

**SYSTEEMTECHNIEK
SCHAKEL TUSSEN FUNDAMENT EN TOEPASSING**

Rede

**uitgesproken bij de aanvaarding
van het ambt van buitengewoon hoogleraar
in de Meet-, Regel- en Systeemtechniek
aan de Landbouwhogeschool te Wageningen
op 2 juni 1983**

door ir. O.H. Bosgra

Dames en Heren,

Als we kijken naar technologische ontwikkelingen die zich de afgelopen tien jaar hebben voorgedaan, dan is één ontwikkeling opmerkelijk snel verlopen: de intrede van produkten die gebruik maken van de moderne micro-elektronica. Niet alleen is de technische ontwikkeling zelf zeer snel verlopen; dit kwam vooral tot uitdrukking in een snelle reductie van de prijs/prestatie-verhouding van componenten zoals microprocessors en geheugenchips. Daarnaast is het opmerkelijk hoe ver de produkten van de micro-elektronica in korte tijd zijn doorgedrongen in ons dagelijks leven. We verbazen ons niet over de aanwezigheid van geheugenfuncties en intelligentie zoals die tegenwoordig ingebouwd zijn in apparaten zoals wasmachines en autoradio's. We vinden het vanzelfsprekend dat ons fototoestel de lichtomstandigheden meet, zelf uitrekent welke belichtingstijd daarbij hoort en ook het mechanische onderdeel (de sluiters) bestuurt waarmee die belichtingstijd tijdens het nemen van een foto gerealiseerd wordt. Dit voorbeeld geeft de essentie aan van het vakgebied van de meet- en regeltechniek: we meten een fysische grootte, en afhankelijk van de gemeten waarde wordt zodanig op een proces ingegrepen dat een gewenst resultaat ontstaat, in dit geval een goed belichte foto. Het tweede aspect van dit voorbeeld is minstens even belangrijk: de micro-elektronica heeft recentelijk de mogelijkheden opgeleverd om tegen relatief lage kosten een gecompliceerde meet- en besturingstaak te laten uitvoeren door een microprocessor. Deze microprocessor is daartoe gekoppeld aan meetopnemers (sensoren) waarmee de lichtopbrengst wordt gemeten, en aan andere componenten waarmee diafragma-instellingen, filmgevoeligheid en eventuele correctiefactoren worden ingevoerd. De microprocessor kan op grond van al deze invoergegevens een berekening maken en het resultaat hiervan terugmelden, bijvoorbeeld in de vorm van waarschuwingen voor over- of onderbelichting of in de vorm van een te gebruiken belichtingstijd. Als de foto dan genomen wordt, zal de sluiters op commando van de microprocessor zolang geopend blijven als overeenkomt met de berekende belichtingstijd. Deze laatste stap is mogelijk door de microprocessor via elektronische schakelingen en een elektromechanische omzetter een mechanische component te

laten besturen. De drie aspecten - de microprocessor, de koppeling aan sensoren en de koppeling via omzetteren aan een te besturen apparaat of proces - maken het mogelijk om met digitale apparatuur een meet-, regel- of besturingstaak uit te voeren.

II

Parallel aan de ontwikkeling van micro-elektronische toepassingen in consumentengoederen is een reeks van relatief goedkope professionele apparaten op de markt gekomen waarin een vrij programmeerbare microcomputer via uit functionele eenheden opgebouwde randapparatuur gekoppeld kan worden aan meetopnemers en aan stuurmotoren, doseerpompen of andere besturingsapparatuur. De relatief geringe prijs van deze apparatuur draagt er toe bij om in het kader van onderzoekwerk experimenten plaats te laten vinden onder besturingscondities beheerst door een microprocessor, en daarbij de meetgegevens geautomatiseerd te vergaren en te verwerken. Door deze ontwikkelingen heeft het vakgebied van de meet-, regel- en systeemtechniek een belangrijk grotere bestaansmogelijkheid verkregen. Door de verbreding van de toepassingsmogelijkheden is contact ontstaan met verschillende nieuwe vakgebieden. Dit geeft ook al een essentieel aspect van de meet-, regel- en systeemtechniek aan: het is een vakgebied dat middelen en methoden levert die pas tot hun recht komen in toepassingen. Die toepassingen kunnen betrekking hebben op alle mogelijke vakgebieden waarbij het meten van procesvariabelen een rol speelt, hetzij om meer over het gedrag van het onderhavige proces te weten te komen (modelvorming), of als het gewenst is om op grond van de gemeten variabelen op het onderhavige proces corrigerend in te grijpen (regeling of besturing).

III

Het voorgaande geeft al aan dat de betrokkenheid bij digitale elektronische apparatuur voor het vakgebied van de meet-, regel- en systeemtechniek maar een deel vormt van de relevante problematiek. De onderliggende methodische vraagstellingen, zoals de modelvorming van

dynamische systemen, het ontwerp van terugkoppeling ten behoeve van een regeling, of het ontwerp van een meetsysteem waarmee relevante systeemeigenschappen kunnen worden geschat uit gemeten variabelen, vormen de eigenlijke kern van het vakgebied, en daarop zal in de rest van deze voordracht verder worden ingegaan.

Ik zal daarbij aangeven wat de inhoud van het vak is en welk belang daar in Wageningen aan gegeven kan worden. Aan de hand van een aantal voorbeelden zal getoond worden hoe het vak in samenwerking met andere vakgroepen en instituten operationeel gemaakt wordt. Ten slotte zal ik hieruit conclusies trekken voor de toekomstige activiteiten van de sectie meet-, regel- en systeemtechniek.

Noodgedwongen zal de benaderingswijze hier verlopen via de invalshoek van de techniek. De recente ontwikkelingen van de techniek zullen als op zich positieve verschijnselen worden belicht. Over de wijze waarop de moderne micro-elektronica en de huidige samenleving elkaar ontmoeten, kan ook in negatieve zin geoordeeld worden. Het is triest om te zien hoe onze huidige samenleving niet in staat is om grote aantallen jonge mensen aan een zinvolle baan te helpen, maar het wel op kan brengen deze jeugd op grote schaal te voorzien van op micro-elektronica gebaseerde spelletjes waarmee de tijd gedood kan worden. Het is duidelijk dat onze samenleving geconfronteerd wordt met nieuwe technische mogelijkheden en daar in eerste instantie op een natuurlijke ongecompliceerde maar ook ongestructureerde manier op reageert. Het lijkt mij de taak van opvoeders - en juist het personeel van een universitaire instelling behoort daartoe - om de nieuwe generatie te laten zien welke positieve rol in de samenleving een technische ontwikkeling kan hebben. Ik zal hierop aan het slot van mijn betoeg terugkomen.

