

# HEER EN MEESTER?

Systeemtechnologie in landbouw en milieu

door prof.dr.ir. G. van Straten



Inaugurele rede uitgesproken op 7 februari 1991  
bij de aanvaarding van het ambt van hoogleraar  
in de Meet-, Regel- en Systeemtechniek aan de  
Landbouwuniversiteit te Wageningen.

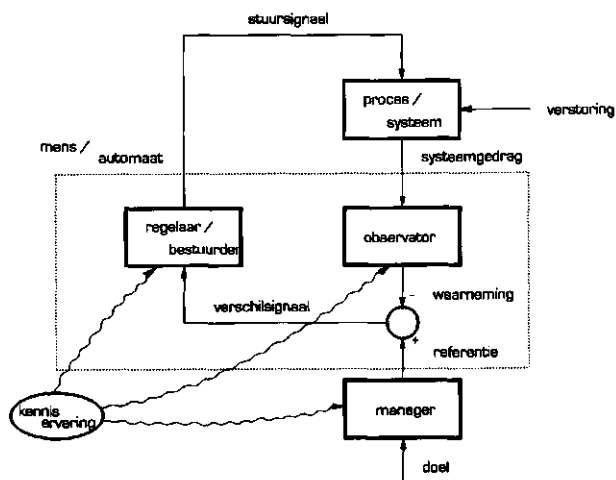
ISBN 279680

## HEER EN MEESTER?

### Systeemtechnologie in landbouw en milieu

*Mijnheer de rector, dames en heren*

Er is weleens gezegd dat er drie voorwaarden zijn voor de geluksbeleving van de mens: niet alleen zijn, iets nieuws meemaken, en controle over je vertrouwde omgeving (Frijda<sup>1</sup>). Reeds in de oudheid heeft de mens ernaar gestreefd zijn omgeving onder controle te brengen. Processen als voedselvoorziening, kleding, huisvesting, energievoorziening en vervoer bestaan al zolang als de mens zelf, en hebben altijd één of andere vorm van beheersing nodig gemaakt. Vuur kan worden geregeld met de luchttoevoer en door er meer of minder hout op te gooien. Een boot kan worden gestuurd van A naar B. Deze voorbeelden, hoe primitief ook, bevatten reeds de belangrijkste ingrediënten van de procesbeheersing: er is een systeem waarvan we het gedrag willen beheersen (systeem of proces), er is een idee hoe dat ideale gedrag er uit ziet (doel), er is een toetsingsgrootheid voor het gedrag (referentie of gewenst gedrag), en er is een waarneming van het feitelijke gedrag (meting van de uitgangsvariabele). Als het feitelijke gedrag en het gewenste gedrag van elkaar verschillen volgt er een correctie: er wordt – letterlijk – bijgestuurd. Hoe dit precies gebeurt wordt bepaald door een denkproces van de mens die op basis van kennis en ervaring de afwijking vertaalt in een stuursignaal waarmee het systeem weer in het gareel te krijgen is. Het kenmerkende aspect in deze gang van zaken is de terugkoppeling van: uitgang naar ingang.

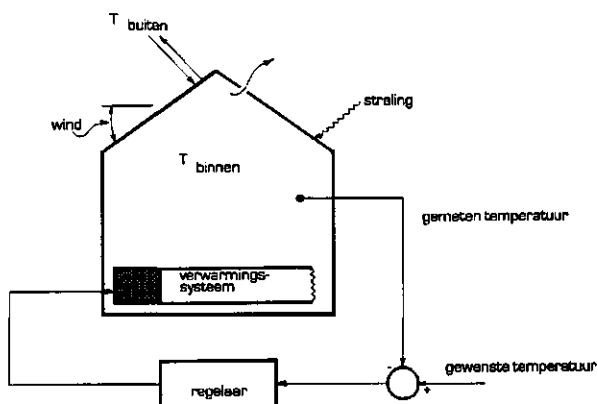


De elementen van deze regelsystemen avant la lettre zijn alle terug te vinden in de huidige procesbeheersing. Het kenmerkende verschil ontstond echter door de intrede van technische middelen waardoor de terugkoppeling op een automatische wijze, dus zonder tussenkomst van de mens, kon verlopen. Enkele bekend voorbeelden van vroege automatisch geregelde systemen zijn de constante temperatuur oven van Cornelis Drebbel (1572-1633) en de beroemde reguleerder van James Watt (1788)<sup>2</sup>. Deze vervanging van het

menselijke proces door een automatisch systeem was een vooruitgang, omdat het nu mogelijk was processen te beheersen waarvoor de mens te traag, te beperkt of simpelweg te lui was. Hierdoor kwam een veelheid van nieuwe producten en processen binnen handbereik. Bovendien leidt automatische regeling tot grotere efficiëntie en een aanzienlijk geringere spreiding in kwaliteit.

De titel die ik aan deze openbare les heb meegegeven is "Heer en Meester?". In deze titel zit een suggestie en een vraag. Zolang de mens er is heeft hij er naar gestreefd de natuur meester te worden ten eigen bate. Hij heeft daartoe techniek ontwikkeld die moest kunnen worden gehanteerd en daarom moest kunnen worden bestuurd en beheerst. De *suggestie* is dat het streven erop is gericht heer en meester te zijn over natuur en techniek; de *vraag* is tot op welke hoogte dit mogelijk en gewenst is. In deze rede wil ik ingaan op de bijdrage die mijn vakgebied kan leveren aan een verantwoord omgaan met natuur en techniek, en dan vooral op de deelterreinen van de Landbouw-universiteit: landbouw en milieu. Ik hoop middels een concentrische opbouw in steeds wijder wordende kringen duidelijk te maken dat het vakgebied veel breder inzetbaar is dan voor regeling in beperkte zin.

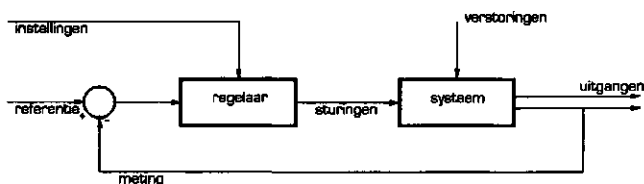
Een belangrijke conclusie zal zijn dat geavanceerde beheersing alleen goed mogelijk is als we een goed beeld hebben van het gedrag van het systeem. Zo'n beeld noemen we een model. Het zal blijken dat het model een cruciale rol speelt. Dat is zo in vele wetenschapsgebieden, dus daarin staat de meet- en regeltechniek niet alleen. Maar de beschouwingswijze



van een proces als informatieverwerkend systeem, die in de meet- en regeltechniek gemeengoed is, is wel uniek en van groot nut, ook in toepassingen waarbij de regeling pur sang niet voorop staat. Deze denkwijze, en het bijbehorende complex van methoden duidt ik aan met de term systeemtechnologie. Ik kies met opzet voor 'technologie' in plaats van 'techniek', omdat het niet zozeer gaat om de technische realisatie, maar meer om het geheel van werkwijzen en methoden waarbij het proces als (informatieverwerkend) systeem wordt gezien.

### *Basisprincipes*

Ieder van U kent wel het principe van de centrale verwarming met thermostaat. Het doel van de regeling is de temperatuur gelijk te houden aan een door de gebruiker gewenste waarde. De eenvoudigste strategie is de brander van de ketel in te schakelen als de



temperatuur lager is dan gewenst, en weer uit zodra de temperatuur hoger is.

