

## Identificatie en regeling van industriële processen relevant voor marktpositie en maatschappij?

**Citation for published version (APA):**

Backx, A. C. P. M. (1990). *Identificatie en regeling van industriële processen relevant voor marktpositie en maatschappij?* Technische Universiteit Eindhoven.

**Document status and date:**

Gepubliceerd: 01/01/1990

**Document Version:**

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

**Please check the document version of this publication:**

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

**General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

[www.tue.nl/taverne](http://www.tue.nl/taverne)

**Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

[openaccess@tue.nl](mailto:openaccess@tue.nl)

providing details and we will investigate your claim.

# INTREE- REDE

Identificatie en  
Regeling van Industriële  
Processen  
Relevant voor  
marktpositie en  
maatschappij?

Ton Backx



# INTREEREDE

Ter gelegenheid van het aanvaarden  
van het deeltijdhoogleraarsambt in het  
vakgebied Identificatie en Regelen van  
Industriële Processen aan de  
Technische Universiteit Eindhoven  
op vrijdag 8 juni 1990

Ton Backx

Mijne heren leden van het College van Bestuur en van de Universiteitsraad, mijnheer de Rector Magnificus, mijne heren decanen, dames en heren leden van onze Technische Universeitsgemeenschap, en voorts u allen die door uw aanwezigheid blijk geeft van uw belangstelling.

Zeer gewaardeerde  
toehoorders,

Het is een eer en een genoegen vandaag het woord tot U te kunnen richten ter gelegenheid van het aanvaarden van het deeltijdhoogleraarambt in het vakgebied Identificatie en Regelen van Industriële Processen. Deze leerstoel wordt gefinancierd door het bedrijfsleven. De omschrijving van de leeropdracht bestaat uit een combinatie van drie disciplines: identificatie, regelen en industriële processen. In het volgende wil ik mijn visie aan U presenteren op een aantal aspecten van deze vakgebieden en hun integratie. Tevens zal ik trachten aan te geven wat het belang is van het samensmelten van deze disciplines voor de marktpositie van industrieën en voor onze maatschappij.

Processen, regelen en  
identificatie: begripsbepaling

Laat ik eerst, voor niet ingewijden in deze disciplines, proberen in het kort duidelijk te maken wat wordt bedoeld met de begrippen proces, regelen en procesidentificatie. Ik zal dat doen aan de hand van een eenvoudig huiselijk voorbeeld, dat zeker in deze tijd iedereen kent: het doen van de vaat. Ik wil van dit proces, dat de stappen spoelen, afwassen en afdrogen omvat, met name de processtap 'afwassen' nader beschouwen.

Het doel van het afwassen is duidelijk: door gebruik vies geworden vaatwerk moet worden gereinigd, zodat het kan worden hergebruikt. Het reinigen van het vies geworden vaatwerk is een voorbeeld van een *proces*. In dit proces worden de verontreinigingen van het vaatwerk verwijderd door het een aantal bewerkingen te laten ondergaan. Het proces omvat het met mechanische krachten schoonmaken van de vaat in een reinigingsvloeistof: het poetsen van de borden, potten en pannen in een sopje. De belangrijkste procesvariabelen zijn: water, warmte, concentratie van het afwasmiddel en mechanische kracht. Uit ervaring weten we, dat het bedrijven van het afwasproces niet erg kritisch is. Hebben we voldoende water, dat warm genoeg is, en voegen we hieraan een scheutje afwasmiddel toe, dan wordt met enige mechanische kracht, uitgeoefend met behulp van

afwasborstel of waterstraal, de vaat schoon. Het *regelen* van dit proces heeft als doel het beheerst in gewenste condities brengen en houden van de belangrijke procesvariabelen waterhoeveelheid, temperatuur, concentratie afwasmiddel en mechanische kracht. Dit wordt gerealiseerd door correcties op de beschikbare procesingangen (water toevoer, toegevoerde warmte, afwasmiddel dosering en druk op de afwasborstel of kracht van de waterstralen in een vaatwasmachine) op basis van afwijkingen tussen gewenste en 'gemeten' waarden van belangrijke uitgangsvaariabelen zoals watertemperatuur en de mate waarin het gereinigde vaatwerk schoon is. Als de doelstelling uitsluitend bestaat in het verkrijgen van een schone vaat, is de dosering van de procesingangen niet kritisch. In dit geval is ook geen gedetailleerde kennis van het procesgedrag vereist om het proces goed te laten verlopen; 'een kind kan de (af)was doen'. Anders wordt het evenwel, indien we naast het realiseren van de hoofddoelstelling ook aan een aantal gekwantificeerde nevendoelellingen moeten voldoen, zoals:

- het laag houden van het energieverbruik voor het doen van een vaat, bijvoorbeeld minder dan 1 kJ toegevoerde warmte per te reinigen voorwerp;
- het minimaliseren van de gebruikte hoeveelheid afwasmiddel met het oog op resulterende milieuverontreiniging en kosten, bij-

voorbeeld minder dan 0.1 ml afwasmiddel per te reinigen voorwerp;

- het kort houden van de vereiste processtijd per te reinigen object, bijvoorbeeld gemiddeld minder dan 5 s;
- de garantie geven, dat alle producten na het afwassen direct 100% schoon zijn en dus geen nabewerking of eindcontrole behoeven.

Realisatie van de hoofddoelstelling en de bovengenoemde nevendoelellingen vereist een gedegen kennis van het proces. Nu moet men weten wat bruikbare werkpunten - nominale waarden voor hoeveelheid water, temperatuur, hoeveelheid afwasmiddel en vereiste mechanische kracht - zijn, waarin de genoemde doelstellingen kunnen worden gerealiseerd. Daarnaast moet men weten hoe het proces beïnvloed kan worden in de directe omgeving van het werkpunt om afwijkingen te compenseren, die ontstaan ten gevolge van externe stoorinvloeden, zoals een extra vieze vaat, een sterke afkoeling van het water door een lagere omgevings-temperatuur, een variërende werking van het gebruikte afwasmiddel, een slijtende afwasborstel. De kennis, die voor het besturen van het proces van belang is, moet in een compacte en hanteerbare vorm beschikbaar zijn. Een dergelijke compacte representatie van kennis is een *model*. Teneinde een proces

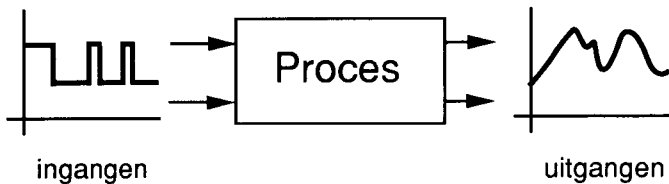


Fig. 1 . Transformatie van ingangen naar uitgangen.

nauwkeurig te kunnen besturen zijn (wiskundige) modellen nodig, die gebruikt kunnen worden om te voorspellen hoe het proces in de tijd zal reageren op veranderingen van instellingen van procesingangen. De reactie van het proces in de tijd als responsie op een uitgevoerde verstelling van een procesingang heet het *dynamisch gedrag* van het proces. Naast de term proces zal ik overigens ook regelmatig de term *systeem* gebruiken ter indicatie van een zo breed mogelijke klasse van mechanismen, die ingangsvariabelen volgens een voor zo'n mechanisme specifiek dynamisch gedrag transformeren in uitgangsvaariabelen (Fig. 1). Processen vallen ook binnen deze klasse van systemen.