IV

Door de vakgroep Natuur- en Weerkunde wordt van oudsher het onderwijs en het onderzoek verzorgd op de gebieden van de Algemene Natuurkunde, de Technische Natuurkunde, de Omgevingsnatuurkunde en de Meteorologie.

In de zeventiger jaren is binnen de vakgroep Natuur- en Weerkunde het

onderwijs en onderzoek op het gebied van de meet-, regel- en systeemtechniek gestart. In het begin was de activiteit voornamelijk gericht op het ontwikkelen van instrumentatie, meetmethoden en computerprogrammatuur ten behoeve van omgevingsnatuurkundige en landbouwmeteorologische experimenten. Het was een logisch startpunt voor een nieuwe groep, omdat het werk aansloot bij een hoofdlijn van onderzoek binnen de vakgroep. Na de eerste fase is het werkterrein verbreed en is samenwerking gezocht met verschillende vakgroepen en instituten, om verdere toepassingen van de meet-, regel- en systeemtechniek mogelijk te maken.

Het getuigde van wijs beleid om door het vormen van een groep meet-, regel- en systeemtechniek een deel van de activiteiten van een vakgroep Natuurkunde aan de Landbouwhogeschool te richten op een fysische systeembenadering. Immers, de fysica is vanuit de grondslagen van het vakgebied geneigd om verschijnselen uit hun omgeving los te maken en als geïsoleerd fenomeen te onderzoeken. In de landbouwwetenschappen zijn veelal niet de afzonderlijke fysische verschijnselen van belang maar vormt veeleer het samengestelde gedrag van de complexe wereld van bijvoorbeeld bodem, gewas en atmosfeer het meest wezenlijke probleem. Een systeembenadering levert een gedachtengang en de gereedschappen om dergelijke complexe problemen aan te vatten, te begrijpen en tot oplossing te brengen. Misschien moet gezegd worden: juist een systeembenadering kan bij dit soort problemen helpen een oplossing te vinden. Immers, er zullen verschillende disciplines moeten samenwerken om een complexe vraagstelling uit de sfeer van bodem, gewas en atmosfeer te kunnen oplossen. Het samenwerken van disciplines vereist een gemeenschappelijke denkwereld en denkkader. Als integrale denkwijze kan de systeembenadering een belangrijke rol spelen in de vorm van een interdisciplinaire onderzoekstrategie. Om in 1978 met Hanken en Zadoks [1] te spreken: "De systeemleer biedt een middel tot communicatie tussen vogels van zeer verschillende pluimage, zij geeft ons een nieuwe taal, waarmee wetenschappers, technici en beslissers elkaar kunnen verstaan ten aanzien van de structurele aspecten van hun werk. Als communicatiemiddel heeft de systeemleer dan ook een functie vergelijkbaar met die van de wiskunde. Onze stelling luidt: De systeemleer kan ons helpen bij de integratie der wetenschappen."

V

Het centrale thema bij een systeembenadering is het formuleren van de relevante verschijnselen in de vorm van een mathematisch model. In een multidisciplinair probleem kan dat een uit kleinere delen opgebouwd model zijn, waarin verschillende specialisten uit de verschillende disciplines hun bijdrage hebben geleverd in de vorm van deelmodellen.

Het waardevolle van de systeembenadering ligt in het feit dat de koppeling van deze deelmodellen een resultaat op kan leveren dat veel waardevoller is dan de optelling van de waarden van de individuele deelmodellen. Het overschrijden van de traditionele grenzen van de specialismen is het resultaat. Met name voor het oplossen van praktijkproblemen (die zich immers niet bekommeren om de grenzen der vakgebieden) kan de systeembenadering een brugfunctie vervullen.

Er zijn vier aspecten in de systeembenadering die als de harde kern van het vakgebied van de meet-, regel- en systeemtechniek beschouwd kunnen worden:

- (i) de theoretische modelvorming van (dynamische) systemen, die gebaseerd wordt op a priori kennis zoals fysische behoudswetten, chemische basisrelaties enzovoorts;
- (ii) de meettechniek, de systeemidentificatie en de empirische modelvorming van (dynamische) systemen;
- (iii) de analyse van systeemeigenschappen, computersimulatie, het ontwerp van terugkoppeling, de regeltechniek;
- (iv) instrumentatie, sensoren, micro-elektronica.

Met het begrip "systeemtechniek" kunnen we het totaal van bovengenoemde gereedschappen en werkwijzen samenvatten. In deze opvatting is de systeemtechniek gebaseerd op de ondergrond van de mathematische systeemtheorie zoals deze in het werk van onder meer Wiener [2], Kalman [3] en anderen is ontstaan [4,5]. De systeemtechniek heeft daarmee een harde oriëntatie op een wiskundige, natuurwetenschappelijke en technische onderbouwing en tracht daarmee verder te reiken dan de in de mens- en maatschappijwetenschappen gehanteerde systeemleer gebaseerd op een "algemene systeemtheorie" [6] of op ideeën uit de school van de "systeemdynamica" [7], [8].

VI

Onder een *model* verstaan we een vereenvoudigde representatie van een gespecificeerd deel van de werkelijkheid, waarbij we trachten de representatie en de werkelijkheid in een aantal ons interesserende eigenschappen overeen te laten komen [9, 10].

