullen de, zeer belangrijke, effecten op langere termijn eerst in een later stadium kunnen worden geïncorporeerd. Naarmate de modelontwikkeling verder voortschrijdt kunnen resultaten worden gebruikt voor verbetering van het besturingssysteem.

Organisatie

De doelstellingen van dit projekt zijn alleen te bereiken in een samenwerkingsverband, waarin onderzoekers vanuit verschillende disciplines participeren. Teneinde efficiënt werken te bevorderen is een vorm gekozen, waarbij vertegenwoordigers vanuit de direkt noodzakelijke disciplines, eventueel aangevuld met contactpersonen zijn verenigd in een kleine centrale werkgroep (CWG). Iedere vertegenwoordiger in de CWG fungeert als voortrekker voor kleinere, disciplinaire deelwerkgroepen (DWG's). In de DWG's wordt de kennis gemobiliseerd en/of gegenereerd, die noodzakelijk is voor het bereiken van het einddoel. De CWG werkt dan coördinerend en richtinggevend tav. de activiteiten van de disciplinaire DWG's. Eén à twee maal per jaar worden plenaire bijeenkomsten georganiseerd waarin grote lijnen worden bediscussieerd en de voortgang wordt geëvalueerd.

Participerende instellingen

Vanuit de volgende instellingen wordt aan de werkgroep deelgenomen (tussen haakjes de in dit rapport gebruikte afkortingen):

A&T: Proefstation voor Tuinbouw onder Glas (PTG), Proefstation voor de Bloemisterij in Nederland (PBN)

DLO: CABO, IMAG

LUW: Vakgroepen Informatica (INF), Natuur & Weerkunde (N&W), Theoretische Productie Ecologie (TPE), Laboratorium voor Tuinbouwplantenteelt (LTP)

De inbreng vanuit de LUW is ondergebracht in VF¹⁾-project VF86.11 en wordt voorgedragen voor verlenging tot en met 1992

Centrale werkgroep

De centrale werkgroep (CWG) bestaat uit²⁾:

- G. Bot: DWG "simulatie kasklimaat" (groeiomstandigheden)
- N. van de Braak: DWG "integratie" (optimalisering)
- H. Challa: DWG "simulatie gewasrespons-kasklimaat"
- E. Nederhoff: DWG "teelt"

Het kan noodzakelijk zijn deze groep in de toekomst uit te breiden, afhankelijk van de behoefte aan contacten en coördinatie in de totale werkgroep.

Internationale samenwerking

De in dit project gevolgde werkwijze is uniek. In geen ander land is onderzoek gaande waarin een zo geavanceerde benadering wordt gevolgd. Er bestaat in internationaal verband dan ook veel belangstelling voor dit project. In Hannover worden in het kader van het Sonderforschungsbereich zogenaamde "Bio-oekonomische modellen" ontwikkeld, waarbij de nadruk evenwel ligt op de beslissingondersteunende modellen en waarbij gebruik gemaakt van regressiemodellen. Hierdoor is het karakter van het onderzoek sterker economisch en minder fysiologisch gefundeerd dan het onderhavige project. Aangezien de doelstellingen echter wel veel gemeenschappelijke kenmerken vertonen vindt een intensieve uitwisseling van gedachten en informatie plaats. Op veel kleinere schaal vindt ook in de DDR soortgelijk onderzoek plaats, met name in Grossbeeren en Ilmenau. Ook met deze groep vindt, zij het op veel kleinere schaal uitwisseling plaats. De derde groep die in dit verband dient te worden genoemd is die in Israel (Technion, Haifa; Volcani instituut; Besor experimental station). Ook met deze groep bestaan geregelde contacten al liggen hier veel budgettaire belemmeringen. Een poging tot een samenwerkingsverband is gestrand op gebrek aan medewerking van de autoriteiten in Israel en Nederland (Bot et al., 1986)

Opdrachten van derden

Indien één der deelnemende instanties verplichtingen mbt. activiteiten, welke vallen binnen het werkterrein van de werkgroep wenst aan te gaan met een andere instantie of bedrijf (bv. een computerleverancier), is dit in principe mogelijk. Het kan zeer nuttig zijn omdat doorstroming van de verworven kennis plaats vindt en projecten versneld kunnen worden afgewerkt als gevolg van extra middelen. Toch is het voor het functioneren van de werkgroep als geheel, belangrijk hierbij een aantal zaken in het oog te houden:

- hoofdlijnen in het onderzoek mogen niet worden geprivatiseerd
- er moet terughoudendheid worden betracht bij het uit handen geven van "half-produkten"
- samenwerkingsprojecten met het bedrijfsleven behoren in de CWG te worden besproken
- de verantwoordelijkheid voor het aangaan en nakomen van verplichtingen ligt primair bij de betrokken instelling
- voor het gebruik bij opdrachten van derden van nog niet gepubliceerde onderzoekresultaten van partnerinstellingen, is toestemming van de dienstleiding van de betreffende instelling vereist
- resultaten van onderzoek dat in opdracht van derden wordt uitgevoerd, mogen slechts gedurende een beperkte tijd worden achtergehouden en moeten op een redelijke termijn (bv. half jaar) beschikbaar zijn voor publikatie