Met behulp van wiskundige modellen, die het dynamisch procesgedrag beschrijven, kan worden uitgerekend hoe de instellingen van de procesingangen moeten worden gecorrigeerd om de effecten van verstoringen zoveel mogelijk te compenseren. Er kan worden gesteld, dat de benodigde detailkennis

van het dynamisch gedrag van het te regelen systeem toeneemt met de eisen, die aan het geregeld gedrag worden gesteld. Voor sommige systemen, zoals servomechanismen, ruimtevaartuigen, vliegtuigen is men erin geslaagd voldoende nauwkeurige modellen te construeren via fysische modelvorming. Voor complexe (industriële en biologische) processen is het echter zeer moeilijk gebleken om de noodzakelijke kennis op basis van fysische, chemische of biologische wetmatigheden te verkrijgen. Naast zulke modelvormingstechnieken bestaan er methoden, die gericht zijn op het maken van modellen op basis van waargenomen in-/ uitgangsgedrag van de te modelleren systemen. Deze technieken zijn de zogenaamde *systeem- of procesidentificatietechnieken*. De modellen, die met dit soort technieken worden verkregen, beschrijven doorgaans de meest essentiële aspecten van het dynamisch in-/uitgangsgedrag van het gemodelleerde systeem. Aangezien de modelvorming bij dit

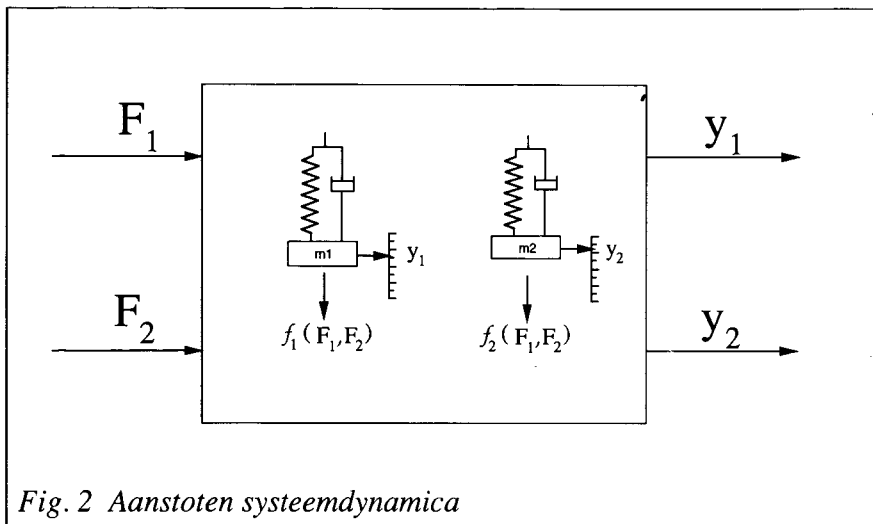
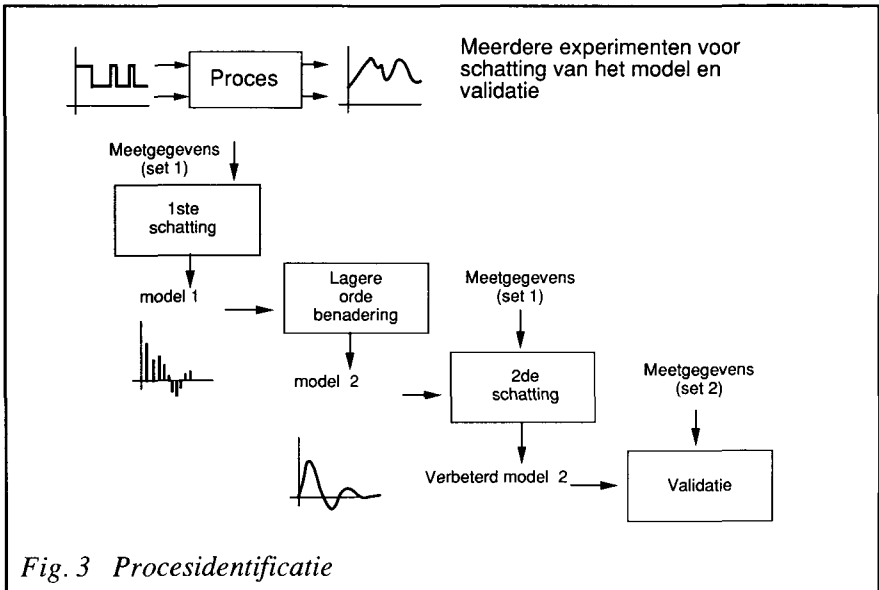


Fig. 2 Aanstoten systeemdynamica

soort technieken plaats vindt op basis van waargenomen systeemgedrag, is het uiteraard van groot belang, dat in de meetfase de belangrijke dynamische eigenschappen van het systeem ook in voldoende mate worden 'aangestoten' om ze in de gegevens, die voor de modelvorming worden gebruikt, zichtbaar te maken (Fig. 2). Dit aangestoten van deze dynamische eigenschappen gebeurt door aan de ingangen van het systeem kleine verstellingen aan te brengen, waarop het systeem in die mate reageert, dat de gevolgen van deze ingangsm manipulaties aan de uitgangen zichtbaar zijn. Men kan dit vergelijken met een korte remproef met een fiets of auto. Aan de hand daarvan kan men schatten hoe hard geremd zal moeten worden om binnen een bepaalde afstand tot stilstand te komen.

Populair kan men stellen, dat men probeert om met identificatietechnieken modellen te maken, die een *waargenomen procesgedrag* zo goed mogelijk representeren. Dit in tegenstelling tot de fysische modelvorming, waarbij een wiskundig analogon van het werkelijk proces wordt geconstrueerd door eerst het te modelleren proces te ontleden in te onderscheiden elementaire processen, die kunnen worden beschreven op basis van bekende fysische wetten. Deze beschrijvingen van de onderscheiden deelprocessen worden vervolgens gecombineerd tot een samengesteld wiskundig model. Het zo verkregen model beschrijft dan het werkelijk procesgedrag tot de grenzen, waarbinnen de gebruikte fysische wetten gelden. In het algemeen hebben deze fysische modellen een veel



grotere complexiteit dan de modellen, die uiteindelijk met identificatietechnieken worden verkregen. Een belangrijk probleem bij de fysische modelvorming is, dat voor het aanpassen van het model op het werkelijk proces allerlei fysische parameters moeten worden ingevuld, die vaak niet bekend zijn en die ook niet eenvoudig op een directe wijze kunnen worden bepaald. Bovendien is de complexiteit van de verkregen modellen dikwijls zo groot, dat het niet meer mogelijk is deze modellen direct te gebruiken voor bijvoorbeeld het ontwerp van regelsystemen.

Procesidentificatie leidt in een aantal stappen tot een compact wiskundig model, dat in het algemeen een beschrijving is van het gelineari-

seerd dynamisch gedrag van een proces in een directe omgeving van een werkpunt (Fig. 3). Het identificeren van het dynamisch gedrag van een systeem impliceert, dat achtereenvolgens moeten worden bepaald: geschikte in-/uitgangsdata van het te identificeren systeem, het meest geschikte potentiële model (modelset), de te hanteren techniek voor het bepalen van de modelparameters (schattingscriterium) en uiteindelijk de modelparameters zelf (schattingmethode). De laatste stap, die moet worden uitgevoerd, is een controle van de kwaliteit c.q. representativiteit van het resulterende model (modelvalidatie).

Met behulp van de door toepassing van procesidentificatietechnieken verkregen modellen is het mogelijk



op deze modellen gebaseerde regelsystemen te ontwerpen, die besturing van het proces conform de doelstellingen realiseren. De nauwkeurigheid, waarmee deze regelsystemen de doelstellingen halen, wordt in belangrijke mate bepaald door de nauwkeurigheid, waarmee de verkregen modellen het procesgedrag in de werkpunten beschrijven, alsmede door de fysische beperkingen van het proces en de gebruikte meet- en besturingsmiddelen.