Een *theoretisch model* is dan een model gebaseerd op de vermeende a priori geldigheid van fysische, (bio)chemische of andere basisrelaties zoals behoudswetten, eventueel aangevuld met empirische kennis. In dit opzicht is een theoretisch model een theorie, waarvan we de consequenties en eigenschappen verder willen onderzoeken, bijvoorbeeld door experimenten in de vorm van computersimulaties uit te voeren. Uit wetenschappelijk oogpunt is deze handelwijze steriel: formeel wordt geen nieuwe kennis vergaard [11]. Uit praktisch oogpunt kan de procedure van modelvorming en van nadere analyse van eigenschappen zeer vruchtbaar zijn: de modelvormer leert begrijpen waarom het model zich gedraagt zoals uit de simulatie blijkt, verschillende vereenvoudigingen in de modelformulering kunnen beoordeeld en met elkaar vergeleken worden en uit het geheel kunnen conclusies getrokken worden die afhankelijk van de kwaliteit van het model, een zekere zeggingskracht hebben voor de werkelijkheid. Omdat veelal dynamische verschijnselen bestudeerd zullen worden, zal ons model bestaan uit onder meer een stelsel differentiaalvergelijkingen. Dit stelsel zal vaak groot in omvang zijn - men kan denken aan tientallen of honderden differentiaalvergelijkingen. De waarde van een dergelijk model ligt dan in de manier waarop de complexe realiteit beschreven wordt door een eindig aantal relaties. Hier ligt het diepere conflict achter deze materie: de kunst van de modelvorming bestaat uit het kiezen van de meest zinvolle benaderingen. Bellman [12] heeft de essentie hiervan als volgt omschreven: "De student wordt tijdens zijn opleiding geoefend in het leveren van nauwkeurige antwoorden op nauwkeurig geformuleerde vragen. Dit is een nauwelijks geschikte voorbereiding op een echte wereld waarin het wezenlijke van succes bestaat in het verkrijgen van redelijke antwoorden op redelijke vragen in vakgebieden die vaag en onnauwkeurig zijn. Zelfs in de academische wereld hangt succes meer af van de keuze van de eigen vraagstellingen

dan in het leveren van antwoorden op de problemen van anderen. Met andere woorden, het is de kunst van het benaderen van de werkelijkheid dat in alle opzichten beslissend is”.

VII

De mogelijkheden van de modelvorming zijn in de technische vakgebieden vrij duidelijk onderkend en erkend [13]. In de landbouwwetenschappen kan ook gewezen worden op belangrijke resultaten op het gebied van de modelvorming van dynamische verschijnselen, bijvoorbeeld in het vakgebied van de theoretische teeltkunde [14]. Toch is de ontwikkeling hier minder ver, met name als gevolg van de extreme complexiteit van biologische systemen en door het ontbreken van kennis over sommige factoren die invloed hebben op de groei en ontwikkeling van levende organismen. Als voorbeeld wil ik hier hanteren het probleem van de beheersing van de klimaatomstandigheden in een tuinbouwkas. Het kader van waaruit ik spreek is het onderzoek dat door Udink ten Cate [15] gedurende de afgelopen jaren is uitgevoerd waarbij vanuit de sectie meet-, regel- en systeemtechniek actief werd samengewerkt met de sectie Technische Natuurkunde van onze vakgroep Natuur- en Weerkunde, met de Proefstations te Naaldwijk en Aalsmeer en met de instituten IMAG en CABO. Doel van het onderzoek was om in staat te zijn de verwarming en ventilatie in een kas zodanig te kunnen beheersen (regelen) dat zoveel mogelijk de voor de teelt meest gunstige condities in de kas optreden. Dit onderzoekdoel leidt tot de wens om over een dynamisch model van het kasklimaat te beschikken. Een dergelijk mathematisch model, gesteld in termen van een stelsel differentiaalvergelijkingen, zou moeten aangeven hoe klimaatsvariabelen als temperatuur, vochtgehalte en CO₂-concentratie in de tijd reageren op veranderingen in de warmtetoevoer en in de ventilatieopeningen (de sturingangen voor de regeling), en op veranderingen in de buitencondities die op de kas inwerken zoals de straling, de luchttemperatuur en -vochtigheid, de windsnelheid en -richting (de verstoringen). Uit het onderzoek bleek dat een veelheid aan problemen optraden bij het opzetten van een dergelijk kasmodel. Een probleem vormde de complexiteit van een model dat op fysische

basisprincipes (behoudswetten) gebaseerd was. Het aantal modelrelaties en het aantal benodigde empirische parameterwaarden bleek dermate groot te zijn dat sterke vereenvoudigingen noodzakelijk waren. Daarnaast bleek een belangrijke onbekende factor in het gedrag van het kasklimaat te worden gevormd door de interactie tussen het gewas en het kasklimaat. De groeiomstandigheden van het gewas worden beheerst door het lokale microklimaat rond het gewas. Het modelmatig beschrijven van de relatie tussen gewas, microklimaat en het kasklimaat is een niet geringe opgave. Dit betekent, dat van de relevante verschijnselen in de kas tot heden slechts een deel modelmatig kan worden beschreven en dan nog op sterk vereenvoudigde wijze. Ook wijst dit op de beperkingen die inherent zijn aan de modelvorming op alleen theoretische gronden. Aanvullingen en verificatie op grond van experimenten aan de werkelijkheid zijn nodig en gewenst om het modelmatige beeld vollediger, betrouwbaarder en eenvoudiger te maken.

VIII

Het tweede aspect van de systeemtechniek, de *empirische modelvorming of systeemidentificatie* [16, 17] houdt zich bezig met het bepalen van een mathematisch model van een dynamisch systeem op grond van het gemeten tijdsverloop van de ingangs- en uitgangsvaariabelen. Als zodanig kan het worden beschouwd als een verdere uitbouw van het vakgebied van de meettechniek.

De *meettechniek* is van oudsher gericht op het ontwerpen en hanteren van meetopnemers (sensoren) waarin de omzetting van gemeten variabele naar meetwaarde met zo gering mogelijke storingen (meetfouten) plaatsvindt. Sinds de beschikbaarheid van microcomputers is het vergaand mogelijk om voor systematische storingen en meetfouten een compensatie uit te voeren, om eventuele niet-lineaire karakteristieken te lineariseren en om andere storende invloeden op een systematische manier uit te middelen. Meettechniek is daarmee sterk geëvalueerd tot een techniek voor het verwerken van gemeten variabelen, of met een ander woord: tot signaalverwerking. Als onze metingen worden uitgevoerd via de koppeling van een computer aan een expe-