¹⁾voorwaardelijke financiering, dwz. beschermd onderzoek van de Landbouwuniversiteit

²⁾een complete lijst van deelnemers is opgenomen in bijlage 2

DEELWERKGROEP "SIMULATIE KASKLIAMAAT" (GROEIOMSTANDIGHEDEN)

Inleiding

Om een systeem op een verantwoorde manier te kunnen optimaliseren en besturen is systeemkennis nodig. Voor het produktiesysteem -kas met gewas- wordt in deze DWG de fysische kennis van het systeem verzameld die nodig is voor een beschrijving van het fysisch gedrag (fysisch dynamisch kasklimaatmodel). Met behulp hiervan kunnen de momentane groeiomstandigheden voor het gewas als functie van het buitenweer en de eigenschappen van de kas worden berekend. Deze groeiomstandigheden of momentane kasklimaatfactoren kunnen vervolgens worden gebruikt als randvoorwaarden voor de berekening van de produktiesnelheid van het gewas (zie DWG simulatie gewasrespons - kasklimaat) en voor de berekening van de directe produktiekosten. Daarnaast kan het klimaatmodel worden gebruikt om de kas met zijn inrichting te evalueren. Als uitgangpunt voor de activiteiten van de DWG wordt gebruik gemaakt van de dissertatie van Bot (1983)

Doelstelling

Ontwikkelen van een model dat in afhankelijkheid van het buitenweer het momentane kasklimaat berekent. Deze berekening dient enerzijds om randvoorwaarden te leveren voor het gewasrespons-kasklimaat model en anderzijds om op momentane basis de directe produktiekosten te berekenen.

Overzicht

Het kasklimaatmodel is gebaseerd op de energie-, vocht- en koolzuurhuishouding van het systeem kas-gewas. Het bestaat uit de volgende onderdelen:

- a. vertaling van het kortgolvig stralingsregime buiten naar binnen (stralingstransmissiemodel)
- b. ventilatieuitwisseling tussen kas- en buitenlucht
- c. energie-, waterdamp- en koolzuuruitwisseling van het gewas
- d. langgolvige stralingsuitwisseling
- e. convectieve uitwisselingen
- f. warmtegeleiding in de bodem

Stralingstransmissie

Het stralingstransmissiemodel berekent de transmissie door het kasdek van kortgolvige straling als functie van de stralingscondities, de zonnestand, de oriëntatie en plaats van de kas en de optische eigenschappen van het kasdek. Dit model is van belang voor zowel het fysisch kasklimaatmodel als voor het gewasrespons-kasklimaatmodel. Het model is nu operationeel en blijkt onder verschillende omstandigheden nauwkeurige uitkomsten op te leveren (Bot, 1983).

Ventilatieuitwisseling

Het ventilatiemodel berekent het volumetrisch uitwisselingsdebiet tussen kas- en buitenlucht door de kieren en ventilatieramen van de kas afhankelijk van de binnen- en buitencondities (windsnelheid- en richting en temperatuurverschil tussen kas- en buitenlucht), het oppervlak, de vorm en de stand van de ventilatieramen en de geometrie en ligging van de kas. Een eerste aanzet is gegeven door Bot (1983), maar een algemeen toepasbaar ventilatieuitwisselingsmodel ontbreekt op dit moment en is noodzakelijk voor de doelstellingen van de DWG. Het promotieproject van T. de Jong beoogt dit model te leveren.

Uitwisseling van het gewas

De uitwisseling van waterdamp, voelbare warmte en koolzuur van het gewas naar zijn omgeving wordt bepaald door een combinatie van gewasafhankelijke en omgevingsafhankelijke overdrachtsweerstand. De gewasafhankelijke weerstand kan worden beschreven als functie van de opvallende kortgolvige instraling, de gewastemperatuur, het waterdampdeficiet tussen gewas en omgeving en de koolzuurconcentratie van de omgeving. Het fysisch gedrag van een tomatengewas wordt beschreven in het proefschrift van C. Stanghellini (1987). Dit deelmodel is operationeel en kan voor andere gewassen op relatief eenvoudige wijze worden aangepast. Wel is nog onderzoek nodig waarbij het gedrag van de huidmondjes van het gewas centraal staat (DWG simulatie gewasrespons-kasklimaat).

Langgolvlige stralingsuitwisseling

Deze uitwisseling wordt bepaald met voldoende nauwkeurig bekend zijnde fysische relaties waarin zogenaamde gezichtsfactoren bepalen welk deel van de uitstraling onderschept wordt door de andere componenten. Deze gezichtsfactoren worden experimenteel bepaald. Voor het gewas zijn ze beschreven in het proefschrift van C. Stanghellini (1987). Een punt van zorg is de randvoorwaarde van het systeem, de zogenaamde hemeltemperatuur. Deze is niet via standaard meteorologische waarnemingen beschikbaar en daarom is nader onderzoek noodzakelijk.