Laten we het centrale verwarmingssysteem eens wat nauwkeuriger bekijken, met de bril van een systeemdynamicus. Allereerst is er het systeem of proces. In dit geval is dat het huis, beschreven via zijn temperatuur. Als we niets doen zal na verloop van tijd de temperatuur gelijk worden aan de temperatuur van de buitenlucht. Dit gaat niet onmiddellijk maar het duurt een tijdje. We zeggen dan dat het systeem dynamica heeft. Een huis is voor wat betreft zijn temperatuur dus een dynamisch systeem. Het gedrag wordt behalve door de eigenschappen van het huis, zoals bijvoorbeeld de inhoud en de soort muren, mede beïnvloed door de inwerkingen van buiten af. Deze inwerkingen worden storingen genoemd. In het geval van het huis zijn dat zaken als de buitenlucht temperatuur, de windsnelheid, de zonnestraling, maar ook de extra ventilatie door het openen van ramen of

deuren. Natuurlijk zijn er ook bedoelde inwerkingen op de temperatuur: in dit geval de warmte die door het verwarmingssysteem wordt geleverd. Zulke inwerkingen heten sturingen. Met behulp van de sturingen kunnen we het systeem beïnvloeden, bijvoorbeeld om correcties aan te brengen als de werkelijke toestand (hier de temperatuur) afwijkt van de gewenste toestand. Om afwijkingen te kunnen vast stellen is een meting nodig: hier van de temperatuur. Deze wordt vergeleken met de door de gebruiker ingestelde waarde. Dit is de referentiewaarde. De referentiewaarde wordt bepaald door het doel dat de gebruiker voor ogen staat, bijvoorbeeld het handhaven van een bepaald niveau van comfort. Het verschilsignaal wordt aangeboden aan de regelaar. De taak van de regelaar is om het verschilsignaal om te zetten in een sturing van het corrigerende orgaan. In het eenvoudigste geval van een aan-uit regelaar is het signaal: branden als de temperatuur lager is dan gewenst, niet-branden als de temperatuur hoger is. De brander, de ketel, het buizenstelsel en de radiatoren vormen samen het corrigerende orgaan. In het algemeen zullen zowel de regelaar als het corrigerend orgaan zelf ook weer dynamische systemen zijn. Iedereen weet dat het enige tijd duurt voordat de radiatoren warm zijn geworden als de verwarming wordt ingeschakeld. Het is meestal handig het corrigerend orgaan en alles wat daarbij hoort ook tot het systeem te rekenen. De regelaar zorgt dan alleen voor de sturing: brander aan of uit, of, bij een meer geavanceerde vorm: brander iets hoger of iets lager.

De regeltechniek houdt zich bezig met de vraag hoe we het beste gebruik kunnen maken van de te verkrijgen informatie om de door het doel opgelegde beheersing te realiseren. In heel veel gevallen kan dit probleem bevredigend worden opgelost door te kiezen voor een standaard regelconfiguratie. Een schatting voor de procesindustrie is 80 a 90%. Maar daarnaast is er een categorie problemen waarbij een standaardoplossing niet mogelijk is, dan wel geen goed resultaat zal geven. In die situaties is een veel diepgaander analyse en synthese nodig.

#### *Enkele bekende toepassingen in landbouw en milieu*

Laten we eerst om de gedachten te bepalen eens een paar klassieke voorbeelden van toepassing van meet- regel- en systeemtechniek in de landbouw en het milieubeheer bekijken.

Welhaast het meest aansprekende voorbeeld van toepassing van regeltechniek is te vinden in de kastuinbouw. Een kas is een systeem dat erop gericht is te zorgen voor een gunstig klimaat voor de produkten die erin worden geteeld, en zodoende niet alleen teelten beter af te schermen van de invloeden van het weer, maar ook teelten mogelijk te maken die anders in het geheel niet zouden kunnen. Gezien het feit dat de kas onderhevig is aan sterke invloeden van buitenaf is het niet verwonderlijk dat hier reeds in een vroeg stadium meet- en regeltechniek werd toegepast. De te beheersen klimaatfactoren zijn in de eerste plaats de temperatuur en het vochtgehalte van de kaslucht. Daarnaast kan ook het licht worden beïnvloed en tegenwoordig ook het koolzuurgehalte. Deze laatste twee factoren zijn uiteraard van direct



belang bij de fotosynthese die verantwoordelijk is voor de groei van de plant.

Nu is de regeling van het klimaat in een kas geen sinecure. De regelkringen voor vochtdeficiet en voor temperatuur zijn niet onafhankelijk, maar beïnvloeden elkaar. Bovendien is het set-point niet vast, maar variabel (dag-nacht, tevens ook verloop over het seizoen). De doelstelling van de tuinder is bij de klassieke regeling op een indirecte manier vertaald in een patroon van referentiewaarden dat zo goed mogelijk moet worden aangehouden. In dit patroon ligt een hoop ervaring en vakmanschap opgeslagen. Het aantal instellingen van de apparatuur is zo groot, dat dit tegenwoordig meestal gebeurt via een klimaatcomputer. Deze verzorgt ook de primaire regelingen, die echter op zichzelf nog op betrekkelijk eenvoudige algoritmes is gebaseerd.

Een ander voorbeeld van regeling treft men bij de afvalwaterzuivering. Een huishoudelijke installatie is onderhevig aan sterke schommelingen in de aanvoer van te zuiveren afvalwater. In aerobe installaties is meestal een zuurstofregeling ingebouwd om de zuurstoftoevoer aan te passen aan de wisselende behoefte. Bij nitrificerende installaties kan het ingestelde niveau worden gewijzigd om ervoor te zorgen dat het ammoniumgehalte in het effluent binnen de effluenteisen blijft.

In de voedingsmiddelenindustrie wordt een breed scala van processen toegepast. Sommige daarvan zijn biologisch van aard, bijvoorbeeld fermentaties. Hier wordt betrekkelijk veel geregeld. Interessant zijn ook de batchgewijze processen. Dit is zo ongeveer vergelijkbaar met het koken in het huishouden, alleen

kan het in de industrie gaan om vrij complexe recepten. Het automatisch afwerken van het recept door een geschikte vorm van sturing, ongeveer zoals de programmaklok in een wasautomaat doet, levert een interessant regel- en besturingsprobleem op.

Tenslotte nog een tweetal voorbeelden uit het waterbeheer. In het kwantitatieve beheer is het peilbeheer een voorbeeld van een regelsysteem. Soms gaat dit automatisch, zoals bij automatische stuwen in het hoge deel van Nederland, soms echter "met de hand" via het openen en sluiten van stuwijtjes en het bedienen van gemalen. In de kwalitatieve sfeer kan het tegengaan van algengroei door overmatige belasting met fosfaten en stikstofverbindingen (eutrofiëring) worden genoemd. Hierbij gaat het meestal niet om automatische regeling, maar meestal wel om het doorrekenen van de gevolgen van verschillende alternatieve maatregelen. Uit dit voorbeeld blijkt dat systeemtechnologie ruimer kan worden toegepast dan alleen voor regeling.

### *Nadere analyse op onderdelen*

#### *De doelfunctie*

In de bovenstaande voorbeelden is het doel uitgedrukt in gewenste waarden van de te regelen grootheden. Eventueel zijn dit patronen in de tijd. Zodra deze eenmaal zijn vastgelegd zal de regeling proberen deze waardes koste wat het kost te handhaven. Maar is dit wel altijd verstandig?

Stel dat we in de kas in staat zouden zijn de opbrengst van het gewas als functie van de klimaatfactoren te berekenen. Bovendien is bekend wat de

kosten zijn die gemaakt moeten worden om de klimaatfactoren te realiseren. In dit geval zouden we een regelstrategie kunnen proberen te ontwerpen, waarbij rechtstreeks het verschil tussen opbrengst en kosten wordt gemaximaliseerd. Het resultaat van een dergelijke strategie is dat de klimaatfactoren nu niet meer worden ingesteld, maar worden berekend. Daarbij kan de uitkomst best zijn dat zij mogen variëren als dit leidt tot het optimum van de doelfunctie. Deze werkwijze staat in de regeltheorie bekend als optimale regeling. Hiervan bestaan verschillende varianten, afhankelijk van de vraag of het om continu doorlopende processen gaat, of processen die aflopen in de tijd. In dat laatste geval spreekt men ook wel over tijd-optimaal sturen. Bepaalde kasteelten en batchprocessen in de voedingsmiddelenindustrie vallen in deze categorie. Een ander voorbeeld is de tijd-optimale sturing van robots (Van Willigenburg<sup>3</sup>).

Het woord optimaal in het voorgaande kan aanleiding geven tot misverstand. De optimaliteit heeft alleen betrekking op de gekozen doelfunctie. In veel gevallen wordt een doelfunctie gekozen waarvoor een wiskundige oplossing bekend is. Deze kan echter aanzienlijk afwijken van het werkelijk te optimaliseren doel. Daarnaast spelen veelal ook kwalitatieve factoren een rol, bijvoorbeeld het al of niet optreden van schimmel op de planten in een kas, die nopen tot een andere strategie. Het zou daarom beter zijn te spreken van optimaliserende regelaars.