riment, dan kunnen we nog verder gaan. De achtereenvolgens door de computer geregistreerde meetwaarden kunnen worden gehanteerd om achteraf een modelmatige interpretatie te geven aan de meetresultaten. De computer kan dit geautomatiseerd uitvoeren. Als meest eenvoudig geval kan gedacht worden aan het vinden van de beste lineaire relatie tussen twee verzamelingen gemeten variabelen. Als resultaat van een dergelijke regressieberekening ontstaat een uitkomst bestaande uit twee modelparameters. Als we deze werkwijze willen programmeren in de microcomputer van een on-line werkend meetsysteem, dan is het mogelijk om de berekening recursief in de tijd uit te voeren. Dit wil zeggen dat een stukje van de berekening herhaald wordt op elk tijdstip dat nieuwe meetwaarden beschikbaar komen. Op grond van deze nieuwe meetwaarden wordt een correctie gegeven aan de twee modelparameters die op grond van de voorgaande meetwaarden waren berekend. Op deze manier kan het meetsysteem voortdurend de meest recente waarden van de modelparameters berekenen. Het *meten* wordt dan eigenlijk vervangen door het *schatten* van parameters in een modelstructuur. Een voorwaarde voor het zinvol zijn van deze handelwijze is wel dat het gehanteerde model goed genoeg overeenkomt met de werkelijkheid. Als dit zo is, dan wordt een grote reductie bereikt in de hoeveelheid gemeten variabelen.

Een dergelijk recursief algoritme kan ook aangepast worden aan een situatie waarbij de samenhang tussen de variabelen in de tijd verandert. We "meten" dan de modelparameters alsof ze variabelen zijn die als functie van de tijd kunnen wijzigen. Dergelijke methoden kunnen zeer waardevol zijn bij omgevingsfysische experimenten zoals het experimenteel bepalen van een energiebalans boven een gewas. Als het gebruikte model in de schattingsprocedure wordt uitgebreid tot een dynamisch model, dan is het met soortgelijke methoden mogelijk om de parameters van een dynamisch systeem te schatten, d.w.z. om *systeemidentificatie* uit te voeren. De onderbouwing hiervoor levert de systeemtheorie met een (voor lineaire systemen) vrij complete theorie voor het optimaal filteren van stochastische processen [18, 19]. Het optimale filter vormt de grondslag voor veel methoden voor systeemidentificatie. Aangetoond is dat uit gemeten ingangs- en uitgangsvariabelen een complex model bepaald kan worden met behulp van

methoden voor systeemidentificatie, zelfs als dat model tientallen of honderden parameters bevat [20].

IX

In de literatuur vindt men velerlei toepassingen van de systeemidentificatie in vakgebieden die behoren tot het Wageningse aandachtsveld. Uitgebreide toepassingen zijn aanwezig in het vakgebied van de hydrologie [21], waar de modelvorming van de relaties tussen neerslag, verdamping en waterafvoer in aanzienlijke mate op experimentele gegevens moet worden gebaseerd [22]. Bij de modelvorming van de waterkwaliteit van een rivier worden de resultaten van experimenten gebruikt voor het schatten van parameters in dynamische modellen en voor de validatie van deze modellen [23, 24]. Voor de modelvorming van de luchtverontreiniging boven industriegebieden wordt op uitgebreide schaal gebruik gemaakt van technieken van systeemidentificatie [25]. Het blijkt dat de uit experimenten bepaalde dynamische modellen gebruikt kunnen worden voor het on-line schatten of voorspellen van de vervuilingconcentraties [26, 27]. Voor een meer algemene klasse van omgevingssystemen is door Young [28] aangegeven op welke wijze de methoden van de systeemidentificatie tot zinvolle en bruikbare resultaten kunnen leiden. Hij onderkent omgevingssystemen als "slecht gedefinieerd" waarmee op twee bijzondere omstandigheden wordt gedoeld. In de eerste plaats zijn de omvang en complexiteit van omgevingssystemen veelal zodanig, dat het niet a priori duidelijk is welke fysische of (bio)chemische verschijnselen of mechanismen dominant zijn in het waargenomen gedrag van het systeem. Dit betekent dat men in sommige gevallen genoeg zal moeten nemen met een model dat de waarnemingen verklaart zonder dat dit model een diepere fysische of chemische uitleg kan leveren. In de tweede plaats is men bij het vergaren van meetgegevens van omgevingssystemen vrijwel niet in staat om het systeem op een geplande manier te exciteren of te verstoren, met het doel om de gemeten variabelen meer zeggingskracht over het systeemgedrag te geven. Meestal kunnen alleen de van nature aanwezige variaties in de variabelen voor het fitten van een model gebruikt worden. Onder deze beperkingen blijken

eenvoudige modellen toch een goede representatie van de werkelijkheid te kunnen geven [22, 29] mits deze bepaald worden met de meest geschikte identificatiemethode.

X

Het derde aspect van de systeemtechniek dat ik wil noemen is de *systeemanalyse* en het ontwerp van *terugkoppeling*. Het vakgebied van de regeltechniek maakt heel wezenlijk gebruik van deze gereedschappen. De gedachtengang daarbij is als volgt. In de regeltechniek wordt geprobeerd om procesvariabelen een gewenst verloop te laten hebben. In feite doen we dit zelf in ons dagelijks leven vele malen. De bestuurder van een auto neemt waar welke baan zijn auto volgt. Als die baan dreigt af te wijken van de gewenste baan, zal hij proberen een correctie uit te voeren met het stuur. Op dezelfde manier kunnen we proberen om technische of natuurlijke processen te beïnvloeden of te besturen. Belangrijk is dat we alleen dan een goede corrigerende actie op een proces kunnen uitvoeren, als we weten hoe ons proces daarop zal reageren. In andere taal: de toepassing van de regeltechniek eist dat we beschikken over een dynamisch *model* van ons proces, en dat we dat model kennen in zijn meest belangrijke eigenschappen. Voor de analyse van systeemeigenschappen heeft de systeemtheorie een groot aantal gereedschappen beschikbaar. Met computersimulaties kan aanvullend hierop verdere kennis en ervaring over het systeemgedrag vergaard worden.