Convectieve uitwisselingen

De verschillende convectieve uitwisselingen (buitenlucht- kasdek, kaslucht-kasdek, -gewas, -verwarmingspijpen en - bodemoppervlak) zijn zoveel mogelijk afzonderlijk bepaald en in het algemeen voor het fysisch kasklimaatmodel nauwkeurig genoeg bekend. Een uitzondering vormt de overdracht van kaslucht naar kasdek (bepalend voor de condensatie) en van kasdek naar buitenlucht. Voor dit onderdeel is nader onderzoek noodzakelijk.

Warmtegeleiding in de bodem

De warmtegeleiding in de bodem bepaalt mede de bodemoppervlaktetemperatuur en de energiebuffering in de bodem, van belang voor het dagelijkse tijdgedrag van het totale systeem. De berekening gebeurt op relatief eenvoudige wijze. De thermische eigenschappen van de bodem worden met behulp van metingen bepaald.

Modelaanpassingen

Het fysisch kasklimaatmodel, dat de over de plaats gemiddelde kasklimaatfactoren dynamisch beschrijft als functie van het momentane buitenweer, is in zoverre ontwikkeld dat het kan worden gebruikt binnen de doelstellingen van de werkgroep. Daartoe is een eerste versie gecombineerd met een gewasgroei-model (afstudeerverslag B. Houter) en gebruikt in een optimaliseringsalgoritme (afstudeerverslag E. van Henten). In het vervolg van deze toepassing zal gestreefd moeten worden naar verantwoorde vereenvoudiging van het model naar een geschikte mathematische formulering en naar linearisering. Uitgebreide gevoeligheidsanalyse is voor verantwoorde vereenvoudiging een eerste vereiste.

Bepaling van het fysisch gedrag van het gewas vraagt koppeling van het "extern" en het "intern" gedrag. Via monitoring van de water- en energiehuishouding van het gewas kan deze karakterisering worden verkregen. Deze metingen valideren het gemodelleerde plantgedrag en maken koppeling naar het gewasproductiemodel mogelijk. Hieraan wordt vanuit verschillende instellingen gewerkt.

Vanuit de gevoeligheidsanalyse en de eis van waarneembaarheid van het klimaat- en gewasmodel zal blijken welke grootheden moeten worden gemeten en welke parameters kunnen worden geschat. Hiervoor dienen sensoren en parameterschatmethoden (verder) ontwikkeld te worden.

Na de karakterisering van de dynamica van de over de kas gemiddelde klimaatfactoren (lumped parameter system) zal ook de verdeling in de ruimte (distributed parameter system) moeten worden beschouwd. Na een voorstudie kunnen hiervoor onderzoeksvoorstellen worden geformuleerd.

Benodigd onderzoek

onderdeel	uitvoering
1. deelmodel ventilatieuitwisseling	T. de Jong
2. deelmodel huidmondjesgedrag	DWG gewassimulatie
3. hemeltemperatuur	knelpunt
4. gevoeligheidsanalyse en modelvereenvoudiging	knelpunt
5. gewasverdampingsmodel	C. Stanghellini & DWG gewassimulatie
6. sensorontwikkeling tbv. 5.	Th. Gieiling
7. parameterschatmethoden tbv. 5. en 6.	toekomstig knelpunt
8. ruimtelijke verdeling kasklimaat	knelpunt

DEELWERKGROEP "SIMULATIE GEWASRESPONS-KASKLIAMAAT"

Inleiding

Nadat door het kasklimaatmodel het binnenklimaatmodel in de kas is berekend, kan door middel van een gewasgroeimodel de gewasrespons tav. veranderingen in het kasklimaat berekend worden. Anders dan de "gangbare" simulatiemodellen die thans beschikbaar zijn voor het berekenen van groei en produktie van met name akkerbouwgewassen (Spitters et al., 1988), dient het model dat in het kader van deze DWG wordt ontwikkeld, betrouwbare voorspellingen te leveren over de effecten van momentane veranderingen in het kasklimaat. Speciale eisen worden gesteld aan de beschrijving van de relaties van enerzijds de temperatuur, waterdamp- en CO₂-concentratie van de lucht en anderzijds de groei en de produktie, aangezien dit de voornaamste factoren zijn die in een kas kunnen worden gestuurd en geoptimaliseerd.

In verband met het telen op substraat dient voorts aandacht te worden besteed aan de vraag hoe het onder- en bovengrondse "klimaat" op elkaar af te stemmen. Mede vanwege de reeds eerder genoemde behoefte vanuit de DWG "simulatie kasklimaat" zal daarom aandacht moeten worden geschonken aan de waterhuishouding van het gewas.

Doelstelling

Ontwikkelen van een model, dat geschikt is voor het "on-line" voorspellen van de momentane produktiesnelheid van kasgewassen in afhankelijkheid van de klimaatsfactoren binnen de kas, met inbegrip van het wortelmilieu.