Zoals gezegd heeft de doelfunctie veelal een bepaalde standaard vorm. Veel gebruikt wordt het zogenaamde lineair kwadratisch criterium. Toch zou het de moeite

waard zijn eens een catalogus te maken van mogelijk doelfuncties die de realiteit beter weergeven.

Verwarming van een kas kost geld, maar koeling gaat "vanzelf". Deze a-symmetrie moet in de doelfunctie naar mijn gevoel tot uiting komen. In het water-kwaliteitsbeheer is het geen bezwaar als de kwaliteit beter is dan de norm, terwijl normoverschrijding veel ernstiger is. Ook hier is een nadere analyse van wat eigenlijk ons doel is op zijn plaats. Nog sterker speelt dit een rol wanneer het doel slechts in vage, kwalitatieve termen is geformuleerd. Dit doet zich soms voor in de voedingsmiddelensector, bijvoorbeeld de smaak, of het uiterlijk van de producten, en natuurlijk in het milieubeheer waar de "opbrengsten" niet altijd zijn te kwantificeren. Dit vraagt om de inbreng van kwalitatieve methoden.

Hoe de doelfunctie er ook precies uit ziet, als het mogelijk is de optimale sturing te berekenen dan wordt daarmee in principe ook het probleem van de koppeling tussen regellussen opgelost omdat het regelalgoritme multivariabel is. Ondanks de aantrekkelijke eigenschappen is het aantal implementaties van optimaliserende regelalgoritmen in de praktijk nog niet bijzonder groot. Hiervoor zijn een paar oorzaken.

In de eerste plaats speelt het model een cruciale rol. Zonder goed model kan het optimum niet worden berekend. In de praktijk is het verkrijgen van een goed model echter zeer moeilijk. Hieraan is wel wat te doen maar daar kom ik later nog op terug.

In de tweede plaats is een optimaliserende regelaar zonder speciale voorzieningen niet zeer robuust. Robuust wil zeggen dat de regelaar zijn werk ook nog

goed blijft doen als de dynamica van het systeem enigszins wijzigt. Dit komt in de praktijk veel voor, bijvoorbeeld door langzame vervuiling, door veranderingen in grondstofsamenstelling, door verschuivingen in de biologische activiteit. Nader onderzoek naar robuustheid is dus noodzakelijk en vormt een van de thema's voor onze groep waarvoor wij de expertise in huis hebben (Bontsema<sup>4</sup>).

In de derde plaats zijn optimaliserende regelaars weinig flexibel. Zonder bijzondere maatregelen zijn kwalitatieve doelen en veranderingen in de vorm van de doelfunctie niet eenvoudig in te brengen. Dit betekent dat de gebruiker het gevoel heeft geen zeggenschap te hebben over de apparatuur: ieder ingrijpen brengt men immers af van het theoretisch optimum. Ook dit aspect verdient nader onderzoek.

Tenslotte is het zo dat het daadwerkelijke optimum alleen wordt bereikt als achteraf blijkt dat de verstoringen zich zo hebben voorgedaan als tevoren verondersteld. Dit is natuurlijk vrijwel nooit het geval. In situaties waarin de afwijkingen gering zijn is een goede compensator te bouwen. Maar in de praktijk van landbouw en milieu gaat het veelal om verstoringen die samenhangen met het weer, en deze kunnen zoals ieder weet aanzienlijk afwijken van de ideale langjarig gemiddelde waarden. Ook hiervoor zal dus een oplossing moeten worden gezocht<sup>5</sup>. Wel is het zo dat dit type verstoringen meestal redelijk goed kan worden gemeten, zodat er allerlei mogelijkheden voor feed-forward compensatie zijn die nader onderzoek verdienen.

## *Het meten*

Een essentieel onderdeel van de systeemtechnologie is het meten. In ons onderwijs besteden we veel aandacht aan de dynamica van het meetproces, de scheiding van signaal en ruis, en de onderdrukking van fouten. In het verlengde daarvan ligt de signaalanalyse, vooral ook in relatie tot de empirische bepaling van dynamische modellen voor systemen. Ook de techniek van de data-acquisitie met de problemen verbonden aan digitalisatie en bemonstering heeft de aandacht.

Indien het niet mogelijk is alle toestandsgrootheden van een proces te meten (en meestal is dit niet mogelijk), dan kan men proberen met een geschikt model de niet gemeten grootheden te reconstrueren. Een voorbeeld daarvan doet zich voor in het water-kwaliteitsbeheer waar het niet mogelijk is overal tegelijk te meten (Kersten<sup>6</sup>). Toestandsreconstructie is ook belangrijk is wanneer het gaat om de chemische kwaliteit van een produkt, bijvoorbeeld de smaak van tomaten. Goedkoop uit te voeren metingen moeten dan samen met een model worden gebruikt voor de reconstructie, waarbij een dure, tijdrovende meting van de kwaliteit alleen incidenteel wordt verricht om het model bij te stellen

Een andere en in principe natuurlijk te preferen weg is de ontwikkeling van nieuwe sensoren. Collega Huijsing<sup>7</sup> heeft er in zijn recente intreerede bij de TU Delft op gewezen dat Nederland in de ontwikkeling van intelligente sensoren een achterstand dreigt op te lopen. Voor de ontwikkeling van sensoren als zodanig is veel specialistische kennis nodig. Wij concentreren ons op de ontwikkeling van (dynamische)

meetprocedures waarmee het mogelijk is proces-snelheden rechtsstreeks te meten. Een voorbeeld: in de afvalwaterzuivering is het mogelijk de actuele respiratiesnelheid van het actief slib te meten. Hiervoor is in het verleden door de vakgroep waterzuivering in samenwerking met de sectie MRS de zgn. WAZU-meter ontwikkeld<sup>8</sup>. Ook aan de UT is aan dit onderwerp gewerkt<sup>9</sup>. Een dergelijke meting maakt het mogelijk om direct te berekenen wat de belasting van de installatie mag zijn om een bepaalde effluentkwaliteit te kunnen halen. Het belang van dit type meting is vooral groot indien het proces onzeker is en kan variëren in de tijd. Indien het lukt dergelijke metingen te realiseren dan kunnen regelaars robuuster worden gemaakt zonder dat dit ten koste gaat van de regelkwaliteit. Zowel de ontwikkeling van deze meetmethoden als de implementatie ervan in geschikte regelschema's behoort tot ons onderzoek, uiteraard in samenwerking met anderen.

### *Het model*

In het voorgaande is reeds diverse malen het woord model gevallen. Het model speelt een cruciale rol bij het verkrijgen van inzicht en bij het verbeteren van de beheersing van systemen en processen. Laten we daarom de modelvorming eens onder de loep nemen. We komen nu op een zeer uitgestrekt, rijk en interessant terrein, vol fraaie vergezichten maar ook vol voetangels en klemmen. In de praktijk blijkt dat zowel bij onderzoek als bij beheer en beheersing een groot deel van de tijd gaat zitten in de ontwikkeling van een goed dynamisch model.

## *Modelvorming*

Een model is een afbeelding van de werkelijkheid; of, zo U wilt, een gestileerd ideaalbeeld zoals bijvoorbeeld een fotomodel in het dagelijks leven. Ik zal het over dit soort modellen niet meer hebben, en ook niet over dingen als schaalmodellen, maar verder alleen nog spreken over wiskundige modellen. Met een wiskundig model beogen we de essentiële kenmerken van een systeem vast te leggen in de vorm van een stel vergelijkingen of regels, zeg maar een algoritme of rekenvoorschrift waarmee we de afhankelijke variabelen kunnen uitrekenen uit de onafhankelijke. Uit mijn definitie kunt U opmaken dat dit niet noodzakelijkerwijs alleen maar een numeriek model hoeft te zijn: er is ook ruimte voor kwalitatieve formuleringen, bijvoorbeeld in de zin van als-dan redeneringen.

Waaruit bestaat een model? Allereerst is er structuur, d.w.z. het stelsel vergelijkingen of de verzameling regels. De structuur legt vast hoe de afhankelijke variabelen bepaald worden door de onafhankelijke. Een voorbeeld: de kracht die op aarde op een voorwerp wordt uitgeoefend is  $F=mg$ . Hierin is  $m$  de onafhankelijke variabele (ingang),  $F$  de afhankelijke (uitgang) en  $g$  is een grootte die weliswaar onafhankelijk maar constant is. Dit type grootheden geven we een aparte naam: parameters. Wat ingangen, uitgangen en parameters zijn hangt van de situatie af: als we  $g$  willen bepalen uit een experiment schrijven we  $g=F/m$ . Een ander voorbeeld: 'Als snelheid is langzaam dan versnelling wordt groot'. Ingang: snelheid, uitgang: versnelling, parameters: langzaam, groot.