## Processen, regelen en procesidentificatie: grepen uit de historie

Fysische en chemische processen worden al zeer lang gebruikt om uit grondstoffen produkten te maken, die de mens als gebruiksvoorwerp in zijn activiteiten ondersteunen. Het beheersen van processen is gedurende vele eeuwen beoefend als een vakmanschap. Ervaren mensen wisten welke grondstoffen op welke wijze moesten worden gemengd en bewerkt om een produkt met specifieke kwaliteiten te verkrijgen. Denk hierbij bijvoorbeeld aan het vervaardigen van stenen voorwerpen, de produktie van keramiek, ijzer, glas. Het beheersen van zo'n proces was een onderdeel van het vakmanschap. Sinds het midden van de

achttiende eeuw, met de start van de mechanisatie en opschaling van processen, zijn automatische regelsystemen geïntroduceerd om de vaklieden te ondersteunen bij het besturen en beheersen van de processen. Een bekend voorbeeld van een automatisch regelsysteem uit die tijd is de reguleur van James Watt. Met dit in 1789 voor het eerst toegepaste systeem wordt automatisch de snelheid van een stoommachine binnen nauwe grenzen constant gehouden in weerwil van een veranderende belasting van die machine (Fig. 4). Dit geschiedt door het corrigeren van de stoomtoevoer op basis van gemeten veranderingen in de snelheid. De eerste mathematische beschouwing over zulke regelsystemen is een publicatie van Maxwell [Maxwell, 1868]. Naast dit voorbeeld vonden de eerste automatische regelsystemen hun toepassing in het ondersteunen van de besturing van machines zoals stoommachines, windmolens en schepen.

De ontwikkeling van algemene theorieën, zowel voor servomechanismen als voor proces regelingen, zijn omstreeks 1925 onafhankelijk van elkaar begonnen. Een belangrijk resultaat is het werk van Nyquist met betrekking tot de analyse van de stabiliteit van lineair teruggekoppelde systemen [Nyquist, 1932]. Een enorme vooruitgang in de ontwikkelingen op het gebied van de regeltechniek is geboekt in de tweede wereldoorlog. Deze ontwikkelingen

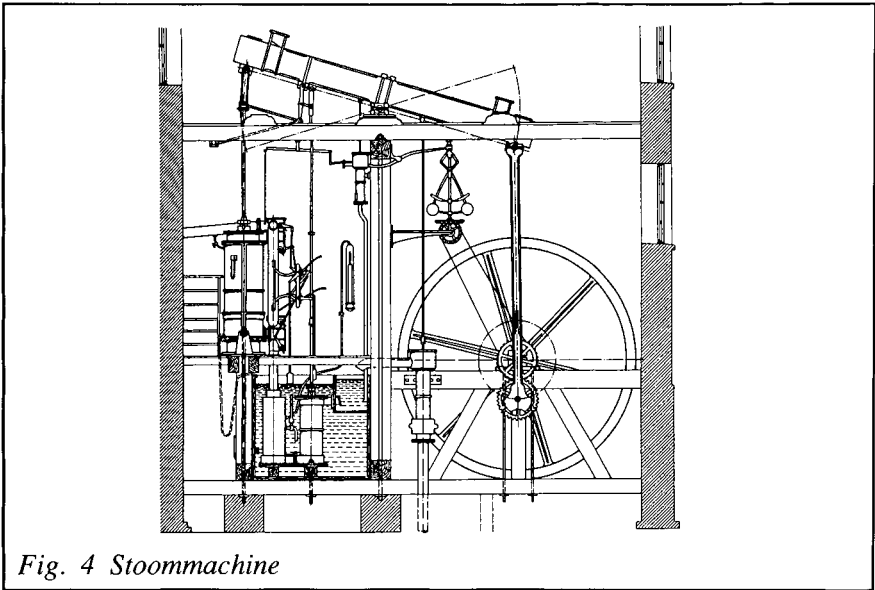


Fig. 4 Stoommachine

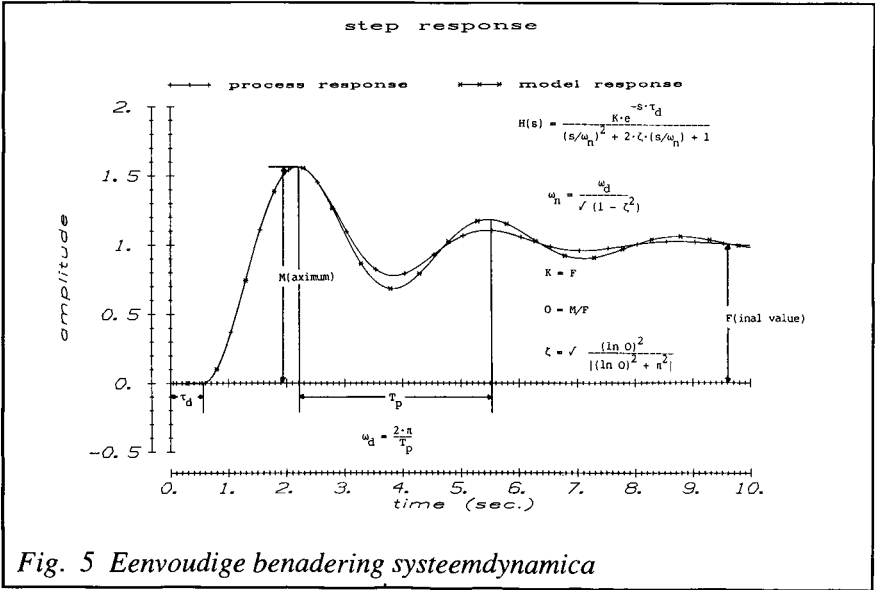


Fig. 5 Eenvoudige benadering systeemdynamica

werden vooral gestimuleerd door de behoefte aan nauwkeurige wapensystemen. De ontwikkeling van root locus technieken in 1948 door Evans [Evans, 1948] en het werk van Bode [Bode, 1945], hebben een aanzet gegeven tot grootschalige introductie van automatische regelsystemen in de industrie.

Door toepassing van deze technieken ontstond namelijk voor het eerst de mogelijkheid om automatische regelsystemen met een van te voren bepaald dynamisch gedrag te ontwerpen. Sinds de jaren vijftig worden automatische regelsystemen dan ook op grote schaal binnen de procesindustrie toegepast voor het beheersen van primaire procesingenomen zoals drukken, stromen, krachten, temperaturen. Wat ook zeer belangrijk is gebleken voor deze grootschalige toepassing van Proportionele, Integreerende en eventueel Differentiërende (P(I)(D)) regelaars: voor het ontwerp van deze regelsystemen is geen gedetailleerde kennis van het dynamisch gedrag van het te regelen proces vereist is; in het algemeen volstaat een grove eerste of tweede orde benadering van de procesdynamica, aangevuld met een looptijd (Fig. 5). Vooral daardoor is praktische toepassing van deze klassieke regeltechniek relatief eenvoudig gebleken.

Omdat deze klassieke technieken betrekking hebben op het regelen van één uitgangsvaariabele door het corrigeren van één ingangsvaariabele is in het algemeen het toepas-

singsbereik beperkt tot het regelen van primaire procesingenomen. Processen hebben echter meestal meerdere uitgangen, die allemaal moeten worden beheerst en die gelijktijdig worden beïnvloed door meerdere procesingenomen. Elk van deze ingangen heeft gewoonlijk een eigen dynamische overdracht naar iedere uitgang. Toepassing van de klassieke regeltechniek op deze zogenaamde multivariabele systemen leidt dan tot matige prestaties; ten gevolge van de interacties moeten de regelsystemen namelijk zo worden afgeregeld, dat zij alleen nog het langzame, quasi-statische gedrag van het proces beïnvloeden. Vanaf het eind van de jaren vijftig zijn ontwikkelingen op het gebied van de regeltechniek verder gegaan in de richting van het verkrijgen van een gedetailleerd inzicht in het dynamisch gedrag van lineaire systemen en gericht op het 'optimaal' regelen van deze systemen. Deze ontwikkelingen, waartoe een eerste aanzet is gegeven door Wiener [Wiener, 1949] en Kalman [Kalman, 1960], hebben geleid tot een diepgaand inzicht in het gedrag van lineaire systemen. Bovendien is hieruit een verzameling mathematische hulpmiddelen voor het ontwerp van regelsystemen voort gekomen, die de afwijkingen tussen het gewenste en het gerealiseerde gedrag van het geregelde systeem minimaliseren. Voorwaarde voor praktische toepassing van deze technieken is evenwel, dat men beschikt over