Overzicht

Het uitgangspunt voor de simulaties vormt het model SUCROS (Spitters, 1988). De belangrijkste modules die hierin zullen moeten worden aangepast zijn:

- a. fotosynthese module
- b. waterhuishoudings module
- c. assimilatenverdelings module
- d. module voor de conversie van droge-stof naar verse-, of stuks produktie

Fotosynthese

Het hart van het model wordt gevormd door een module die de fotosynthesesnelheid berekent voor gesloten en rij-gewassen in afhankelijkheid van zichtbare straling, CO₂-concentratie, temperatuur en LAI (leaf area index, de hoeveelheid bladoppervlak per eenheid grondoppervlak). De aanpassingen tbv. de rij-gewassen, de CO₂-concentratie en de temperatuur dienen nog te worden uitgewerkt. Voorts is een verfijning nodig van het huidmondjesgedrag aangezien dit direct van invloed kan zijn op het fotosynthesegedrag van gewassen. Een noodzakelijke volgende stap is de validatie op gewasniveau en eventueel daaruit voortvloeiende aanpassingen in het model. Speciale aandacht is daarnaast noodzakelijk voor het dynamische gedrag van de fotosynthese, waarover slechts weinig bekend is.

Waterhuishouding

Een eerste aanzet tot een deelmodel voor de waterhuishouding inclusief de link naar het fotosynthese-module is op het CABO in samenwerking met TPE gereedgekomen (H. Gijzen, J. Goudriaan L. Marcelis en Van de Sanden). Een nadere onderbouwing is noodzakelijk, waarbij oa. aandacht dient te worden besteed aan de relatie tussen waterpotentiaal en groei van planten. Voorts is een betere beschrijving van het gedrag van huidmondjes en van het watergehalte in het oogstbaar produkt vereist. Validatie van het model en nadere parameterisering is ook in dit onderdeel een belangrijke voorwaarde. Bij de vakgroep LTP is een begin gemaakt met het praktisch toepassen van de theoretische kennis op het gebied van de waterhuishouding bij het afstemmen van de EC van de voedingsoplossing op het bovengrondse klimaat. De continuïteit van dit onderzoek loopt thans gevaar.

Assimilatenverdeling

De verdeling van assimilaten (droge stof) is sterk gewas/rasgebonden en de modellering hiervan is nog zwak theoretisch onderbouwd en daardoor sterk beschrijvend van aard. Voor komkommer is dit

probleem eerst door A. Schapendonk en later door N. Ykema enigszins uitgewerkt en voor tomaat door E. Dayan (B'sor Experiment Station, Israël) in samenwerking met H. Challa en H. van Keulen (CABO). Voortbouwend op dit en aanverwant werk zal moeten worden gezocht naar algemene principes voor het modelleren van de assimilatenverdeling bij ongedetermineerd groeiende gewassen. Het is waarschijnlijk, dat nog veel experimenteel werk zal moeten worden verricht. Hierbij zal bijzondere aandacht moeten worden besteed aan de rol van de temperatuur.

Watergehalte van het geoogste produkt

Het droge stofgehalte van het verse produkt is van grote invloed op de opbrengst. De in de praktijk optredende variaties zullen gerelateerd moeten worden aan de factoren die hierbij een rol spelen.

"Tuning" van modellen

Voor toepassing in de praktijk is een zekere "on-line tuning" van de gewasgroeberekeningen wellicht wenselijk, aangezien grote discrepanties zouden kunnen optreden. Met "tuning" wordt gedacht aan bijvoorbeeld aanpassing van de parameters in het fotosynthese module in afhankelijkheid van de actuele gewasfotosynthese. Hierbij is het ontwikkelen van een voor de praktijk geschikte techniek voor het meten van dit proces en een methode voor het hierop aanpassen van parameters in het model een probleem. Gedacht wordt aan een methode waarbij periodiek de CO₂ concentratie binnen de kas gelijk wordt gehouden aan die daarbuiten. Onder deze omstandigheden is het anders zo moeilijk te bepalen lekvoud niet meer van belang en kan worden volstaan met een meting van de CO₂-doseersnelheid.

Benodigd onderzoek

onderdeel	uitvoering
1. fotosynthese van rij-gewassen	Gijzen, Goudriaan
2. verbetering CO ₂ -, temp.respons fotosynthese	ten Cate
3. valdatie fotosynthese	Nederhoff/knelpunt, Challa
4. verbetering dynamiek fotosynthese	ten Cate
5. verbetering huidmondjesgedrag	ten Cate, Gijzen
6. waterhuishouding-groei	Bruggink, van de Sanden, Stanghellini?
7. optimalisering substraat	Challa, knelpunt
8. watergehalte oogstbaar produkt	knelpunt
9a. droge stofverdeling groenten	Heuvelink, de Koning, Marcellis
9b. droge stofverdeling siergewassen	Berghoef, vd. Pol
10. morfogenese potplanten	AIO PBN/LTP, Goudriaan
11. vereenvoudiging model	knelpunt
12. tuning	knelpunt

DEELWERKGROEP "TEELT"

Inleiding

Voor het optimaliseren van de klimaatbesturing in kassen is naast het onderzoek gericht op model-ontwikkeling en -verfijning behoefte aan gewas- en teeltgebonden informatie. In modellen is het gedrag van gewassen slechts op zeer algemene wijze beschreven en wordt geen rekening gehouden met allerlei noodzakelijke teeltmaatregelen die consequenties kunnen hebben voor de gewasgroei en de klimaatregeling. Voor praktische toepassing zal daarom een veel gedetailleerdere en meer specifieke beschrijving noodzakelijk zijn, wil de optimalisering niet volledig naast de realiteit van de teelt komen te staan. Het betreft hier teeltkundige aspecten waarvoor kennis van gewassen en kassen onder praktijkomstandigheden is vereist.