XI

Veel fundamenteelere problemen ontstaan bij het ontwerp van terugkoppeling. In het geval van de bestuurder van een auto kunnen we constateren dat het gevolg van een stuurcorrectie opnieuw door de bestuurder wordt waargenomen met het vanzelfsprekende resultaat dat de bestuurder reageert op zijn eigen stuurgedrag. We zeggen dan dat hier van *terugkoppeling* sprake is. Het begrip terugkoppeling is ontstaan in de twintiger en dertiger jaren toen de techniek van teruggekoppelde elektronische versterkers voor langeafstandscommunicatie

ontwikkeld werd. Het begrip is in de vijftiger jaren bij het ontstaan van de regeltechniek als meest wezenlijk aspect van het vakgebied naar voren gekomen. Door de manier van terugkoppelen kunnen we immers de stabiliteit of instabiliteit van een systeem veranderen. Als terugkoppeling toegevoegd wordt aan een bestaand systeem zal het meestal de bedoeling zijn dat een stabiel en voldoende gedempt gedrag ontstaat. Is het effect van de terugkoppeling gering, dan worden afwijkingen van het gewenste verloop van het proces onvoldoende gecorrigeerd; is het effect van de terugkoppeling groot, dan bestaat gevaar voor overcorrectie, opslingering of instabiliteit.

De terugkoppeling moet dus precies aangepast worden aan de systeem-eigenschappen en dat is de grootste zorg voor de regeltechnicus.

Daarnaast zien we dat in veel processen van nature terugkoppeling aanwezig is. In de biologie zal een populatie bij onbelemmerde groeiomstandigheden een groeisnelheid vertonen die evenredig is met de omvang van de populatie. We kunnen dit opvatten als een vorm van positieve terugkoppeling: een variatie in de omvang wordt niet tegengewerkt maar juist versterkt, waardoor een instabiel systeemgedrag ontstaat. De interactie van de populatie met andere mechanismen kan nu voor andere terugkoppel-effecten zorgen. Een mogelijk tegenwerkend verschijnsel zoals een beperkte voedselvoorraad zal als negatieve terugkoppeling optreden en kan het systeem stabiliseren. In het algemeen is de stabiliteitsproblematiek veel ingewikkelder dan een eenvoudige samenhang met positieve of negatieve terugkoppeling suggereert [30].

We vinden het mechanisme van de terugkoppeling bij de bestudering van de werking van hormonen en op verschillende gecompliceerde manieren bij de groeiprocessen in de cel. Het is opmerkelijk hoeveel begrippen uit de systeemtheorie een fundamentele rol blijken te spelen in de biochemie en de biofysica [31].

Over het vierde aspect van de systeemtechniek, de *instrumentatie*, de *sensoren* en de *micro-elektronica* wil ik kort zijn. Veel aspecten heb ik al genoemd. Voor velen zal het gebruik van moderne sensoren in een meetopstelling of het doen van experimenten waarbij een on-line microcomputer de signalen verwerkt de eerste kennismaking vormen met de meet-, regel- en systeemtechniek. Voor sommigen kan dit een

verdere kennismaking met dit vakgebied betekenen. De werkelijke kracht van de micro-elektronica voor onderzoekprojecten wordt pas benut als van signaalverwerkings- en identificatietechnieken gebruik gemaakt wordt op een zodanige wijze dat een beter, nauwkeuriger of sterker onderbouwd onderzoekresultaat hiervan het gevolg is.

XII

Uit het voorgaande blijkt dat de rol van de meet-, regel- en systeemtechniek voor een belangrijk deel ligt in het fungeren als tussenschakel tussen de fundamentele vakgebieden zoals de wiskunde of de fysica enerzijds, en de toegepaste natuurwetenschappelijke vakgebieden anderzijds. De consequentie hiervan is, dat de sectie Meet-, Regel- en Systeemtechniek in zijn onderzoekactiviteiten zijn rol heeft gezocht in samenwerkingsprojecten die gericht zijn op toepassingen. Enkele van die projecten wil ik nader toelichten.

Het oudste project heb ik u al genoemd, het onderzoek naar de regeltechnische beheersing van het klimaat in tuinbouwkassen. Het project wordt in samenwerking met de eerder genoemde partners voortgezet omdat over het eigenlijke probleem, het beschrijven van de samenhang tussen het kasklimaat, het microklimaat in het gewasdek, de uitwisselingsprocessen met het gewas en de dagelijkse groei van het gewas, wel meer duidelijkheid is verkregen maar in zijn totale complexiteit nog lang niet is opgelost. Van belang is verder om de samenhang tussen energiebalans en vochthuishouding uitgebreider te beschrijven en om beter te begrijpen hoe de natuurlijke variaties in het buitenklimaat als storingen doorwerken op het kasklimaat en op het gewas. Naast een fysisch model waaraan vanuit de sectie Technische Natuurkunde wordt gewerkt, zou een stochastisch model hiervoor belangrijke inzichten kunnen leveren. Gebleken is uit het werk van Udink ten Cate [15] dat met methoden van systeemidentificatie waardevolle modellen van het dynamisch gedrag van het kasklimaat kunnen worden verkregen. Het lijkt de moeite waard, om deze methodiek verder uit te bouwen en modellen met meer variabelen te gaan schatten die tevens de samenhang representeren met de stochastische processen van het buitenklimaat.

Een tweede project wordt uitgevoerd in samenwerking met de Technisch-Fysische Dienst voor de Landbouw (TFDL). In het kader van het ontwikkelen van nieuwe meetopnemers voor landbouwkundige toepassingen, waarbij gebruik gemaakt wordt van de moderne micro-elektronica, is gestart met het ontwikkelen van een verbeterde meetmethode voor een door TFDL ontwikkelde warmtepuls- sapstroomopnemer. Een sapstroomopnemer geeft een signaal dat een maat is voor het vochttransport door de stengel van een plant. Met behulp van systeemidentificatietechnieken wordt geprobeerd de meetmethode zo te verfijnen dat de combinatie van sensor en een in een microprocessor ondergebracht rekenalgoritme tesamen een betrouwbaar meetinstrument vormen. De resultaten blijken een aanzienlijke verbetering in de betrouwbaarheid van de meetmethode te kunnen opleveren.