gedetailleerde kennis van het dynamisch gedrag van het te regelen systeem. Deze technieken zijn dan ook vooral toegepast voor het regelen van die systemen, waarvoor het mogelijk is modellen te maken, die het dynamisch gedrag van deze systemen nauwkeurig beschrijven. Speciaal in de ruimtevaart, waar systemen op basis van fysische modelvorming accuraat kunnen worden gemodelleerd, hebben deze technieken dan ook ruime toepassing gevonden. In de procesindustrie, waar het modelleren op basis van fysisch/chemische modelvorming vaak zeer moeizaam verloopt en soms zelfs onmogelijk blijkt, is deze eis met betrekking tot het beschikken over modellen, die het dynamisch gedrag van het te regelen proces nauwkeurig beschrijven, onoverkomelijk gebleken. Het belangrijkste probleem, waarmee men in dit opzicht in de procesindustrie wordt geconfronteerd, blijkt te bestaan in de onnauwkeurigheid van de beschikbare modellen. Vandaar, dat het afgelopen decennium het 'robuust regelen' een belangrijk aandachtsgebied binnen de verdere ontwikkeling van de regeltheorie is geworden. Met deze analyse- en ontwerptechnieken beoogt men regelsystemen te ontwerpen, die, rekening houdend met modelfouten, aan bepaalde prestatie- en stabiliteitseisen blijven voldoen. Een aanzet tot deze ontwikkelingen is onder andere gegeven door Zames [Zames, 1981]. Deze aanpak maakt

het in principe mogelijk regelaars te ontwerpen, die het geregelde systeem nog steeds goed laten functioneren; ook in situaties waar de beschikbare modellen het werkelijke systeemgedrag maar matig beschrijven. Deze ontwikkelingen vertonen duidelijke overeenkomsten met de klassieke technieken voor het ontwerp van regelsystemen.

Hierbij is immers het uitgangspunt steeds geweest, dat men niet noodzakelijkerwijs hoeft te beschikken over diepgaande detailkennis van het dynamisch gedrag van het te regelen systeem om het een acceptabel geregeld dynamisch gedrag te geven. In die zin kan het 'robuust regelen' worden gezien als een logisch vervolg op deze klassieke technieken. Het huidige onderzoek binnen het vakgebied van de regeltechniek is er in het bijzonder op gericht om technieken te krijgen, waarmee het mogelijk is tijdens het ontwerp de balans tussen robuustheid en prestaties af te stemmen op de directe toepassing. Als voorbeeld kan hier de regeling van het aftastmechanisme van een compact disc speler worden genoemd, waar hetzelfde regelsysteem toegepast moet kunnen worden voor het besturen van mechanismen met een verschillend dynamisch gedrag ten gevolge van toleranties in de productie. Een belangrijk kenmerk van de resulterende regelsystemen is, dat in het algemeen aanzienlijk meer rekenwerk gedaan moet worden voor het

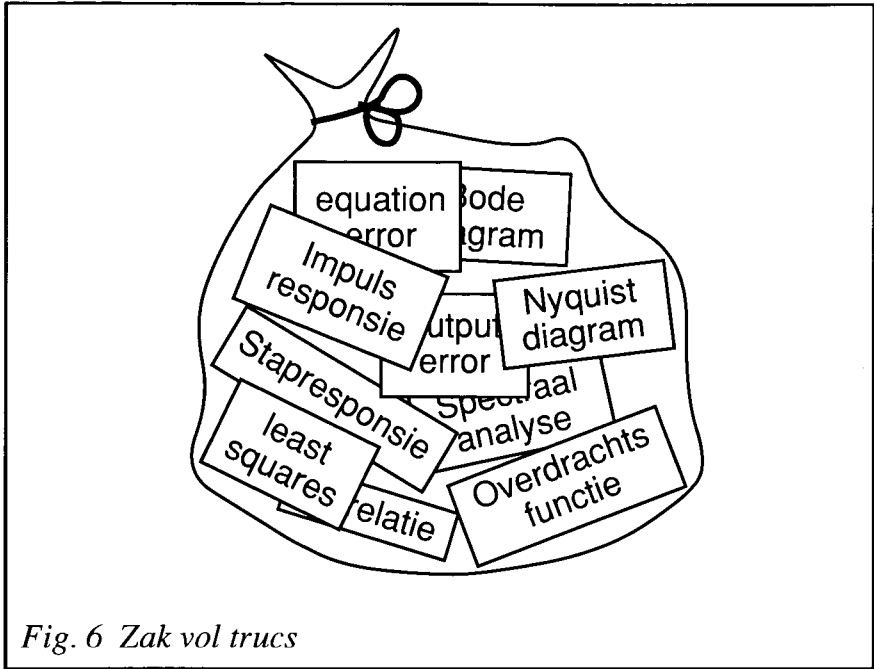


Fig. 6 Zak vol trucs

bepalen van een nieuwe regelactie dan bij de klassieke  $P(I)(D)$  regelaars.

Uit het voorgaande moge het duidelijk zijn, dat kennis van het dynamisch gedrag van systemen belangrijk is, indien men deze systemen nauwkeurig wil kunnen besturen. In het volgende wil ik eerst een globaal overzicht geven van de ontwikkelingen, die zich hebben voltrokken op het gebied van de systeemidentificatie.

Eén van de belangrijkste kenmerken van de ontwikkelingen in de systeemidentificatie is, dat er gedurende lange tijd geen duidelijke lijn te onderscheiden is geweest in deze

ontwikkelingen. Tot het midden van de jaren zeventig werden allerlei technieken ontwikkeld, vaak op basis van statistische methoden en signaalbewerkingstechnieken. De aldus ontwikkelde technieken kunnen het best worden omschreven als een 'zak vol trucs', zoals door professor Eykhoff in presentaties vaak is aangegeven (Fig. 6).

Als we identificatie definiëren als het bepalen van de eigenschappen van systemen op basis van waarnemingen van het gedrag aan in- en uitgangen, dan blijkt het een techniek te zijn, die al zeer lang wordt toegepast. Zoals recentelijk in een proef-

schrift is aangegeven [Zhu, 1990], werden bijvoorbeeld artsen in het China van circa 200 voor Christus reeds gedwongen een diagnose van de ziekte van hun vrouwelijke patiënt te stellen louter door het voelen van haar polsen. Deze beperking kwam voort uit de regels van het Confucianisme, dat mannen en vrouwen geen lichamelijk contact met elkaar mochten hebben buiten het gezinsverband en dat met name ongehuwde meisjes niet door mannelijke buitenstaanders mochten worden gezien. Voor de ongehuwde vrouwelijke patiënt impliceerde dit, dat zij tijdens het onderzoek achter een gordijn moest blijven en slechts haar polsen voor onderzoek mocht laten voelen.