Doelstelling

Het verzamelen en bruikbaar maken van gewas- en teeltkundige informatie tbv. een geoptimaliseerde klimaatbesturing en het bestuderen en evalueren van nieuw ontwikkelde algoritmen onder praktijkcondities.

Overzicht

Voor het realiseren van de doelstellingen van de DWG zijn de volgende activiteiten noodzakelijk:

- a. verzamelen van kengetallen en gegevens over gewasgebonden eigenschappen tbv. simulatie (parameterisering en kwantificeren van empirische relaties)
- b. aangeven van technische- en teelttechnische grenzen en randvoorwaarden waarbinnen optimalisatie kan plaatsvinden (dynamisch)
- c. valideren van modellen op de hogere integratieniveaus (groei en produktie)
- d. evalueren van nieuw ontwikkelde klimaatbesturingssystemen onder semi-praktijk en praktijkomstandigheden
- e. begeleiden van de introductie van het beoogde klimaatbesturingssysteem in de praktijk.

Kengetallen

De benodigde gewasgegevens en kengetallen zullen door middel van literatuuronderzoek en experimenten worden verzameld. Deze gewassenmerken zijn echter allerminst constant maar worden veelal beïnvloed door externe factoren, zoals temperatuur, lichtintensiteit, CO₂-concentratie, luchtvochtigheid, watergift, bemesting enz., maar daarnaast kunnen deze ook veranderen als gevolg van de ontwikkeling van het gewas. Deels worden deze relaties beschreven door verklarende deelmodellen van de DWG "gewassimulatie". In die gevallen is het de taak van de DWG "teelt" om voor de gewasgebonden parameterisering zorg te dragen. Daarnaast zullen echter empirische relaties moeten worden vastgelegd dmv. statistische technieken.

Voorbeelden van de te verzamelen kengetallen zijn:

- gegevens voor de berekening van de lichtonderschepping van het gewas (bladhoekverdeling, reflectie en absorptie van licht door bladeren enz.)
- bladdikte
- droge stofverdeling
- bladafsplittingsnelheid
- gegevens over bloei, vruchtzetting en -uitgroei
- droge stofgehalte van bladeren, stengels en vruchten

Begrenzingsen

Op teeltkundige gronden zullen, voordat sprake kan zijn van optimalisering, bepaalde ervaringsregels van de praktijk moeten worden betrokken bij de regeling, teneinde bv. blijvende schade of kwaliteitsverlies te vermijden, om fytopathologische risico's te verkleinen, of om rekening te houden met benodigde teelthandelingen. Eisen tav. minimum of maximum verdamping, of minimum of maximum temperatuur zijn bekende voorbeelden, maar begrenzingen kunnen bijvoorbeeld ook nodig zijn ivm. het realiseren van een geschikt arbeidsklimaat. Tenslotte kunnen bij sommige gewassen, soms gedurende korte tijd, zeer specifieke eisen gelden tav. het klimaat, bv. bij tomaat de eis dat tijdens het trillen

de luchtvochtigheid niet te hoog mag zijn. Vanuit de teelt moet aangegeven worden bij welke omstandigheden (complex van teeltfactoren) de risico's of schade onacceptabel worden en dus de grens voor optimalisatie is bereikt. In verband met de complexiteit van deze, soms moeilijk te begrijpen praktijkregels en met het oog op het belang van de "onderhoudbaarheid" van een dergelijk stelsel van praktijkregels verdient het aanbeveling deze vast te leggen in een zogenaamd "expert-systeem" (Spijkervet et al., 1987). Een inventarisatie van bestaande kennis op dit gebied dient te worden gevolgd door een nadere analyse teneinde deze kennis zoveel mogelijk onder gemeenschappelijke noemers te kunnen brengen.

Validatie

In het kader van de DWG "teelt" zijn teeltproeven nodig om de simulaties van gewasgroei en productie te verifiëren en eventuele afwijkingen te kunnen analyseren. Hiertoe zijn behalve gedetailleerde gewaswaarnemingen ook betrouwbare klimaatsgegevens noodzakelijk. Naast het uitvoeren van speciaal hierop gerichte experimenten zal voor een deel ook kunnen worden geput uit gegevens van reeds uitgevoerde en lopende teeltexperimenten en gegevens uit de literatuur.

Introductie in de praktijk

Het introduceren in de praktijk van de nieuwe generatie klimaatbesturingssystemen zal pas over enkele jaren aan de orde komen. Voor onderdelen die reeds zijn uitgetest kan echter reeds in de nabije toekomst aan toepassing worden gedacht (bijvoorbeeld CO₂-optimalisatie). Wel is het belangrijk reeds in een zo vroeg mogelijk stadium ervaring op te doen met de nieuwe systemen, teneinde problemen en tekortkomingen te signaleren en hiermee rekening te kunnen houden bij de verdere ontwikkeling.