XIII

Een derde project zal worden uitgevoerd in samenwerking met de sectie Proceskunde, vakgroep Levensmiddelentechnologie. Het doel is om na te gaan in hoeverre met behulp van systeemidentificatiemethoden en met een Kalman-filter een meetsysteem voor een fermentor kan worden ontwikkeld. Een probleem bij fermentatieprocessen is het feit dat slechts een beperkt aantal variabelen direct gemeten kan worden. Bij het bedrijven van de fermentor kan het van belang zijn om afwijkingen van de gewenste procescondities voldoende snel te kunnen detecteren. Een in een microprocessor ondergebracht filter of monitorsysteem, dat on-line gekoppeld is met de meetopnemers van een fermentor, kan een schatting maken van enkele niet gemeten maar wel belangrijke procesvariabelen. De modelkennis die hiervoor nodig is over het fermentatieproces dient enerzijds gebaseerd te zijn op massa- of componentbalansen, anderzijds kan empirische modelkennis worden verkregen door een lerend of adaptief filter te gebruiken.

Tenslotte wordt bijgedragen aan een project van de vakgroep Waterzuivering dat tot doel heeft om een regeling voor een actiefslibzuiveringsinstallatie te kunnen ontwerpen. De regeling moet de zuurstoftoevoer aanpassen aan de behoeften van de processen van nitrificatie en aerobe eliminatie van organische stoffen. Bij de vakgroep

Waterzuivering is veel modelkennis aanwezig over de omzettingen die in een dergelijk proces optreden. Op basis hiervan wordt voor een dergelijke installatie een dynamisch model opgesteld dat mede gebaseerd wordt op experimenten uit te voeren aan een proefinstallatie. Verschillende manieren van regelen zullen aan het model worden onderzocht. De belangrijkste verstoringen in het proces treden op in de vorm van variaties in de samenstelling en in het debiet van het ingaande afvalwater. Essentieel in het probleem is de vraag, welke procesvariabelen op een betrouwbare manier gemeten kunnen worden. Met behulp van een on-line te gebruiken microprocessor zullen uitgebreide experimenten aan de proefinstallatie plaatsvinden. Getracht zal worden om een ontworpen regeling te implementeren op een microprocessor en in zijn werking bij de proefinstallatie te evalueren. Bij de keuze van de beide hierboven omschreven projecten heeft meegespeeld de overweging, dat het operationeel maken van kennis en ervaring uit het gebied van de meet-, regel- en systeemtechniek op biotechnologische processen als waardevol gezien mag worden.

XIV

Het onderwijs vormt de bestaansreden voor een groep binnen een universiteit. De overwegingen die in het voorgaande zijn genoemd vormen de ondergrond voor het onderwijs dat door de sectie meet-, regel- en systeemtechniek verzorgd wordt. In vier aparte colleges worden de regeltechniek, de modelvorming, de meettechniek en de signaalverwerking met rekenmachines aan de orde gesteld. Elk van deze colleges wordt gecomplementeerd door een practicum, waarin de studenten zelf met de apparatuur en computersystemen moeten omgaan. Een groot deel van dit onderwijs is in de afgelopen jaren nieuw ingevuld. Daarnaast wordt gewerkt aan de voorbereiding van een college en practicum systeemidentificatie. Een belangrijke ontwikkeling heeft ook kunnen plaatsvinden in het elektronica-onderwijs. Naast de basiscursus Elektronica is een nieuw college Micro-processoren gestart, dat door een extra medewerker wordt verzorgd in een samenwerkingsverband met de vakgroep Informatica. Uit de grote belangstelling voor dit college en het bijbehorende practicum, kan worden afgeleid dat het in

een behoefte voorziet. Voor een beperkt aantal geïnteresseerden lijkt het de moeite waard om een vervolgcursus aan te bieden, waarin met name door een groot practicumtaandeel de kennis en ervaring met onderwerpen zoals interfacing, koppeling van micro-processor aan sensoren, data-communicatie en softwareopbouw verder operationeel gemaakt kunnen worden.

Opvallend gedurende de afgelopen jaren is de toename van het aantal studenten dat een doctoraalopdracht op het gebied van de meet-, regel- en systeemtechniek uitvoert. De opdrachten liggen in de sfeer van de hiervoor genoemde onderzoekprojecten of zijn gebaseerd op samenwerkingsprojecten zoals die regelmatig voorkomen met vakgroepen zoals Landbouwtechniek, Hydraulica en Afvoerhydrologie of Informatica.

XV

In het voorgaande heb ik geprobeerd aan te geven op welke manier de meet-, regel- en systeemtechniek een bijdrage kan leveren aan het onderwijs en onderzoek op het gebied van de landbouwwetenschappen. Het vakgebied kan een groot aantal gereedschappen aanreiken, die door hun algemeen toepasbare karakter op veel verschillende landbouwkundige vakgebieden in principe bruikbaar zijn. Tussen het "in principe bruikbaar zijn" en "gebruikt worden" ligt echter een groot niemandsland. De gereedschappen van de systeemtechniek zullen pas gebruikt worden, als potentiële gebruikers een zekere basiskennis over de methoden en gereedschappen bezitten. Daarnaast dient een sectie meet-, regel- en systeemtechniek te beschikken over een zekere ondersteunende infrastructuur op het gebied van computer- en instrumentatiefaciliteiten en op het gebied van de programmatuur. Het eerste punt is binnen de vakgroep Natuur- en Weerkunde tot een goed niveau ingevuld. Er is de beschikking over een eigen minicomputer, enkele microprocessorsystemen en een elektronica-ontwikkelingsgroep welke - hoewel te klein van omvang - de moderne ontwikkelingen uitstekend heeft weten te volgen. Op het tweede punt - gebruikersprogrammatuur op het gebied van de meet-, regel- en systeemtechniek - kan de potentiële gebruiker van het vakgebied nog niet voldoende aangereikt wor-

den. In de afgelopen jaren is getracht de achterstand in te halen. Het binnenhalen van programmatuur, deze aanpassen aan de beschikbare computersystemen en ervaring opdoen met het gebruik vormt een tijdsintensieve taak, die nog enkele jaren voortgezet zal moeten worden.

Als conclusie wil ik stellen dat de Landbouwhogeschool en de sectie Meet-, Regel- en Systeemtechniek elkaar veel te bieden hebben.