Hoewel klassieke regelsystemen geen gedetailleerde kennis van het dynamisch gedrag van het te regelen systeem vragen, is voor het instellen van deze regelaars toch wel enig inzicht in de belangrijkste responskarakteristieken van het te regelen systeem nodig. Teneinde de vereiste kennis te verkrijgen worden reeds vanaf de introductie van technieken voor het ontwerp van regelsystemen identificatietechnieken gebruikt. Een veelvuldig toegepaste identificatietechniek bestaat uit het schatten van belangrijkste tijdconstanten en looptijden uit een gemeten staprespons van het te regelen systeem. Een andere vaak gebruikte methode is het exciteren van het proces met sinusvormige testsigna-

len voor het bepalen van de overdrachtskarakteristieken op een aantal discrete frekwentiepunten. Vanaf het eind van de jaren vijftig is identificatie van systeemdynamica een aparte discipline geworden, die steeds nauw verbonden is geweest met het gebied van de regeltechniek. Zadeh is de eerste geweest, die het identificatieprobleem formeel heeft gedefiniëerd [Zadeh, 1962]. In de beginperiode werd de aandacht vooral geconcentreerd op het schatten van onbekende modelparameters. Veel aandacht werd besteed aan het ontwikkelen van technieken, waarmee het mogelijk is op eenvoudige wijze, bijvoorbeeld door het oplossen van een stelsel lineaire vergelijkingen, de onbekende modelparameters te schatten. Meestal waren de toegepaste schattingsmethoden gebaseerd op statistische technieken. Tot het midden van de jaren zeventig liep de eis om de vereiste rekencapaciteit voor het identificeren van de systeemdynamica zo beperkt mogelijk te houden als een soort rode draad door het onderzoek. Aangezien dat onderzoek zich niet langs een vaste vooraf gedefiniëerde structuur ontwikkelde, was er tegen die tijd een enorme 'bag of tricks'. Ordening in deze chaos van technieken tot een coherent beeld is voor het eerst geschapen door professor Eykhoff [Eykhoff, 1974].

Ten aanzien van de praktische toepasbaarheid van identificatietechnieken voor het modelleren van het

dynamisch gedrag van systemen, waren er in het midden van de jaren zeventig twee belangrijke problemen:

- de tot dan toe ontwikkelde technieken waren voornamelijk gericht op het identificeren van systemen met één ingang en één uitgang;
- de restricties ten aanzien van ruseigenschappen, de veronderstelde lineariteit en tijdinvariantie van het te modelleren systeem, de op vereenvoudiging van het rekenwerk gerichte benaderingen van op te lossen problemen en, in het bijzonder ook, het veelvuldig toegepaste 'equation error' criterium, dat resulteerde in vereenvoudiging van het rekenwerk, maakten, dat de relatie tussen het uit identificatie verkregen model en het werkelijk systeemgedrag niet meer duidelijk was.

Het gevolg was dan ook, dat beschikbare identificatietechnieken zich in het algemeen niet leenden voor het modelleren van het dynamisch gedrag ten behoeve van het ontwerp van regelaars voor complexe systemen zoals multivariabele industriële processen. Vanaf het midden van de jaren zeventig is het onderzoek op het gebied van de procesidentificatie verder gegaan in een drietal richtingen:

- het ontwikkelen van een sluitende theorie voor het identificeren van één ingangs- één uitgangssystemen;

- het ontwikkelen van technieken en theorieën voor het identificeren van multi ingangs- multi uitgangssystemen;
- het ontwikkelen van technieken voor het identificeren van systemen, die niet in de voor de identificatie gebruikte modelset passen.

De eerstgenoemde ontwikkelingen zijn vooral uitgevoerd door mensen uit de zogenaamde Zweedse school waaronder Åström, Söderström, Gustavsson, Ljung. Binnen dit onderzoek zijn belangrijke resultaten geboekt. Een groot gedeelte van dit werk is beschreven door professor Ljung [Ljung, 1987].

De identificatie van multivariabele systemen is onder andere het aandachtsgebied geweest van onderzoekers in Nederland, België en Italië. Dit onderzoek heeft geleid tot een gedetailleerd inzicht in de eigenschappen en structuren van modelsets voor multivariabele systemen. Bovendien is veel kennis verkregen over de beperkingen van de diverse modelsets, gekozen parametriseringen, criteria en schattingsmethoden. Een belangrijk nevenresultaat van dit onderzoek is het verkregen inzicht, dat er een sterke samenhang moet zijn tussen de gevolgde identificatieprocedure en de latere toepassing van de resulterende modellen. Eén ding is evenwel óók duidelijk geworden: de gevolgde weg heeft niet geleid tot identificatietechnieken, die direct toepasbaar zijn

voor het modelleren van het dynamisch gedrag van complexe multivariabele processen ten behoeve van regelsysteemontwerp.

Om toch te komen tot toepasbare technieken voor het identificeren van multivariabele industriële processen, zijn er dan ook, mede op initiatief van bedrijven, die dit soort technieken wilden gebruiken, onderzoekactiviteiten gestart op basis van een andere filosofie. Een belangrijk kenmerk van dit toepassingsgerichte onderzoek is, dat het wordt verricht onder de aanname, dat werkelijke processen een zeer complex dynamisch gedrag hebben en dat dit gedrag in het algemeen niet exact met eenvoudige modellen beschreven zal kunnen worden. Als eerste aanzet voor deze andere aanpak van de identificatieproblematiek kan het werk van Hajdasinski en van Richalet worden genoemd [Hajdasinski, 1976; Richalet, 1978]. Later zijn dit soort technieken in Nederland met name binnen Philips en Shell in nauwe samenwerking met respectievelijk de Technische Universiteit van Eindhoven en Delft verder ontwikkeld. Uitgangspunt voor deze ontwikkelingen was niet het met zo gering mogelijke inspanning verkrijgen van zeer compacte modellen, die het werkelijk systeemgedrag representeren. Het doel van deze ontwikkelingen was om uiteindelijk modellen te verkrijgen, die de belangrijkste dynamische eigenschappen van de gemodelleerde

systemen voldoende nauwkeurig beschrijven voor hun *toepassing*. Als consequentie bleek voor de identificatie van het procesgedrag een aantal identificatiestappen noodzakelijk, tenzij men accepteerde, dat modellen een extreem hoge orde hadden en, in het algemeen, slecht geconditioneerd waren. Bovendien vroegen sommige van de uit te voeren stappen een aanzienlijke hoeveelheid rekenwerk.

De belangrijkste toepassing van de met deze identificatietechnieken verkregen modellen is het ontwerp van, op een intern model gebaseerde, multivariabele regelsystemen. In dit soort regelsystemen worden hoge eisen gesteld aan de mogelijkheid tot simulering van procesuitgangsgedrag, louter op basis van bekende ingangssignalen. De bovengenoemde identificatietechnieken leveren modellen, die, binnen de beperkingen van de uiteindelijk gebruikte modelsets, de belangrijkste aspecten van het procesin-/uitgangsgedrag zo goed mogelijk beschrijven. Deze technieken zijn inmiddels in de praktijk op een groot aantal processen, waaronder productieprocessen in de autoindustrie, lucht- en ruimtevaartindustrie, staalindustrie, chemische procesindustrie, glasindustrie, met succes toegepast [Richalet, 1990].

In het voorgaande heb ik reeds aangegeven, dat één van de voorwaarden van het toepassen van geavan-



ceerde technieken voor modelvorming en regeling de beschikbaarheid van voldoende reken capaciteit is. De spectaculaire ontwikkelingen op computergebied de afgelopen decennia zijn dan ook zeker mede bepalend geweest voor de introductie van nieuwe regelprincipes in de industrie. Volgens professor Åström is de eerste computer voor het regelen van een proces in 1959 in werking gesteld [Åström, 1984]. Deze computer bestuurdde een polymerisatie eenheid van Texaco. Dit systeem werd gekenmerkt door zeer beperkte geheugencapaciteit en beperkte rekenfaciliteiten. Bovendien was het systeem nog erg onbetrouwbaar. Ontwikkelingen met betrekking tot computers voor procesbesturing hebben elkaar sindsdien snel opgevolgd [Åström, 1985]. De toename van de rekenkracht, de geheugencapaciteit, de betrouwbaarheid en tegelijkertijd de drastische prijsdaling, het afnemen van de afmetingen, van het energieverbruik en van de omgevingseisen hebben geleid tot een grootschalige introductie van computers voor het besturen van processen. De speciaal voor de procesindustrie ontwikkelde computersystemen met hun eigen programmeertalen hebben als voordeel, dat op relatief eenvoudige wijze grote aantallen regelaars binnen één systeem kunnen worden gerealiseerd. De prijs per regelkring is hierdoor laag. Met de toegepaste DDC ('Direct Digital Control') programmeertalen kunnen standaard

P(I)(D) regelaars willekeurig met proces in- en uitgangen en met elkaar worden verbonden. Voor het configureren van de regelsystemen moeten hoofdzakelijk ingangen, uitgangen, regelaartypen, regelaarparameters en schaalfactoren in tabellen worden ingevuld. Deze systemen hebben evenwel ook een duidelijk nadeel. De structuur van de systemen en de beperkte mogelijkheden van de gebruikte programmeertalen hebben gedurende lange tijd de introductie van geavanceerde regelalgorithmen verhinderd. De systemen leenden zich uitsluitend voor het besturen van processen met klassieke (PID) regelaars. Pas de sinds het eind van de jaren tachtig op de markt geïntroduceerde procescomputersystemen bieden de mogelijkheid om de moderne identificatie- en regelalgorithmen op grotere schaal toe te passen.