Benodigd onderzoek

onderdeel	uitvoering
1. verzamelen kengetallen tomaat	Heuvelink, de Koning
2. idem, komkommer	Nederhoff
3. idem, potplanten	AIO LTP/PBN
4. begrenzingen	Challa, Bakker, Maris, Nederhoff, knelpunt
5. validatie	Heuvelink, Nederhoff, AIO LTP/PBN
6. evaluatie prototypen	Challa, Nederhoff
7. introductie in de praktijk	knelpunt

DEELWERKGROEP "INTEGRATIE"

Inleiding

In de hier gekozen benadering voor het optimaliseren van een teeltsysteem zal kennis van de betrokken vakgebieden bij elkaar gebracht moeten worden. Deze kennis wordt door de eerder genoemde DWG's in de vorm van deelmodellen aangeleverd, te weten een deelmodel voor het kasklimaat, voor de gewasgroei en een consistente set van gegevens mbt. de grenzen waarbinnen optimalisatie mogelijk is. In de genoemde modellen worden de kwantitatieve relaties weergegeven tussen ingangs- en uitgangsgrootheden van de deelsystemen. Voorts is het noodzakelijk om aan te geven welke procesgrootheden geoptimaliseerd dienen te worden. Het is de taak van de DWG "Integratie" om deze kennis te gebruiken bij het formuleren van optimaliserings- en regelstrategieën, waarbij gebruik zal worden gemaakt van moderne optimaliseringstechnieken. Het zal uit de beschrijving van de status van het project duidelijk worden dat juist in deze DWG nog veel activiteiten zullen moeten worden ontplooid en dat tegelijkertijd deze DWG juist het knooppunt is waar alle informatie samenkomt. Goed functioneren van deze DWG is daarom van levensbelang voor de gehele werkgroep.

Doelstelling

De ontwikkeling van een modulair soft-ware pakket tbv. de besturing van het kasklimaat, waarin de modellen en randvoorwaarden uit de verschillende deelgebieden zijn geïntegreerd middels een module die het multivariabele regelprobleem van kasklimaat/gewasproductie optimaliseert op basis van opbrengsten- en kostenvoorspellingen.

Overzicht

- Voor het bereiken van de doelstelling van de werkgroep zijn de volgen de punten van belang:
- a. koppelen van de deelmodellen
 - b. gevoeligheidsanalyse totaalsysteem
 - c. ontwikkelen van een optimaliseringsalgorithme
 - d. formuleren van eisen tav. nauwkeurigheid en vereenvoudiging van de betrokken deelmodellen

Koppelen van de deelmodellen

Een eerste aanzet tot het samenvoegen van de deelmodellen is gegeven in het doctoraalonderzoek van B. Houter. Hierbij is een werkende eerste versie van een gekoppeld model vervaardigd. Een nadere uitwerking is echter noodzakelijk. Aangezien bij het werken in multidisciplinair verband modellen gebruikt zullen worden door anderen dan de ontwikkelaars worden veel hogere eisen aan documentatie en structurering van de programmatuur gesteld (Challa & Nederhoff, 1986).

Gevoeligheidsanalyse totaalsysteem

Met het gekoppelde model zullen uitgebreide gevoeligheidsanalyses moeten worden uitgevoerd om te onderzoeken hoe en waar verantwoorde vereenvoudigingen kunnen worden ingevoerd en welke variabelen moeten worden gemeten om het "real-time" model te kunnen "tunen". Daarnaast zal aandacht moeten worden besteed aan een evaluatie van het praktische nut van optimalisatie van de onderscheiden klimaatfactoren, omdat zou kunnen blijken dat voor sommige factoren optimalisatie weinig financieel voordeel oplevert en daarmee het systeem onnodig belast en vertraagd zou worden.

Ontwikkelen van een optimaliseringsalgorithme

Een eerste aanzet tot het gebruik van de moderne regeltechniek tbv. de klimaatregeling is gegeven in een doctoraal onderzoek bij de vakgroep N&W (E. van Henten). Hierbij is gebleken dat een fysisch model zodanig kan worden vertaald dat het bruikbaar is in een multivariabele regeling. Deze werkwijze zal nu worden uitgebreid door ook het gewasmodel en de regeling zelf te betrekken in het optimaliseringsproces.

Op basis van moderne regeltheorie zal een optimaliserend regelsysteem voor het multivariabele teeltproces worden ontwikkeld. De reeds beschikbare en de nog te ontwikkelen dynamische modellen zullen op hun bruikbaarheid, dwz. de aard en de vorm van de gebruikte basisformules, worden onder-

zocht. Deze inventarisatie zal, in combinatie met een inventarisatie van geschikte optimaliseringstheorieën, moeten leiden tot een keuze van de te gebruiken optimaliseringsstrategie.

Eisen tav. nauwkeurigheid en vereenvoudiging van de betrokken deelmodellen

Wanneer een systeem van gekoppelde modellen met een daarmee verbonden optimaliseringsmodule is gereedgekomen kan het gedrag van het systeem nader worden geanalyseerd. De resultaten van dit onderzoek zullen in de loop van het project kunnen leiden tot bijstellingen (gerichte vereenvoudigingen of verfijningen) van de ondersteunende deelmodellen.