XVI

De techniek en de samenleving hebben de afgelopen tijd op gespannen voet met elkaar gestaan. De techniek heeft jarenlang onze welvaart doen vergroten. Verblind door de zegeningen van de welvaart heeft de samenleving gedurende lange tijd zich niet gerealiseerd welke negatieve effecten daardoor zijn ontstaan voor de leefbaarheid van onze samenleving en van ons milieu. Op deze situatie is in het afgelopen decennium een reactie ontstaan. Men heeft ingezien dat de samenleving keuzes moet maken ook ten aanzien van de technische mogelijkheden, en dat deze keuzes niet moeten worden overgelaten aan de techniek en de technici. Het gevaar bestaat nu dat de samenleving, in plaats van keuzes te maken, de techniek gaat aanmerken als de bron van alle kwaad en daarmee de techniek als zodanig verwerpt. Als een dergelijke ontwikkeling zich zou voortzetten, worden daarmee ook de positieve kanten van alle nieuwe technische mogelijkheden verworpen.

De psycholoog Fromm [32] lijkt hierop te doelen: "Ondergangsvoorstellingen zijn in onze tijd aan de orde van de dag en worden zelfs steeds veelvuldiger gehoord. Zij bezitten zonder twijfel de belangrijke functie, de huidige mens op de dreigende gevaren van zijn situatie te wijzen, maar houden daarbij te weinig rekening met de grote beloften voor de toekomst, die gelegen zijn in de ontwikkeling der natuurwetenschappen, in de bereikte resultaten op psychologisch, geneeskundig en artistiek gebied. Al deze behaalde resultaten wijzen op de aanwezigheid van sterke scheppende machten in de mens, die zich met het beeld van een tot ondergang gedoemde cultuur niet laten rijmen". Hij concludeert: "Het is de mens zelf die beslissen moet".

Naar mijn mening dient een opvoeder aan een universiteit de jonge ge-

neratie te brengen tot een punt waarop deze generatie zijn keuzes kan maken en zijn beslissingen kan nemen. Dit houdt in dat een tegenwicht wordt geboden voor het doemdenken. Een facet daarvan, het verzet tegen het eigentijdse, is door de historisch-pedagoge Dasberg in haar inaugurele rede als volgt verworpen [33] :

"We zien dat allereerst in het verzet tegen technologie, automatisering, industrialisatie en urbanisatie met verschijnselen als flats, auto's en TV. Ook hier schijnt het weer niet te gaan om medemensen die deze fenomenen vrijwillig tot stand hebben gebracht, omdat ze dachten dat de leefbaarheid erdoor zou toenemen en die dus ook weer door andere mensen met redelijke argumenten gematigd zouden kunnen worden, nu blijkt dat de leefbaarheid er ook schade van ondervindt. Nee, weer schijnt een bovennatuurlijke ontwikkeling de Goede Oude Tijd te verstoren. Als alternatief wordt de leuze "Terug tot de Natuur" weer aangeheven, met het hutje op de hei, agrarische communes en macrobiotiek. "Het natuurlijke" moet weer norm worden, als tegenkracht van cultuur. Zo kort na het nazisme, dat hetzelfde devies in 't wapen voerde, is men al weer vergeten wat de verheffing van de natuur tot norm voor gevaren met zich meebrengt voor gebrekkigen, seksuele alternatieven, bejaarden en interracialen samenlevingen".

Opdat de jongere generatie in staat is om echte keuzes te maken met betrekking tot de mate waarin de nieuwe technische mogelijkheden gebruikt moeten worden, acht ik het essentieel dat die nieuwe technische ontwikkelingen in het onderwijs aan de orde komen.

XVII

Dames en Heren,

Aan het einde van deze rede wil ik Hare Majesteit de Koningin danken voor mijn benoeming tot buitengewoon hoogleraar. Het College van Bestuur zeg ik dank voor het in mij gestelde vertrouwen.

Hooggeleerde Schenk, beste Jaap. Je hebt indertijd aan de wieg gestaan van de sectie Meet-, Regel- en Systeemtechniek. Je hebt deze groep sindsdien je steun gegeven. Ik wil je daarvoor dank zeggen en ik hoop dat de groep ook in de toekomst op je steun kan blijven rekenen.

Hooggeleerde Van Dixhoorn, beste Jan. Met jouw komst naar Wageningen is tien jaar geleden de groep Meet- Regel- en Systeemtechniek ontstaan. Onder jouw leiding heeft de groep in belangrijke mate zijn rol in de Wageningse wereld duidelijk kunnen maken.

Leden van de Vakgroep Natuur- en Weerkunde.

Met U allen heb ik op hartelijke en plezierige wijze kennis mogen maken. Door mijn beperkte aanwezigheid in Wageningen heb ik mijn aandacht in eerste instantie moeten richten op de eigen sectie. Ik weet echter, dat het verdere contact met sommigen van U nog nader uitgebouwd zal moeten worden. Het contact en de samenwerking met de leden van de electronica-ontwikkelingsgroep van de vakgroep ervaar ik als erg waardevol. Daarnaast heb ik van een van de vakgroepleden veel steun ondervonden. Bas Lammers, jouw heldere inzicht in de Wageningse situatie en je bereidheid om problemen te analyseren is voor mij van grote betekenis.

Leden van de sectie Meet-, Regel- en Systeemtechniek.

Gedurende de afgelopen jaren hebben verschillende personen de leiding over de sectie gehad. Het gevolg was dat jullie werden geconfronteerd met telkens andere wensen, ideeën en opvattingen. Het zal duidelijk zijn dat dit veel van jullie heeft gevergd. Voor het begrip dat jullie naar mij toe getoond hebben wil ik jullie danken. Beste Alexander, het is jouw verdienste geweest dat bij mijn binnenkomst een goed lopende sectie werd aangetroffen. Beste Gerrit, ik ben jou veel dank verschuldigd. Mijn deeltijd baan in Wageningen is door jou in belangrijke mate aangevuld en veel nieuwe ontwikkelingen zijn aan jouw inspanning te danken. Beste Willem, Dimitri en Wim. Een groot deel van de recente vernieuwing van het onderwijs van de sectie is dankzij jullie werk tot stand gekomen.

Heren van de Technische Hogeschool te Delft.

U wil ik dank zeggen voor de mogelijkheid die u mij gaf om het werk in Delft enige jaren gedeeltelijk te onderbreken, zodat ik mijn benoeming in Wageningen kon aanvaarden.

Dames en Heren studenten.