In het vervolg beperk ik mij verder tot dynamische modellen, dus modellen waarin de tijd als onafhankelijke variabele voorkomt. In dynamische modellen hebben we te maken met differentiaalquotienten of differenties van de afhankelijke variabelen. Deze variabelen leggen de toestand van het systeem op tijdstip  $t$  vast: om het gedrag in de toekomst te kunnen berekenen zijn geen waarden uit het verleden nodig. Zij heten daarom toestandsvariabelen. Vaak worden de toestandsvariabelen nog getransformeerd in grootheden die meetbaar zijn. Deze heten dan uitgangsvariabelen.

Om met modellen te kunnen rekenen zijn dus nodig: de structuur, de parameterwaarden en een verloop van de ingangsvariabelen. Hoe komen we nu aan de modelstructuur en de parameterwaarden?

In beginsel zijn er twee methoden om de structuur te achterhalen. De eerste is alleen bruikbaar als het systeem al bestaat. Als de ingangen variëren, of opzettelijk worden gevarieerd kunnen we aan de uitgang meten. Dit resultaat is dan te vergelijken met een simulatie met een voorlopig model waarna we zowel de structuur als de parameters kunnen gaan bijstellen net zo lang tot de overeenkomst bevredigend is. Dit proces staat bekend als systeemidentificatie. U ziet: ook hier de toepassing van feed-back, je zou ook kunnen zeggen trial en error. Het model kan in deze aanpak een black-box model zijn, d.w.z. een zuiver mathematische formulering zonder direct fysisch interpreteerbare vorm.

De tweede methode is ook bruikbaar als het systeem nog niet bestaat. Uitgangspunt zijn hier de fysische behoudswetten zoals behoud van massa, energie, impuls en lading. In dit type modellen verwerken we dus de kennis die over de systemen bestaat. Zij worden daarom ook wel white box modellen genoemd. Als er veel ervaring is, dan zijn ook de parameterwaarden wel redelijk bekend, al zal meestal achteraf nog enige bijstelling nodig zijn. Als er niet veel ervaring is, dan moeten de parameters achteraf worden geschat uit input-output metingen, of via slimme experimenten afzonderlijk worden gemeten. Hierbij is er een voortdurende discussie over de geldigheid van op deze wijze gemeten parameters, maar het zou te ver voeren hierop verder in te gaan (Van Straten<sup>10</sup>).

### *Problemen bij het modelleren*

Het bovenstaande klinkt mooi maar hoe gaat het in de praktijk? Voor de bepaling van lineaire black box modellen uit meetgegevens is een aanzienlijke hoeveelheid theorie beschikbaar. Een deel hiervan is uitgekristalliseerd in de vorm van standaard software voor systeem identificatie (bijv. MATLAB System Identification Toolbox), die wij dan ook in ons onderwijs gebruiken. Maar als de systemen niet-lineair zijn of als we om wat voor reden dan ook geïnteresseerd zijn in een fysische interpretatie dan is de situatie minder rooskleurig. Gezien de cruciale rol die white box modellen spelen in veel wetenschapsgebieden is het verbazingwekkend dat er over de modelvorming zelf nog zo weinig praktisch bruikbare theorie bestaat. Enkele vragen die bij de modelvorming moeten worden opgelost zijn: welke afhankelijke variabelen moeten worden gekozen, welke

deelprocessen kunnen worden verwaarloosd, hoe gedetailleerd (geaggregeerd) moet het model zijn, is naast de tijd ook een ruimtelijke verdeling van belang, hoe moet de structuur er uit zien? Het antwoord op deze vragen hangt uiteraard af van de doelstelling, maar de vraag is hoe? Hierover is geen algemene theorie: de modelvorming is nog steeds meer een kunst dan een wetenschap. Wel kunnen we als het model er eenmaal is achteraf redelijk objectief bepalen of het model doet wat het moet doen, maar bij een slechte start kan het zeer lang duren voordat het er is, en soms komt het er helemaal niet. Ook is het achteraf mogelijk via linearisatie profijt te trekken van de bevindingen van de lineaire theorie, bijvoorbeeld voor modelreductie. Ik denk dat onderzoek naar regelbaarheid en waarneembaarheid zoals in de lineaire theorie geformuleerd wel eens een verhelderend licht zou kunnen werpen op de informatieinhoud van menig gekoesterd wit model uit de biologie of het milieubeheer (of zelfs de economie).

#### *Enkele bijzondere problemen in biologische systemen*

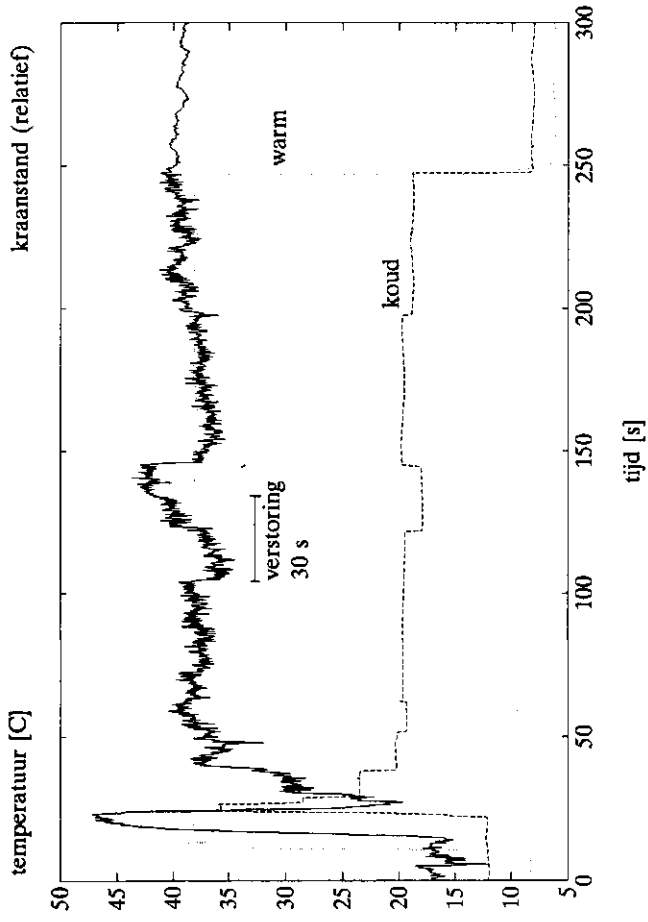
De algemene moeilijkheden van de modelvorming komen in systemen met een biologische component nog versterkt tot uiting. Ik weet dit uit ervaring met aquatische ecosystemen. Zulke systemen zijn niet scherp gedefinieerd, meestal zijn slechts beperkt metingen mogelijk, vaak nog met een grote meetfout. De systeemvergelijkingen zijn vaak erg complex en niet-linear. Bovendien is het moeilijk op een adequate wijze aandacht te besteden aan adaptief vermogen, zelf-regulatie en zelf-organisatie. Hier-naar is wel veel onderzoek gedaan, maar naar mijn

gevoel is nog te weinig gedaan aan vertaling in termen van bruikbare modellen.

### *Automatisering van de modellering*

Uit het voorgaande zou U misschien concluderen dat het nooit wat wordt met die modellen. Ik haast mij om dat te ontkennen. Van veel praktisch belangrijke systemen hebben we hele goede modellen, die goed bruikbaar zijn voor de beheersing of het beheer. Maar het blijft een feit dat in de modelvorming en validatie vaak een hoop tijd gaat zitten. De vraag komt dan ook op of daar niet iets aan te doen is.