Benodigd onderzoek

onderdeel	uitvoering
1. evaluatie beschikbare deelmodellen	knelpunt
2. theoretische evaluatie betekenis optimalisatie	Challa, knelpunt
3. koppeling van deelmodellen	Houter
4. gevoeligheidsanalyses + documentatie	knelpunt
5. ontwikkeling optimaliseringsroutine	knelpunt, Van Henten
6. interfacing met begrenzingsmodule	knelpunt, Maris?
7. implementatie in een prototype	knelpunt

LITERATUUR

- Bot, G.P.A., 1983. Greenhouse climate: from physical process to a dynamical model. Diss. LUW, 240 pp.
- Bot, G.P.A., H. Challa, E.M. Nederhoff en P.A.Th.J. Werry, 1986. Verslag van een studiereis naar Israel van 2 tot 11 februari 1986.
- Challa, H., 1985. Report of the working party "Crop growth models". Acta Horticulturae 174: 169-175.
- Challa, H. en A.H.C.M. Schapendonk, 1986. Dynamic optimization of CO₂ concentration in relation to climate control in greenhouses. In: Carbon dioxide enrichment of greenhouse crops. Vol. I, Status and CO₂ sources. Eds. H.Z. Enoch en B.A. Kimball. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida, 1986, pag. 147-163.
- Challa, H. en E.M. Nederhoff, 1986. Report of the CEC-workshop on 'Optimal use of light and energy in protected crops and the related development of models', Delft, The Netherlands, 16-18 September, 1986. EEG-rapport verkrijgbaar bij de auteurs.
- Challa, H., 1988. Prediction of production: requisite of an integrated approach. Acta Horticulturae (in druk)
- Sectorale INSP-LO werkgroep "Plantaardige productie", 1986. Theorie in Praktijk: Toepassing van Informatica in de sector Plantaardige Productie"
- Spijkervet, A.L., R.A.M. van Lopik en J.L. Simons, 1987. Oriënterend onderzoek naar de mogelijkheden en betekenis van expert systemen binnen Landbouw en Visserij, Rapport PANDATA nr. E-1865-01
- Spitters, C.J.T., H. van Keulen, en D.W.G. van Kraalingen, 1988. A simple and universal crop growth simulator: SUCROS87. In: Simulation and systems management in crop protection. (Eds. R. Rabbinge, S.A. Ward en H.H. van Laar), Simulation Monographs, Center for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, The Netherlands.
- Stanghellini, C., 1987. Transpiration of greenhouse crops an aid to climate management. Diss. LUW., 150 pp.
- Stuurgroep INSP-LO, 1986. Landbouw 2000 en informatietechnologie, Rapport Min. v. L & V
- Udink ten Cate, A.J., en H. Challa, 1984. On optimal computer control of the crop growth system. Acta Horticulturae 148: 267-276.

BIJLAGEN

Bijlage 1.: Tijdschema in grote lijnen

planning 1988

- koppeling fysisch en gewas model + documentatie
- gevoeligheidsanalyse gekoppeld kasmodel
- aanzet integratie mbv. moderne regeltechniek en expert-systeem
- aanzet validatie deelmodellen
- aanzet inbouw waterhuishoudingsmodule in gewasmodel
- aanzet verzamelen gewaskundige kengetallen

planning 1989

- validatie en verbetering deelmodellen
- vereenvoudiging gekoppeld kas/gewasmodel
- eerste uitwerking geoptimaliseerde regeling
- eerste evaluatie geoptimaliseerde regeling

planning 1990

- prototype vereenvoudigd systeem
- testen prototype
- vereenvoudigen systeem
- bedrijfsleven betrekken

planning 1991

- testversie gereed
- evaluatie
- bijstelling
- introductie in de praktijk (stapsgewijs)

afronding project 1992:

- eindevaluatie
- eindrapportage
- bezinnen op vervolgactiviteiten

Bijlage 2.: Direct betrokken projecten/onderzoekers

De volgende onderzoekers zijn bij de uitvoering van de activiteiten van de werkgroep betrokken (status februari 1988):

PTG

J. Bakker (B24, B31)
A. de Koning (B33, BC36)
E. Nederhoff (B32, B38)

PBN

J. Vogelenzang
AIO (samen met LTP)

CABO

A. ten Cate
H. Gijzen¹⁾ (679)
L. Marcelis
P. vd. Sanden (621)

IMAG

N. vd. Braak
T. Bruggink (46.3.00)
Th. Gieling (46.3.00)
E. van Henten (46.3.03)
W. v. Meurs (46.3.03)
C. Stanghellini (44.3.05)

LUW vakgroepen:

INF

L. Maris

LTP

J. Berghoef (F450-576)
T. Bruggink (F450-575)
H. Challa
E. Heuvelink (F450-575)
P. vd. Pol (F450-576)
AIO potplanten (samen met PBN)