U zult in de toekomst de keuzes moeten maken waarover ik zojuist gesproken heb. Ik hoop dat de sectie Meet-, Regel- en Systeemtechniek een bijdrage kan leveren aan de inzichten die hiervoor noodzakelijk zijn. Wellicht kan ons vakgebied de schakel vormen tussen de fundamentele vakken en de toepassingen waarbij die keuzes nodig zullen zijn.

Ik heb gezegd.

LITERATUUR

- [1] A.F.G. Hanken, J.C. Zadoks
Kunst, Kitsch of Kunde - Het Vraagstuk van de Integratie en de Integriteit der Wetenschappen. Rede uitgesproken ter gelegenheid van de 60e Dies Natalis, Landbouwhogeschool Wageningen, 9 maart 1978.
- [2] N. Wiener.
Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine. Cambridge, Ma., MIT' Press, 1948.
- [3] R.E. Kalman, P.L. Falb, M.A. Arbib.
Topics in Mathematical Systems Theory. New York, McGraw-Hill, 1969.
- [4] H. Kwakernaak, R. Sivan.
Linear Optimal Control Systems. New York, Wiley-Interscience, 1972.
- [5] J.C. Willems.
The Analysis of Feedback Systems. Cambridge, Ma., MIT Press, 1971.
- [6] L. Von Bertalanffy.
An Outline of General System Theory. Brit-Journ. for the Philosophy of Science. Vol. 1 (1950/1951), pp. 134-165.
- [7] J.W. Forrester.
World Dynamics. Cambridge, Ma., Wright-Allen Press, 1971.
- [8] P.E. Caines.
Society, Research Policy and Systems Science. Proc. 1977 IEEE Conf. on Decision and Control, pp. 455-458.
- [9] K. Bertels, D. Nauta.
Inleiding tot het modelbegrip. Amsterdam, Wetenschappelijke Uitgeverij, 1974.

- [10] A. Rosenblueth, N. Wiener.
The Role of Models in Science. *Philosophy of Science*, vol. 12 (1945), pp. 316-321.
- [11] R.E. Kalman.
Comments on the Scientific Aspects of Modeling. Unpublished manuscript, april 1974, 16 pp.
- [12] R. Bellman.
Mathematical Aspects of the Theory of Systems. *Proc. Symp. on System Theory*, Polytechnic Inst. of Brooklyn, April 20-22, 1965; pp. 15-27.
- [13] H.G. Kwatny, V.E. Mablekos.
The Modeling of Dynamic Processes. *Proc. 1975 IEEE Conf. on Decision and Control*, pp. 271-281.
- [14] C.T. de Wit et al.
Simulation of Assimilation, Respiration and Transpiration of Crops. *Simulation Monographs*, PUDOC, Wageningen, 1978.
- [15] A.J. Udink ten Cate.
Modeling and (Adaptive) Control of Greenhouse Climates. *Dissertatie*, Landbouwhogeschool, Wageningen 1983.
- [16] K.J. Aström, P. Eykhoff.
System Identification - A Survey. *Automatica*, vol. 7 (1971), pp. 123-162.
- [17] R. Isermann (Ed.).
Identification and system parameter estimation. *Special Issue*, *Automatica*, vol. 17 (1981) no. 1.
- [18] J.C. Willems.
Recursive Filtering. *Statistica Neerlandica*, vol. 32 (1978), no. 1, pp. 1-39.

- [19] T. Kailath.
A View of Three Decades of Linear Filtering Theory. IEEE Trans. on Information Theory, vol. IT-20 (1974) no. 2, pp. 146-181.
- [20] G.A. van Zee.
System Identification for Multivariable Control. Dissertatie, Technische Hogeschool, Delft, 1981.
- [21] K.W. Hipel, A.I. McLeod.
Perspectives in Stochastic Hydrology. Proc. Int. Conf. on Time Series, Nottingham Univ., March 1979; O.D. Anderson, Ed. North-Holland Publ., Amsterdam, 1980; pp. 73-102.
- [22] B. Lorent, M. Gevers.
Identification of a Rainfall-Runoff Process. Proc. 4th IFAC Symp. on Identification and System Parameter Estimation, Tbilisi, USSR, sept. 1976.
- [23] B. Beck, P.C. Young.
Systematic Identification of DO-BOD Model Structure. Journ. Envir. Eng. Div., Proc. Amer. Soc. Civil Engrs., vol 102 (1976), no. EE-5, pp. 909-927.
- [24] M.B. Beck.
Random Signal Analysis in an Environmental Sciences Problem. Applied Mathematical Modelling, vol. 2 (1978), pp. 23-29.
- [25] A.A. Desalu, L.A. Gould, F.C. Schweppe.
Dynamic Estimation of Air Pollution. IEEE Trans. Aut. Control, vol. AC-19 (1974). no. 6, pp. 904-910.
- [26] C. Bonivento, et al.,
The Use of Stochastic Models in Air Pollution Prediction and Control. In: Numerical Techniques for Stochastic Systems, F. Archetti, M. Cugiani (Ed.); North Holland, Amsterdam, 1980, pp. 161-186.

- [27] Y. Sawaragi et al.,
Statistical Prediction of Air Pollution Levels using Non-Physical models. *Automatica*, vol. 15 (1979), pp. 441-451.
- [28] P.C. Young.
General Theory of Modeling for Badly Defined Systems. In: *Modeling, Identification and Control in Environmental Systems*, G.C. Vansteenkiste (Ed.); North Holland, Amsterdam, 1978; pp. 103-135.
- [29] A.J. Jakeman, P.C. Young.
Time Series Methods in Biological and Medical Data Analysis. *Proc. 5th IFAC Symp. Identification and System Parameter Estimation*, R. Isermann (Ed.); Pergamon, Oxford 1979, pp. 1219-1225.
- [30] A.G.J. MacFarlane.
Feedback.
Measurement and Control, vol. 9 (1976), pp. 449-462.
- [31] M. Eigen.
Selforganisation of Matter and the Evolution of Biological Macromolecules. *Die Naturwissenschaften*, 58 (1971), H. 10, pp. 465-523.
- [32] E. Fromm.
De Zelfstandige Mens. Een bijdrage tot de Psychologie der Ehtiek. Utrecht, Bijleveld 1955; p. 205, 206.
- [33] L. Dasberg.
Pedagogie in de Schaduw van het Jaar 2000 of Hulde aan de Hoop. Meppel/Amsterdam, Boom, 1980; p. 23.