Laten we eens kijken naar iemand die onder de douche staat. Ik heb thuis een klein experiment gedaan en eens opgemeten hoe mijn huisgenoten de temperatuur van de douche regelen. Dit levert een paar interessante bevindingen op. In de eerste plaats zien we dat ieder vrij goed in staat is in korte tijd een aangename mengtemperatuur te bereiken. In de tweede plaats zien we dat de meesten na verloop van tijd de temperatuur laten oplopen: adaptatie; de mens is een biologisch systeem! In de derde plaats zien we dat niemand aan de twee kranen tegelijk draait. Het kan zijn dat niemand daaraan gedacht heeft (of simpelweg niet twee handen vrij had!), maar waarschijnlijker is dat het komt omdat we dan het effect niet meer zo goed kunnen voorspellen. De mens maakt blijkbaar wel gebruik van een soort model, maar een exact mathematisch model is het zeker niet! Eerder lijkt het op een stel regels in combinatie met correctie door terugkoppeling. 'Als het water veel te koud is draai dan de warme kraan flink open' enzovoorts.



De regels zijn niet voor ieder gelijk: de een draait aan de koude kraan, de ander juist aan de warme.

Wat kunnen we hier nu uit opmaken? Gezien het succes van de menselijke regelaar is het kennelijk in dit geval niet zo belangrijk om een exact model te hebben. Zou het niet zo kunnen zijn dat ook in veel andere situaties een deel van de tijd die we aan modellering besteden in feite wordt besteed aan het nastreven van een exactheid die voor het beoogde doel helemaal niet nodig is? Zou het in die gevallen niet veel efficiënter zijn de regeling te baseren op een meer kwalitatief model? De mogelijkheden zijn hiertoe aanwezig in de vorm van vage verzamelingen (fuzzy sets), en het lijkt mij nuttig daar meer onderzoek naar te doen.

Een volgend punt. Het blijkt dat degene die de douche regelt na enige malen douchen weet in welke stand van de kranen een aangename temperatuur optreedt. Anders gezegd, er is een leerproces opgetreden. De vraag is nu of we de rol van modellen niet kunnen terugdringen door gebruik te maken van het leerproces. Het antwoord is, ja, dat kan, en wel via neurale netwerken. Door het netwerk ingangs- en uitgangstijdreeksen aan te bieden kan het zichzelf zo inregelen dat op den duur een zeer goede overeenkomst van voorspelde en gemeten uitgang wordt bereikt, ook als het proces niet-lineair is. We hebben als het ware het modelleringsproces geautomatiseerd. Veel onderzoek wordt gedaan om neurale netwerken toe te passen voor de regeling zelf, dus zonder tussenkomst van een expliciet model.

Neurale netwerken zijn van minder belang als we echt willen weten hoe een systeem in elkaar zit, voor

onderzoekdoeleinden dus. Automatisering van de modelvorming voor dit doel lijkt nog ver weg. Maar als het er om gaat systemen te bedrijven, te beheersen of te beheren over een breed werkgebied zodat lineaire methoden te veel nadelen hebben, dan zijn vage verzamelingen en neurale netwerken zinvolle thema's van onderzoek om de pijn van het modelleren te verminderen. Al filosoferend zie ik persoonlijk de meeste kansen voor een gemengde benadering: een kwantitatief model voor delen van het systeem die we goed kennen, aangevuld met structuurkeuze gebaseerd op redeneermethoden (vage verzamelingen of kennis-systemen) en parameterbepaling en aanpassing via leren door middel van een neuraal netwerk.

#### *Niet-lineariteiten en voorspellende kracht*

Maar er is meer aan de hand. Het maken van een model van een systeem impliceert dat we ervan uitgaan dat op basis van het model voorspellingen zijn te maken over de toekomstige toestand van het systeem. Maar is dit ook zo?

Een eerste benadering van dit probleem is gelegen in de analyse van de onzekerheden. Een opsomming van de verschillende bronnen van onzekerheden is op veel plaatsen te vinden. Ik heb mij zelf met dit vraagstuk bezig gehouden in verband met modellen voor de waterkwaliteit (Van Straten<sup>10</sup>). De propagatie van modelonzekerheden heeft een theoretische basis in de stochastische systeemtheorie. In de gebruikelijke aanpak is het daarbij nodig iets te weten of te veronderstellen over de kansverdelingen. In sommige praktische situaties, met name in het milieubeheer waar metingen schaars en onbetrouwbaar zijn, kan het

voordelen hebben dit pad te verlaten, en te gaan kijken naar een formulering van onzekerheden in termen van onbekend-maar-begrensd. Dit leidt tot de verzamelingstheoretische aanpak, zoals die ondermeer is onderzocht in het promotieonderzoek van Keesman aan de Universiteit Twente (Keesman<sup>1 1</sup>). Dit onderzoek, dat gefinancierd werd door STW, heeft geleid tot het programmapakket STEPS, waarmee de gebruiker gegevens kan analyseren en parameterverzamelingen kan schatten voor zeer complexe modellen. Zelfs als men de verzamelingstheoretische aanpak niet wil volgen kan STEPS nog zijn diensten bewijzen als data-analyse pakket en als Extended Kalman Filter. Een verdere ontwikkeling van het gereedschap om onzekerheden en hun doorwerking naar voorspellingen te analyseren is nodig en zinvol.

Een fundamenteelere vraag naar de voorspelkracht van modellen doet zich voor als we te maken hebben met stelsels niet-lineaire differentiaalvergelijkingen. Recentelijk is uit de wiskunde van de niet-lineaire systeemodynamica duidelijk geworden dat onder bepaalde voorwaarden chaotisch gedrag kan optreden, waardoor de voorspelhorizon in de praktijk wordt beperkt. Collega Grasman<sup>1 2</sup> is hierop in zijn recente intreedende uitvoerig ingegaan. Helaas, of misschien wel gelukkig, worden juist de systemen van de levende natuur gekenmerkt door de aanwezigheid van niet-lineaire dynamica. Ook binnen MRS houden wij ons met dit vraagstuk bezig via een door het Ministerie van VROM gefinancierd onderzoek gericht op de ontwikkeling van nieuwe generatie waterkwaliteitsmodellen (Claus<sup>1 3</sup>). De bevindingen kunnen van belang zijn in het actief biologisch beheer van oppervlaktewater, bij de regeling van rioolwater-



zuiveringen en meer algemeen bij het natuurbeheer. De gedachte hierbij is dat als het niet mogelijk is precies te voorspellen, het waarschijnlijk nog wel mogelijk is uitspraken te doen over de voorwaarden die moeten worden geschapen om bepaalde ongewenste ontwikkelingen in het ecosysteem te vermijden.

### *Toepassingsmogelijkheden*

Welke mogelijkheden zijn er om al deze nieuwe methoden toe te passen? Ik wil volstaan met een vluchtige schets.

### *Kastuinbouw en binnenklimaat*

Uit milieuoverwegingen zal meer en meer gestreefd worden naar geheel gesloten teelten. Dit vergt een bewakings- en regelsysteem vooral t.a.v. nutriënten. In dit kader is het dan ook een logische stap te streven naar beïnvloeding en sturing van de chemische kwaliteit van het produkt. De zorg van onze oosterburen over de industriële produktiewijze van de Hollandse tomaat, die wel mooi rond en rood is maar niet zou smaken, is een waarschuwing om aan het begrip kwaliteit een andere inhoud te geven. In samenwerking met tuinbouwplantenteeltkundigen zou moeten worden gezocht naar kwaliteitsbepalende kenmerken, naar stuurmogelijkheden (belangrijk is vermoedelijk de vochtuishouding) en naar on-line identificatiemogelijkheden waarop een regeling zou kunnen worden gebaseerd.

Nieuwe werkwijzen die de dynamica veranderen zoals warmte-opslag, gecombineerde warmte en CO<sub>2</sub>-productie en betonvloerverwarming zullen om aangepaste regelalgoritmen vragen. De economie van het proces

kan verder worden verbeterd door de ontwikkeling van optimaliserende regelaars. Daarbij is het noodzakelijk aandacht te besteden aan de inbreng van de tuinder. Het is heel goed mogelijk dat op dit terrein interessante mogelijkheden liggen voor fuzzy control.