N&W

G.P.A. Bot (A550-834)
T. de Jong

TPE

H. Gijzen²⁾
J. Goudriaan

¹⁾gedetacheerd vanuit TPE

²⁾gedetacheerd bij CABO

Bijlage 3: overzicht deelprojecten

onderdeel	uitvoering
1.1. deelmodel ventilatieuitwisseling	T. de Jong
1.2. deelmodel huidmondjesgedrag	DWG gewassimulatie
1.3. hemeltemperatuur	knelpunt
1.4. gevoeligheidsanalyse en modelvereenvoudiging	knelpunt
1.5. gewasverdampingsmodel	C. Stanghellini & DWG gewassimulatie
1.6. sensorontwikkeling tbv. 5.	Th. Gieling
1.7. parameterschatmethoden tbv. 5. en 6.	toekomstig knelpunt
1.8. ruimtelijke verdeling kasklimaat	knelpunt
2.1. fotosynthese van rij-gewassen	Gijzen, Goudriaan
2.2. verbetering CO ₂ -, temp.respons fotosynthese	ten Cate
2.3. validatie fotosynthese	Nederhoff/knelpunt, Challa
2.4. verbetering dynamiek fotosynthese	ten Cate
2.5. verbetering huidmondjesgedrag	ten Cate, Gijzen
2.6. waterhuishouding-groei	Bruggink, van de Sanden, Stanghellini?
2.7. optimalisering substraat	Challa, knelpunt
2.8. watergehalte oogstbaar produkt	knelpunt
2.9a. droge stofverdeling groenten	Heuvelink, de Koning, Marcelis
2.9b. droge stofverdeling siergewassen	Berghoef, vd. Pol
2.10. morfogenese potplanten	AIO PBN/LTP, Goudriaan
2.11. vereenvoudiging model	knelpunt
2.12. tuning modellen	knelpunt
3.1. verzamelen kengetallen tomaat	Heuvelink, de Koning
3.2. idem, komk 3.2. idem, komkommer	Nederhoff
3.3. idem, potplanten	AIO LTP/PBN
3.4. begrenzingen	Challa, Bakker, Maris, Nederhoff, knelpunt
3.5. validatie	Heuvelink, Nederhoff, AIO LTP/PBN
3.6. evaluatie prototypen	Challa, Nederhoff
3.7. introductie in de praktijk	knelpunt
4.1. evaluatie beschikbare deelmodellen	knelpunt
4.2. theoretische evaluatie betekenis optimalisatie	Challa, knelpunt
4.3. koppeling van deelmodellen	Houter
4.4. gevoeligheidsanalyses + documentatie	knelpunt
4.5. ontwikkeling optimaliseringsroutine	knelpunt, Van Henten, Van Meurs
4.6. interfacing met begrenzingsmodule	knelpunt, Maris?
4.7. implementatie in een prototype	knelpunt

Bijlage 4: knelpunten

onderdeel	knelpunt (mj. = manjaar)
1.3. hemeltemperatuur	1 mj.
*1.4. gevoeligheidsanalyse en modelvereenvoudiging	1 mj.
1.7. parameterschatmeth. tbv. verdamp. model	AIO + budget
1.8. ruimtelijke verdeling kasklimaat	AIO + budget
2.3. validatie fotosynthese	2 mj. extra assistentie meetopstelling PTG
2.7. optimalisering substraat	AIO + budget + geaut. substraatinstallatie
*2.8. watergehalte oogstbaar produkt	1 mj.
*2.11. vereenvoudiging model	1 mj.
2.12. tuning	AIO + budget (1990)
3.4. begrenzingen	2 mj., evt. AIO + budget
3.7. begeleiding introductie in de praktijk	2 mj. (1990/91)
*4.1. evaluatie beschikbare deelmodellen	1 mj.
*4.2. theoretische evaluatie betekenis optimalisatie	1 mj.
*4.4. gevoeligheidsanalyses + documentatie	1 mj.
*4.5. ontwikkeling optimaliseringsroutine	nieuwe hoogl. MRS + AIO + budget
4.6. interfacing met begrenzingsmodule	.5 mj.
*4.7. implementatie in een prototype	nieuwe hoogl. MRS + AIO + budget
voor totale project extra nodig:	11 mj. + 7 AIO's

De met een * gemarkeerde deelprojecten vormen een acuut knelpunt voor de voortgang van het project als geheel, de overige knelpunten zijn belangrijk, maar blokkeren de voortgang van een kleiner onderdeel van het project. Een zeer nijpend knelpunt is het ontbreken van een inbreng vanuit meet-, regel- en systeemtechniek. Door dit knelpunt komt de voortgang van het gehele project in gevaar. Er ontbreekt bovendien de begeleiding bij een aantal deelprojecten, die hierop betrekking hebben. Een tweede gevaar dreigt indien de in dit jaar eindigende positie van de gewasgroeimodel-specialist niet zal worden gecontinueerd of anderszins wordt veiliggesteld. De voortgang van de gehele deelwerkgroep Gewasgroei-kasklimaat zou hiermee bedreigd worden aangezien geen vervangende specialist beschikbaar is en hier de synthese vanuit de fysiologie plaats vindt.

Knelpunten middelen:

- materiële budgetten tbv. 7 AIO's, per project nader vast te stellen
- ca. 10 PC's + printers
- verbetering communicatie van de deelnemers, ivm. overzenden data en programmatuur, boodschappen. Aansluiting in een gemeenschappelijk netwerk (AGRINET) zou hiervoor uiterst gewenst zijn (Geldt alleen voor PTG, PBN, DLO-instituten).