Voor de introductie van zulke geavanceerde technieken zijn tenslotte de ontwikkelingen op sensor- en actuatorgebied nog belangrijk. Ook hier speelt de microelectronica een belangrijke rol. Doordat een grote rekenkracht en geheugencapaciteit het afgelopen decennium tegen een lage prijs beschikbaar zijn gekomen, is het mogelijk geworden nieuwe generaties sensoren en actuatoren te realiseren, waar intern allerlei signaalbewerkingen en signaalanalyses plaats vinden. Deze sensoren en actuatoren maken het mogelijk grootheden betrouwbaar te meten

en te besturen, die voorheen niet meetbaar of bestuurbaar waren. Eén van de methoden, die hiervoor wordt toegepast, is gebaseerd op het gebruik van een model voor het indirect 'meten' van niet direct meetbare grootheden ('observer' technieken).

Deze grepen in de historie leren ons, dat pas sinds het eind van de jaren tachtig de weg open is voor grootschalige introductie binnen de industrie van de in de afgelopen decennia ontwikkelde technieken voor procesidentificatie en multivariabele, superviserende regelsystemen.

### Processen, regelen en procesidentificatie: belang voor marktpositie en maatschappij

Ook de markt heeft de laatste vijftien jaar grote veranderingen ondergaan. Door een sterke toename van productiecapaciteit en door verbeterde transport- en communicatiemiddelen is wereldwijd in de Westers-georiënteerde landen voor een groot aantal produkten een verzadiging van de markt opgetreden. Door de overvloed van aangeboden produkten kan de klant kiezen uit een breed scala van sterk verwante produkten. Voor de bedrij-

ven heeft dit een verhevigde concurrentie tot gevolg gehad. Als reactie op de steeds toenemende concurrentiedruk hebben de bedrijven in eerste instantie gepoogd hun klanten te vinden en te binden door het aanbieden van produkten tegen steeds lagere prijzen. Dit noodzaakte hen om doorlopend te streven naar verhoging van de efficiëntie waarmee werd geproduceerd. Steeds efficiënter produceren heeft uiteindelijk niet geleid tot een voldoende onderscheidend vermogen ten opzichte van de concurrentie. Vanaf het begin van de jaren zeventig is, in eerste instantie door Japanse ondernemingen, behalve aan verhoging van de efficiëntie ook gewerkt aan een verbetering van de kwaliteit van produkten en productieprocessen. Deze kwaliteit bleek een belangrijk kenmerk om zich te onderscheiden van de concurrentie. In het aanhoudende streven naar een verbetering van de marktpositie is echter ook kwaliteit op den duur niet meer voldoende gebleken. In de verdere evolutie is door een aantal ondernemingen reeds een volgende stap gezet; verhoging van de flexibiliteit is een adequaat middel gebleken om een breed pakket produkten op vraag te kunnen leveren. Hierdoor hebben efficiënt georganiseerde, kwalitatief hoogwaardige leveranciers zich verder kunnen onderscheiden. Zij zijn in staat gebleken beter en sneller aan de wensen van klanten te kunnen voldoen. Maar zelfs een hoge graad van flexibiliteit

is ook nog niet afdoende om aan alle klantenwensen te voldoen. Deze waarborgt slechts het snel kunnen leveren van een specifiek produkt uit een weliswaar breed; maar toch relatief star leveringsprogramma. De eerstvolgende stap is dan ook, om snel te kunnen voldoen aan specifieke klantenwensen, die verder reiken dan de mogelijkheden van het starre leveringsprogramma. Dit betekent: in staat zijn tot produktie van een kwalitatief hoogwaardig produkt, afgestemd op de specifieke wensen van de klant. Deze laatste stap betekent voor ondernemingen, dat zij gericht moeten zijn op voortdurende verandering en doorlopende vernieuwing. Dit vereist een volledige beheersing van de binnen het bedrijf gebruikte productieprocessen en het vermogen om nieuwe ontwikkelingen efficiënt door te voeren tot op de produktievloer of in de installatie.

Naast de spectaculaire ontwikkelingen, die zich op de wereldmarkt hebben voltrokken, zijn er de laatste twee decennia ook maatschappelijk enorme veranderingen in gang gezet. Vanaf het begin van de jaren zeventig realiseren we ons, dat grondstofvoorraden niet onuitputtelijk zijn. Bovendien worden we de laatste vijftien jaar erg hard geconfronteerd met de resultaten van een al te onstuimige opbloei van de welvaart. Water-, bodem- en luchtverontreiniging worden steeds nijpender. We zullen de enorme hoeveel-

heden afval en gebruik van voor ons milieu schadelijke stoffen moeten beperken. We zijn ons er nu van bewust, dat domweg in de bodem stoppen, in zee storten of zomaar verbranden geen oplossing biedt. We moeten zuiniger worden op onze energie- en grondstofvoorraden. De laatste paar jaren zijn we de ernst van de situatie pas goed gaan inzien. We beginnen te beseffen, dat er op zeer korte termijn ingrijpende maatregelen moeten worden genomen. Deze maatregelen zullen gevolgen hebben voor de industrie, maar eveneens voor onze manier van werken en leven.

Eén van de consequenties van de bovengenoemde constatering is, dat we moeten zorgen, dat onze productieprocessen beter beheerst gaan worden. We moeten de processen alleen die produkten laten maken, die ook daadwerkelijk gevraagd worden. Er zal voor gezorgd moeten worden, dat zo weinig mogelijk verliezen optreden tijdens opstarten of omstellen van de processen. De uitstoot van schadelijke stoffen en de hoeveelheden ongewenste bijprodukten moeten drastisch worden gereduceerd en, indien mogelijk, tot nul worden teruggebracht. Dit geldt zowel voor de industrie als voor het transport, de landbouw en onze hele maatschappij.

*Wat kunnen nu de in het begin van mijn betoog besproken technieken*

*bijdragen aan oplossingen voor deze complexe problematiek?*

Gecombineerde toepassing van de eerder besproken technieken biedt de mogelijkheid processen te onderzoeken op de oorzaken van ongewenst dynamisch gedrag, dat aanleiding geeft tot opstart- of omstelverliezen of dat leidt tot afval, uitstoot van schadelijke stoffen en allerlei ongewenste producten. Met deze technieken is het mogelijk het gedrag van de processen te verbeteren tot aan de grenzen van de fysische, chemische, biologische mogelijkheden. Gevoeligheden voor verstoringen kunnen worden verkleind met als resultaat een flinke reductie van de spreiding van kritische procesvariabelen. Dit maakt processen beter beheersbaar en het kan er voor zorgen, dat processen binnen nauwere toleranties blijven werken. Als gevolg hiervan zal de kwaliteit van producten toenemen en zal de uitstoot van afval en schadelijke stoffen worden gereduceerd. Een beter beheerste procesdynamica leidt in het algemeen ook tot een flinke reductie van opstart- en omsteltijden. Hierdoor neemt de flexibiliteit toe en kunnen voorraden afnemen. Het rendabel produceren van kleine series producten op maat komt binnen bereik. Dit zal onder andere ook een efficiënter gebruik van energie en grondstoffen mogelijk maken.