### *Procestechnologie*

In de procestechnologie is er een enorm potentiëel voor procesbesturingsalgoritmen die op modellen zijn gebaseerd. Hoewel in principe on-line identificatietechnieken kunnen worden gebruikt om adapterende regelaars te ontwikkelen gebaseerd op black box modellen is er toch een sterke wens te komen tot modellen die gebaseerd zijn op de aloude behoudswetten. Niet alleen sluit dit beter aan bij de traditie van de chemisch technoloog, maar ook wordt daarmee impliciet het niet-lineaire karakter van vele chemische processen erkend. Een tweede punt dat een rol speelt is de noodzaak tot beheersing van de kwaliteit. Kwaliteit is echter moeilijk on-line te meten, zodat verklarende modellen hier een goed emploi kunnen vinden (Voragen<sup>1 6</sup>). Een derde factor is het verlangen naar flexibiliteit in de produktie: men moet snel en soepel kunnen inspelen op veranderingen in de vraag, bij gelijktijdig optreden van wisselingen in aanbod en kwaliteit van grondstoffen. Wat voor de procestechnologie als geheel geldt geldt misschien wel in versterkte mate voor de levensmiddelen industrie. De primaire regelingen zijn slechts een onderdeel van de gehele produktieautomatisering. Op regelgebied ligt er ook nog een flink terrein braak voor de optimale besturing van batchprocessen, met allerlei interes-

sante aspecten van modelvorming, onzekerheidsanalyse, indirecte toestandsschatting, vooral als daarbij biologische processen worden ingezet.

### *Waterzuivering*

Op zichzelf is het proces van aerobe zuivering in belangrijke mate zelf-regelend. De belangrijkste verstoring is het wisselend aanbod van afvalwater. Zolang de installatie hydraulisch gezien voldoende is gedimensioneerd is de BZV van het effluent redelijk ongevoelig voor wisselingen in de belasting. Een eventuele verhoging van de effluentconcentratie wordt tegengegaan door een grotere slibaanwas. Bij industriële aerobe installaties, waar het erom gaat specifieke stoffen om te zetten geldt dit in principe eveneens, maar daar ligt de zaak wel een stuk subtieler omdat de specifieke bacteriën voorhanden moeten zijn en in de installatie moeten worden gehouden. Bovendien kan bij een te grote belasting inhibitie optreden. Iets soortgelijks doet zich voor bij nitrificatie in huishoudelijke installaties, en ook eventuele biologische fosfaatverwijdering vraagt om een geavanceerde bedrijfsvoering. Het biologisch proces voor gemengde afvalwatersoorten is moeilijk te modelleren. Regelmatig wordt geconstateerd dat de eigenschappen van het proces op soms onverklaarbare wijze variëren. Onderzocht zou moeten worden of we hier te maken hebben met een voorbeeld van chaotisch gedrag ten gevolge van de sterke niet-lineariteiten. Los daarvan heeft het systeem adapterende eigenschappen. Enerzijds kunnen we dit te lijf gaan door het on-line meten van procesparameters (bijv. met de boven beschreven respirometrie), anderzijds biedt dit juist de mogelijkheid voor het inzetten van

empirische parameterschatting door middel van neurale netwerken. Om een betere regelbaarheid te verkrijgen zou het nuttig zijn als er meer regelmogelijkheden zouden worden ingebouwd direct bij het ontwerp. Zeker is dat de regelbaarheid vergroot wordt als de influentstroom kan worden gestuurd. Hiervoor is buffering noodzakelijk. In de industrie is dit meestal wel te realiseren, bij huishoudelijke installaties is het belangrijk ook te kijken naar de aanvoer van afvalwater via het rioolsysteem; deze twee mogen niet worden losgekoppeld.

### *Landbouwtechniek*

Ook in de landbouwtechniek zijn er diverse mogelijkheden voor de inzet van systeemtechnologie<sup>15</sup>. De beheersing van het klimaat in gebouwen voor vee of produktopslag is één voorbeeld dat nauw verwant is aan de klimaatbeheersing in de kasbouw. Belangrijk in produktiesystemen is de introductie van feed-back. Correctie door terugkoppeling is het adagium voor de toekomst. Dit betekent bijvoorbeeld een mestgift die gebaseerd is op een gemeten actuele behoefte en de kansen op verlies door uitspoeling of afspoeling. Een ander voorbeeld waaraan al onderzoek wordt gedaan is de optimale watervoorziening van grasland, gebaseerd op actuele metingen. In onze groep is ook onderzoek gaande naar een systeem gebaseerd op signaalanalysetechnieken waarmee plant en onkruid automatisch kunnen worden onderscheiden. Dit is noodzakelijk in verband met de toepassing van mechanisch wieden. Een dergelijk systeem zou ook van nut kunnen zijn bij locale in plaats van globale plantbehandeling zoals kunstmestgift of gewasbescherming.

Vermelding verdient ook de digitale beeldherkenning. Op dit moment wordt dit middel in de vakgroep onderzocht op zijn mogelijkheden bij sorteerprocessen<sup>1 6</sup> Neurale netwerken zouden bij de beeldherkenning nuttig kunnen zijn. Op termijn kan worden gedacht aan inzet als geavanceerd meetsysteem in een terugkoppellus bij de besturing van de plantaardige productie zelf.

#### *Milieu en Natuur*

In het Nationaal Milieubeleidsplan<sup>1 7</sup> wordt gewezen op de noodzaak van duurzame produktiesystemen en het sluiten van kringlopen. Het milieusysteem wordt gezien als een systeem met kranen waaraan de mens bewust of onbewust draait bij alles wat hij doet. Deze zienswijze suggereert een systeemanalytische benadering die een systeemdynamicus zeker aanspreekt. Bij de evaluatie van allerlei beheersalternatieven spelen modellen een rol. Op methodologisch gebied kan de systeemtechnologie zeker een bijdrage leveren, bijvoorbeeld op het gebied van gevoeligheid en onzekerheidsanalyse, en bij de analyse van de stuurbaarheid van milieusystemen.

In het waterbeheer is een interessant gebied voor nadere analyse het actief biologisch beheer waarmee nu op diverse plaatsen in Nederland is of wordt geëxperimenteerd. Hierbij is vooral de vraag van belang naar de duurzaamheid van dergelijke oplossingen. De complexiteit en niet-lineariteit van dergelijke ecosystemen roept de vraag naar de voorspelbaarheid op. Indien de voorspelhorizon te kort zou zijn, dan kan men toch beheer voeren door het beheer te richten op voorwaarden voor

ontwikkeling, in plaats van directe sturing, zoals in het terrestrische natuurbeheer al langer gebruikelijk is. Daarnaast zou ik ook hier een pleidooi willen houden voor het invoeren van terugkoppeling in het beheer. Dit vereist ten minste een goed monitoring systeem. Op deze wijze is het mogelijk flexibel in te spelen op onverwachte ontwikkelingen.

Wat dichter bij huis zouden de mogelijkheden van dynamisch waterkwantiteitsbeheer een nadere studie verdienen. Gezien de vele belangen bij het waterbeheer is het vrijwel zeker dat het huidige streven naar een vast peil sub-optimaal is.

#### *Samenwerking (binnen en buiten LU)*

In het voorgaande hoop ik te hebben duidelijk gemaakt wat systeemtechnologen doen. Zij analyseren de dynamische eigenschappen van het systeem, maken een dynamisch model, analyseren het gedrag van het model, houden zich bezig met metingen en signalen en denken na over de beheersing van het systeem, kortom, zij houden zich bezig met het geheel van methoden en technieken om dynamische systemen te beschrijven (of ontwerpen) en te beheersen (of bedrijven). Maar, dit zijn activiteiten die ook goed bruikbaar zijn buiten het vakgebied van de meet-, regel- en systeemtechniek! Het zal duidelijk zijn dat kennis van de systeemtechnologie goed van pas komt in al die situaties waar de dynamica een rol speelt, zelfs als men niet in de eerste plaats is geïnteresseerd in de beheersing van het systeem. Vooral het onderzoek kan profiteren van de systematiek van de systeemtechnologie: een hypothese hoe het systeem

functioneert wordt vertaald in een model, het model wordt gebruikt om een informatief experiment te ontwerpen, het experiment wordt uitgevoerd, het resultaat wordt geanalyseerd met signaalanalyse en parameterschattingstechnieken en vergeleken met de modeluitkomst om te zien of de hypothese moet worden verworpen. Ik pleit ervoor dat deze werkwijze nog veel vaker en bewuster wordt gebruikt in het landbouwkundig onderzoek dan nu al het geval is. Wij zijn graag bereid hierbij de helpende hand te bieden.

Andersom zal de systeemtechnoloog zijn werk alleen goed kunnen doen als hij of zij een goede communicatie weet op te bouwen met degenen die inhoudelijk verstand hebben van de processen die moeten worden beheerst. Samenwerking is daarom nodig. Wij zijn niet alleen bereid tot samenwerking, maar zullen deze ook zoeken. Als toetssteen geldt dat de samenwerking geschiedt op basis van gelijkwaardigheid, en dat de samenwerking tot wederzijds voordeel strekt. Dit geldt uitdrukkelijk ook voor het bedrijfsleven. Wie zich net als wij wil richten op een betere produktkwaliteit, een geringer beslag op schaarse grondstoffen, een zuiniger omgaan met energie, en een verminderde milieubelasting, die kan bij ons terecht maar zal zich wel moeten realiseren dat voor het onderzoek geld nodig is.

#### *Ontwikkelingen in landbouw en milieu*

Ik heb U in het voorafgaande een beeld geschetst van het nut de systeemtechnologie in landbouw en milieu. Ik heb mij daarbij gericht op de korte en middellange termijn. De inzet van nieuwe methoden en technieken,

hoe interessant als onderzoeksthema op zichzelf, kan echter niet plaats vinden zonder na te denken over de langere termijn. Ik wil enkele zaken noemen die richtinggevend zullen zijn voor ons onderzoek, en die wij zullen gebruiken als toetssteen bij de keuze van de onderwerpen. Dit alles vanuit het besef dat de universiteit het tot zijn taak mag rekenen voorop te lopen bij het onderzoeken van nieuwe paden die voor de buitenwacht nu misschien nog onbegaanbaar schijnen.

Ik denk dat de huidige produktiewijze in de landbouw niet zonder meer kan worden voortgezet. Ik sta daarin niet alleen. In de recente meerjarenvisie van de NRLO<sup>18</sup> worden in dit verband onder meer genoemd: kwaliteitsdenken in plaats van kwantiteitsdenken, en vernieuwing van de landbouwproduktiesystemen teneinde te voldoen aan de randvoorwaarden van milieu en natuur. Het kernbegrip hier is duurzaamheid<sup>17 18 19</sup>. Om een voorbeeld te geven van wat dit inhoudt: duurzame landbouw betekent naar mijn oordeel onder meer evenwicht in de mineralenbalans. Uit mijn ervaring met het waterbeheer weet ik dat we van dit ideaal in Nederland ver tot zeer ver zijn verwijderd. Om dit punt te bereiken zullen drastische veranderingen onontkoombaar zijn. Biologisch-dynamische en ecologische landbouw namen in 1988 nog maar 0,15% van de totale produktiewaarde voor hun rekening op 0,3% van het areaal (LEI<sup>20</sup>), maar zij vervullen een pioniersrol in het vinden van een vernieuwde landbouw. Zo'n landbouw hoeft niet af te zien van moderne technologie, integendeel. Veel onderzoek is nodig om technologie te ontwikkelen die landbouw op een ecologisch en economisch verantwoorde manier mogelijk maakt. Niet maximalisatie maar



optimalisatie is de boodschap. De systeemtechnologie kan hieraan een belangrijke bijdrage leveren. Betere beheersing van vocht- en mestvoorziening door lokale toepassing van het feed-back principe, een grotere mate van gesloten beschermde teelten, on-line analyse en beheersing van kwaliteitsfactoren als geur en smaak, locale in plaats van globale onkruidbestrijding, intensief gebruik van informatiesystemen waardoor vruchtwisseling mogelijk wordt zonder het nadeel van verlies van specialistische kennis, het zijn maar een paar voorbeelden van de vele mogelijkheden. Als wij erin slagen op dit gebied een werkelijke vernieuwing tot stand te brengen, dan zal Nederland opnieuw voorop lopen, en kunnen wij zelfs exporteur worden van deze kennis. De beleidsinstanties dienen hiervoor middelen beschikbaar te stellen.

Kijken we nog verder in de toekomst dan liggen er voor de landbouw en de verwerkende industrie nog vele nieuwe mogelijkheden in het verschiet indien de uitputting van de wereld energie voorraden zo door gaat. Ik doel op de mogelijkheden die agrificatie biedt: de produktie van landbouwgewassen als industriële grondstof<sup>2 1</sup>. Hoewel op dit moment op korte termijn zeker niet rendabel, is het van groot belang op dit gebied nu reeds strategisch onderzoek te verrichten en hiervoor middelen vrij te maken. Ook hier zal de systeemtechnologie een bijdrage kunnen leveren teelten optimaal te laten verlopen, op ongeveer soortgelijke wijze als aangegeven bij de duurzame landbouw.

*Dames en heren,*

Het vakgebied heeft de afgelopen 25 jaar een enorme ontwikkeling doorgemaakt, waaraan niet in de laatste plaats de ontwikkeling van de micro-electronica en de extreme prijsdaling van computerhardware hebben bijgedragen. Tegelijkertijd heeft het vakgebied van de meet- en regeltechniek een solide basis verkregen in de wiskundige systeemtheorie. De theorie-ontwikkeling verloopt zelfs zo snel dat men zich zorgen moet gaan maken over de traagheid waarmee de penetratie in toepassingen verloopt.

Dit brengt mij op de rol van instellingen voor hoger en universitair onderwijs, en in het bijzonder van de Landbouwuniversiteit. Willen wij de systeem-technologie kunnen inzetten bij ons streven op een verantwoorde manier heer en meester te zijn in onze omgang met landbouw en milieu dan zal reeds bij de werving erop gewezen moeten worden dat ook lieden met een stevige exacte belangstelling bij de LU uitstekend op hun plaats zijn. Naar mijn gevoel moet de LU zich niet alleen profileren als Landbouw- en Milieu Universiteit maar ook als Landbouwtechnische en Milieutechnische Universiteit.

*Geachte leden van het College van Bestuur en leden van de Universiteitsraad,*

Reeds in 1969 wees Schenk<sup>2 2</sup> in zijn intrede als hoogleraar in de natuur- en weerkunde op het belang van kennis van meet- en regeltechniek bij de opleiding tot landbouwkundig ingenieur. Het toenemend belang van de meet- en regeltechniek en het voorwerk van Schenk leidt ertoe dat de toenmalige Landbouw-

hogeschool besluit om in deeltijd een lector voor dit gebied aan te stellen. Met zijn inaugurele rede getiteld "Systeemtechniek in 't groen" introduceert Van Dixhoorn<sup>2 3</sup> in 1975 de systeemdynamica als denkmodel waarmee zeer uiteenlopende dynamische processen toch op een soortgelijke wijze kunnen worden beschreven. Acht jaar later, bij de aanvaarding van het ambt van buitengewoon hoogleraar in de Meet-, Regel- en Systeemtechniek legt Bosgra<sup>2 4</sup> de basis voor een verbreding tot de systeemtechniek met een harde oriëntatie op een wiskundige, natuurwetenschappelijke en technische onderbouwing. Nu, in 1991, weer acht jaar later, hoeft dank zij het voorbereidende werk van mijn voorgangers aan het nut van de systeemtechnologie in landbouw en milieu niet meer te worden getwijfeld.

Met de instelling van een voltijdse leerstoel krijgt de systeemtechnologie nu een duidelijke en volwaardige plaats binnen de Landbouwuniversiteit. Ik dank U voor het vertrouwen dat U door mijn benoeming in mij gesteld heeft. In de afgelopen periode heb ik mij met prioriteit toegelegd op het voltooiën van de personele invulling van de sectie MRS. De ruimte die U ter beschikking heeft gesteld heeft er toe geleid dat de landbouwuniversiteit nu beschikt over een jonge, dynamische ploeg die staat te popelen aan de slag te gaan. Wij zijn er klaar voor en zullen er alles aan doen de brug te slaan met andere geledingen van de universiteit.

*Hooggeleerde Lijklema, beste Bert,*

Ik reken het tot jouw verdienste dat je mij hebt aangemoedigd mijn wetenschappelijke vorming enige

tijd voort te zetten bij het International Institute for Applied Systems Analysis in Laxenburg, bij Wenen. Ik neem het je niet kwalijk dat je je daarbij misschien hebt laten leiden door de dreiging dat een aanlokkelijk avontuur in mijn oude stiel, de chemische technologie, in Nigeria mij misschien voorgoed zou hebben vervreemd van de systeemdy-namica, die wij met zoveel succes in het waterkwali-teitsbeheer in Nederland hebben ingevoerd. Ik hoop van harte dat wij met behoud van elkaars expertise ook hier in Wageningen op dit gebied verder kunnen samenwerken.