De technieken, zoals die nu be-

schikbaar zijn, bieden reeds de mogelijkheid om systemen beter beheersbaar te maken. Het zijn technieken, waarmee het dynamisch gedrag van de systemen geanalyseerd, gemodelleerd en, binnen grenzen, aan wensen aangepast kan worden. Deze technieken bieden de mogelijkheid om ongewenste karakteristieken in het systeemgedrag, die in het ontwerp van de systemen zelf nauwelijks kunnen worden opgelost, te compenseren, zodat deze systemen een aan de behoeften aangepast gedrag gaan vertonen. Wanneer men tijdens de ontwikkeling van nieuwe systemen de besturingstechnieken reeds in het ontwerp betreft dan biedt dat tot nu toe ongekennde en te weinig gebruikte mogelijkheden voor het verhogen van de kwaliteit en flexibiliteit van deze systemen. Dat grenzen aanzienlijk kunnen worden verlegd is reeds aangetoond in de enige jaren geleden ontstane discipline 'Mechatronica'. Binnen dit nieuwe vakgebied worden technieken ontwikkeld voor het geïntegreerd ontwerpen van mechanische systemen met hun besturingen. Denk hierbij bijvoorbeeld aan systemen als compact disc spelers en robots. De te behalen resultaten ten aanzien van vereenvoudiging van constructies, verhoging van snelheid, nauwkeurigheid en robuustheid zijn verbluffend. Een soortgelijke ontwikkeling staat voor de deur op het gebied van geïntegreerde procesontwikkeling. Ook

hier moet wellicht, in navolging van hetgeen binnen de wereld van de werktuigbouw en besturing is gebeurd, een nieuwe discipline worden opgestart: 'Chemotronica'. In dit interdisciplinair samenwerkingsverband kunnen dan de nieuwe generaties processen integraal met de besturingstechnieken worden ontwikkeld, zodat zij kunnen voldoen aan de zeer zware, door markt en maatschappij gestelde, toekomstige eisen. Denk bijvoorbeeld aan automotoren, waarbij de uitstoot van schadelijke stoffen ook reeds kort na het starten en bij stationair draaien sterk wordt gereduceerd, of aan vuilverbrandingsinstallaties, waar de vrijkomende hoeveelheid schadelijke stoffen drastisch wordt beperkt ondanks de sterk wisselende samenstelling van het aangeboden afval.

Dit brengt mij op het laatste deel van mijn rede.

### Processen, regelen en procesidentificatie: onderzoek en onderwijs

Zoals uit het voorgaande reeds duidelijk is geworden, staan we aan het begin van een boeiende periode, waarin de samenwerking tussen vele disciplines moet leiden tot

technieken, die een oplossing kunnen bieden voor een deel van de problemen, waarmee we nu reeds enigszins en in de toekomst steeds sterker worden geconfronteerd. Binnen de systeemidentificatie zullen nieuwe generaties technieken moeten worden ontwikkeld die alle kennis leveren, vereist voor het ontwerp van robuuste en nauwkeurige regelsystemen. Bovendien zullen er technieken moeten worden ontwikkeld, die vroegtijdig signaleren, dat het gedrag van geregelde systemen verloopt bijvoorbeeld ten gevolge van slijtage, veroudering en inwendige vervuiling. Daarnaast zijn identificatietechnieken gewenst, waarmee het mogelijk is bestaande modellen, die het dynamisch gedrag van processen in bepaalde werkgebieden beschrijven, op eenvoudige wijze aan te passen aan het gedrag behorend bij iets gewijzigde werkgebieden. Ook op het gebied van de regeltechniek moeten er nog belangrijke ontwikkelingen plaats vinden zoals bijvoorbeeld de ontwikkeling van technieken, waarmee de verhouding robuustheid/prestatie vooraf kan worden ingevuld, of technieken, waarmee integratie van de procesbesturing met de besturing op hogere beslissingsniveaus mogelijk wordt. Voor een efficiënte ontwikkeling van nieuwe technieken is het ook van groot belang dat deze technieken getest kunnen worden binnen productieomgevingen. Verder zal een intensieve interdisciplinaire samenwerking op gang moe-

ten komen voor het ontwikkelen van nieuwe processen, die aan de steeds strengere door de maatschappij en door de markt opgelegde eisen voldoen.

Gelet op het belang van dit alles is een adequate overdracht van kennis en ervaring naar nieuwe generaties specialisten van groot belang. Uiteindelijk kunnen nieuwe technieken pas breed worden toegepast als zij ruim verbreid zijn en gemeengoed zijn geworden. Onderwijs is één van de belangrijkste middelen om deze verbreiding tot stand te brengen.

Resumerend kan ik zeggen dat ons een uitdaging wacht die, als we zorgen voor een goed gestructureerd onderzoek en een gedegen onderwijs, ongekende mogelijkheden biedt ter ondersteuning van bedrijven en maatschappij voor het creëren van oplossingen voor problemen die nu nog onoplosbaar lijken. Een voorwaarde is evenwel dat de ruimte, die wordt geboden voor het onderzoek en onderwijs, toereikend is. Het mag niet zo zijn, dat het oplossen van zulke belangrijke problemen onmogelijk wordt gemaakt, doordat de aandacht wordt geconcentreerd op de oplossing van de huidige economische problemen van de overheid en er onvoldoende ruimte blijft voor het financieren van het wetenschappelijk onderzoek en onderwijs. Dit immers moet ervoor zorgen, dat gepaste oplossingen klaarliggen voor de toekomstige

problemen. We moeten ons realiseren, dat het bedrijfsleven best bereid is te investeren in nieuwe ontwikkelingen, maar slechts in zoverre als dit leidt tot oplossing van problemen waarmee het nu kampt. Lange termijn ontwikkelingen, gericht op het verkennen van nieuwe mogelijkheden, noodzakelijk voor het bepalen van een visie en voorwaarde voor het maken van beleidsplannen, blijven in belangrijke mate de verantwoordelijkheid van de overheid. Deze voor onze economie en maatschappij zo essentiële activiteiten mogen niet worden ondermijnd met het simpele excuus: er is nu geen geld voor. Nu afbouwen van het lange termijn onderzoek betekent namelijk niet alleen, dat er geen passende antwoorden komen voor de toekomstige problemen. Het impliceert bovendien, dat de voor deze ontwikkelingen vereiste expertise verloren gaat. Het gevolg hiervan zal, naast het oplopen van een moeilijk in te halen, grote achterstand ten opzichte van onze concurrenten, ook zijn, dat het later opnieuw opstarten van het noodzakelijke onderzoek veel moeilijker wordt en dan dus ook onevenredig veel meer geld kost!

Dames en Heren,

Bijna aan het eind van deze rede gekomen wil ik besluiten met enige woorden van dank en waardering.

## Mijne heren leden van het College van Bestuur,

Bij deze officiële aanvaarding van mijn ambt wil ik gaarne mijn dank jegens U uitspreken voor uw besluit mij te benoemen tot deeltijdhoogleraar aan deze universiteit. Daarnaast wil ik U en allen, die daaraan hebben bijgedragen, danken voor de snelle wijze waarop alle benodigde formaliteiten zijn afgehandeld. U kunt er op rekenen, dat ik de mij opgedragen taak naar beste kunnen en weten zal vervullen.

## Dames en heren hoogleraren en medewerkers van de faculteit der Elektrotechniek,

Sinds begin februari mag ik in uw midden werken. Voor mij betekent dit na twaalf jaar een terugkeer naar de plaats, waar ik mijn eerste wetenschappelijke vorming heb ondergaan. Na het vertrek vanuit de vakgroep Theoretische Elektrotechniek heb ik later de contacten weer opgepakt in een nauwe samenwerking met de vakgroep Meten en Regelen. Het doet mij goed nu terug te kunnen keren binnen deze faculteit. Ik hoop met degenen onder u, die ik nog niet heb leren kennen, de komende tijd kennis te maken en ik verwacht, dat wij, ook in deze moeilijke tijden van

steeds verdere bezuinigingen, tot een goede samenwerking zullen komen.