*Hooggeleerde Rijnsdorp, beste John,*

Ik ben je dankbaar dat jij als hoogleraar in de Procesdynamica aan de Universiteit Twente naast Bert Lijklema als mijn promotor hebt willen optreden. Van jou heb ik het belang van de menselijke factor geleerd. Het is te betreuren dat je opstelling in dit opzicht door je omgeving niet altijd werd begrepen.

*Beste oudcollega's van de Universiteit Twente,*

Ik heb een groot aantal jaren van mijn professionele leven temidden van jullie doorgebracht, in een atmosfeer van kameraadschap en collegialiteit. Het is jammer dat de Faculteit der Chemische Technologie van de Universiteit Twente zich genooddaakt heeft gezien de Vakgroep Procesbeheersing en Milieubeheer op te heffen, juist in een tijd waarin het belang van beide onderwerpen zo evident is. Het spijt mij als ik door mijn overgang naar Wageningen dit proces misschien heb versneld. Ik hoop dat jullie het mij niet kwalijk

nemen dat wij nu zullen proberen een deel van het verloren gegane terrein vanuit Wageningen te bestrijken.

*Geachte collega's verenigd in de Stichting voor Meet- en Besturingstechnologie,*

Reeds een aantal jaren heb ik in uw kring mogen vertoeven. Ik kan U verzekeren dat het bestaan van de Stichting bijzonder heeft bijgedragen aan een verdere verdieping van mijn kennis op het gebied van de regeltechniek. Ik hoop in staat te zijn de vele nieuwe ideeën en technieken die in uw kring worden gegenereerd te kunnen toepassen in het brede werkterrein van landbouw en milieu. Andersom heb ik U er misschien blijk van gegeven dat juist de toepassing op dit terrein aanleiding geeft nieuwe paden te exploreren. Ik hoop met velen van U tot een vruchtbare samenwerking te komen.

*Hooggeleerde Speelman, beste Bert,*

In de periode die ik nu in Wageningen ben heb ik je leren kennen als iemand met een grote daadkracht en dynamiek. Jij was het ook die samen met je vrouw mij en mijn gezin heeft geholpen de overgang naar het Wageningse zo soepel mogelijk te doen verlopen. Jouw bestuurlijke kracht en ervaring heeft in hoge mate vorm gegeven aan de nieuwe vakgroep Agrotechniek en -fysica. Net zoals jij kijk ik reikhalzend uit naar de benoeming van een collega voor de Technische Natuurkunde, en naar de voltooiing van ons nieuwe gebouw. Ik hoop nog lang met je te kunnen samenwerken.

*Geachte leden van de vakgroep Agrotechniek en  
-fysica,*

Uw aanvankelijke scepsis over het voornemen om mij te benoemen kan ik begrijpen. Uiteindelijk zag U mij niet geheel ten onrechte als een outsider op het gebied van de Meet-, Regel- en Systeemtechniek. Uit het feit dat U mij in de korte periode dat ik hier ben zonder enig probleem in uw midden hebt opgenomen constateer ik dat U zich loyaal heeft betoond, en dat ik op uw vertrouwen mag rekenen.

*Lieve ouders,*

Ik dank jullie voor de steun die jullie mij steeds vanuit de achtergrond hebben gegeven.

*Lieve Toos, Artur en Karin,*

Zonder jullie aanmoediging en begrip had ik hier niet kunnen staan. Ik hoop dat jullie mij steeds op tijd zullen bijsturen als door mijn passie voor mijn werk de afwijking tussen werkelijke en gewenste aandacht voor het gezin te groot dreigt te worden.

*Dames en heren studenten,*

Zonder uw aanwezigheid zou de universiteit geen bestaansgrond hebben. Bij alle aandacht voor de op zichzelf gerechtvaardigde roep om prestaties op het gebied van onderzoek wordt wel eens vergeten dat het belangrijkste produkt van de universiteit nog altijd de afgestudeerde ingenieur is. Investeren in uw vorming is een investering in de toekomst. U bent degenen die straks voor de moeilijke problemen die

de generatie van mijn leeftijd in zijn grenzenloosheid heeft opgeworpen oplossingen zult moeten zoeken. Ik zal het als een voorrecht beschouwen U te stimuleren nieuwe wegen in te slaan.

*Mijnheer de rector, dames en heren,*

In het begin van mijn rede heb ik de voorwaarden genoemd voor geluk; niet alleen zijn: welnu, ik heb ervaren dat alleen zijn op deze universiteit praktisch is uitgesloten; iets nieuws meemaken: daarvoor zijn in het Wageningse legio boeiende mogelijkheden; controle over de eigen omgeving: wel, ik heb aangegeven dat wij als mens niet de pretentie kunnen hebben volledig heer en meester te zijn. Maar ik acht het bestaan van een zekere onvrede juist de drijfveer voor vernieuwing en vooruitgang. In dit besef prijs ik mij gelukkig hier vandaag te mogen staan. Ik dank U voor uw aandacht.

## *Verwijzingen*

- 1 Interview met prof. dr. Nico Frijda in NRC Handelsblad, najaar 1984.
- 2 Interview met W.M.Wonham, NRC Handelsblad, 1 mei 1990.
- 3 Van Willigenburg, L.G., 1991. Digital optimal control of rigid manipulators. Dissertatie Technische Universiteit Delft.
- 4 Bontsema, J., 1990. Dynamic stabilization of large flexible space structures. Dissertatie Rijksuniversiteit Groningen.
- 5 Onderwerp van het promotieonderzoek van E.J. van Henten in samenwerking met het IMAG.
- 6 Kersten, R.H.B., 1988. Estimation and prediction of water quality for short-term control. Dissertatie Universiteit Twente.
- 7 Huijsing, J.H., 1990. Geïntegreerde intelligente sensoren (of mist de nederlandse industrie de automatiseringsboot?). Inaugurele rede, Technische Universiteit Delft.
- 8 Spanjers, H. en A. Klapwijk, 1990. On-line meter for respiration rate and short-term biochemical oxygen demand in the control of the activated sludge process. Proc. 5th LAWPRC workshop on instrumentation and control, p.67-77.



- 9 Van den Beld, H., 1990. persoonlijke communicatie, Universiteit Twente.
- 10 Van Straten, G., 1986. Identification, uncertainty assessment and prediction in lake eutrophication. Dissertatie Universiteit Twente.
- 11 Keesman, K.J., 1989. A set-membership approach to the identification and prediction of ill-defined systems: application to a water quality system. Dissertatie Universiteit Twente.
- 12 Grasman, J., 1990. Met wiskunde de natuur in. Inaugurele rede, Landbouw Universiteit Wageningen.
- 13 Onderwerp van promotieonderzoek van J.J. Claus.
- 14 Voragen, A.G.J., 1990. Van grondstof tot levensmiddel: de rol van de chemie. Inaugurele rede, Landbouw Universiteit Wageningen.
- 15 Hierop wordt op diverse plaatsen gewezen in: Proceedings Symposium 'Verkassen van de Landbouw', 1990, Heeren XVII, Studievereniging der studenten in de landbouwtechniek, LUW.
- 16 Onderwerp van promotieonderzoek van J. Dijkstra.
- 17 Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, 1989. Kiezen of Verliezen, Nationaal Milieubeleidsplan.

- 1 8 Nationale Raad voor Landbouwkundig Onderzoek, 1990. Meerjarenvisie Landbouwkundig Onderzoek 1991-1994.
- 1 9 Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, 1990. Natuurbeleidsplan.
- 2 0 Landbouw-Economisch Instituut, 1990. Produktie en afzet van BD- en EKO-produkten, Mededeling 425, Band 1 en 2.
- 2 1 zie bijvoorbeeld: Spaa, J.H., 1990. Energie uit biomassa, De Ingenieur, (11), 18-21.
- 2 2 Schenk, J., 1969. Prometheus en Demeter. Inaugurale rede, Landbouwhogeschool Wageningen.
- 2 3 Van Dixhoorn, 1975. Systeemtechniek in 't Groen. Inaugurale rede, Landbouwhogeschool Wageningen.
- 2 4 Bosgra, O.H., 1983. Systeemtechniek, schakel tussen fundament en toepassing. Inaugurale rede, Landbouwhogeschool Wageningen.