## Waarde medewerkers van de Vakgroep Meten en Regelen, in het bijzonder heren leden van de SIC groep,

Het is alweer ongeveer tien jaar geleden, dat wij elkaar hebben leren kennen. Ik kwam toen naar de vakgroep met de vraag of jullie interesse hadden in een samenwerking met een onderzoeksgroepje binnen Philips Glas, de PICOS groep. In dit samenwerkingsverband wilde ik graag identificatietechnieken ontwikkelen voor het modelleren van het dynamisch gedrag van ingewikkelde multivariabele processen. Het doel van deze ontwikkelingen was het industrieel toepasbaar maken van moderne regeltechniek. De toen ambitieuze doelstellingen zijn ruimschoots gehaald. Dit was voor een groot deel te danken aan jullie inbreng. Ik denk in dit verband nog met plezier terug aan de MIMO bijeenkomsten en aan de vele discussies, die wij samen hebben gevoerd. Ik hoop, dat ik nu een bijdrage kan geven aan het verder ontwikkelen van een hechte teamgeest binnen de vakgroep; een teamgeest, die onontbeerlijk is voor het behalen

van successen. Mogelijk kunnen dan de resultaten, die wij de komende jaren met onze SIC groep gaan behalen, nog veel verder reiken.

**Hooggeleerde Eykhoff,  
Beste Pieter,**

Als een vader heb jij mij geleerd kritisch te zijn op alles wat ik doe en, zolang het mijn eigen werk betreft, alleen tevreden te zijn met de beste resultaten. Jij hebt mij begeleid tijdens mijn eerste stappen als diplomaat voor het tot stand brengen van vruchtbare samenwerkingen tussen bedrijven en universiteiten, instanties die qua aanpak, belangen en werkwijze schril contrasteren. Voor de talrijke adviezen, die je mij hebt gegeven, voor alles wat ik van je heb geleerd, voor de vele dingen, die je voor mij hebt gedaan, en voor het in mij gestelde vertrouwen wil ik je vanaf deze plaats oprecht danken. Ik hoop, dat ik dit in mij gestelde vertrouwen in de toekomst niet zal beschamen.

**Hooggeleerde Kylstra,  
Rademaker, Van der Grinten,**

**Hautus, Kok,  
Vandewalle, Bosgra,  
Verbruggen, Olsder en  
Kwakernaak,**

Regeltechniek is een vakgebied, dat als geen ander meerdere disciplines bestrijkt. Samenwerking met vele specialisten is de sleutel tot succes binnen ons vakgebied. Gaarne geef ik dan ook uiting van mijn hooggespannen verwachtingen ten aanzien van de komende samenwerkingen met U als vakgenoten. De contacten, die wij tot nu toe hebben gehad, sterken mij in deze verwachtingen. Ik ben ervan overtuigd, dat onze samenwerking een bijdrage kan leveren aan het creëren van oplossingen voor vele praktische industriële en maatschappelijke problemen.

**Waarde leden van de directie  
van Getronics en Datex,**

Ik dank U in het bijzonder voor de gelegenheid, die U mij geeft om mijn taak als deeltijdhoogleraar te vervullen. In dit hoogleraarschap zijn de belangen van ons bedrijf en van de universiteit verstrengeld. Goed opgeleide en gemotiveerde medewerkers zijn namelijk de basis van ons bedrijf. Kennis is de bron van alle



ontplooiden activiteiten. Het is dan ook deze kennis, die in de toekomst veilig gesteld moet worden. Om hierin bij te dragen hebt U besloten tot samenwerking met de universiteit. Ik vertrouw erop, dat dit zowel voor ons bedrijf als voor de universiteit tot voordeel zal strekken.

### Waarde leden van de directie van Philips Licht,

U dank ik voor de mogelijkheden, die U hebt gecreëerd voor het doen van onderzoek binnen onze vakgroep. De samenwerking met uw bedrijf is van onschatbare waarde voor het ontwikkelen van technieken en gereedschappen, die geschikt zijn voor het oplossen van praktische problemen. Ik heb grote waardering voor uw visie op het belang van verdere ontwikkelingen op het gebied van de procesidentificatie en de regeltechniek om te komen tot een verbeterde procesbeheersing. Ik hoop, in nauwe samenwerking met U en met medewerkers van uw bedrijf, technieken te kunnen ontwikkelen, die in belangrijke mate gaan bijdragen aan deze verbeterde procesbeheersing.

### Waarde leden van de directie van Philips Glas,

U hebt gedurende meerdere jaren de gelegenheid geboden om onderzoek en ontwikkelingen te doen gericht op het industrieel toepasbaar maken van procesidentificatie technieken en geavanceerde regeltechniek. U hebt het mogelijk gemaakt de nieuw ontwikkelde technieken in de praktijk te beproeven en op basis van de opgedane ervaringen verder te verbeteren. Ik ben U zeer erkentelijk, dat ik onder uw leiding dit onderzoek heb kunnen doen.

### Geachte collega's van de PI groep,

In jullie midden heb ik de afgelopen jaren met plezier mogen werken. In de samenwerking met jullie heb ik een gezonde voedingsbodem gevonden voor wilde ideeën en ambitieuze plannen. Plannen, die we samen hebben ontwikkeld en die we nu in hecht teamverband realiseren. Het klimaat, dat we in de loop der jaren samen hebben gecreëerd, is motiverend en inspirerend gebleken. Ik beschouw mijn benoeming daarom ook als een erkenning van onze gezamenlijke inzet en kunde op het gebied van de procesidentificatie en de regeltechniek.

**Geachte Van den Braak,  
Beste Bert,**

Jij hebt mij oorspronkelijk gevraagd moderne regeltechniek industriëel toepasbaar te maken. In een omgeving waar het automatisch regelen van processen niet erg gebruikelijk was, heb jij voor mij de mogelijkheden gecreëerd om ontwikkelingen op te starten op het voor mij toen nieuwe vakgebied van de identificatie en geavanceerde regeltechniek. Jij bood kansen, die ik slechts hoefde op te pakken. Het feit, dat ik hier nu sta heb ik dan ook voor een belangrijk deel aan jou te danken. Vanaf deze plaats wil ik je hiervoor hartelijk danken.

**Geachte medewerkers van  
Philips Licht en Philips Glas,**

Het voor het eerst toepassen van nieuwe technieken in productieomgevingen vertoont veel overeenkomsten met zendelingenwerk. Dit werk doet een zwaar beroep op inzet en doorzettingsvermogen. De activiteiten, die wij samen ontplooiën, bestaan voor een belangrijk deel uit eerste toepassingen van nieuwe technieken. Voor de plezierige samenwerking en voor uw inzet ben ik U zeer erkentelijk.

**Mijn ouders**

wil ik danken voor het feit, dat zij mij steeds hebben gestimuleerd en gesteund op de weg, die tot deze benoeming heeft geleid. Al spelend met mijn vader heb ik reeds op jonge leeftijd kennis gemaakt met verschillende facetten van de natuurkunde en de elektrotechniek. De inzichten en basiskennis, die ik van hem heb gekregen, evenals de oprechte belangstelling van mijn moeder voor alles wat ik doe, zijn van onschatbare waarde gebleken tijdens mijn vorming.

**Lieve Lianne,  
Peter, Nicole en Eric,**

Jullie ervaren dagelijks wat het betekent om een man en een papa te hebben, die de ambitie heeft een nieuwe activiteit binnen een bedrijf op te starten en tegelijk een ambt als hoogleraar te vervullen. Dit kan alleen door jullie geduld, hulp en steun. Ik besef, dat het voor jullie vaak moeilijk is, als ik mij weer terugtrek voor mijn werk. Ik ben jullie dan ook zeer dankbaar, dat jullie hierin berusten en mij ondersteunen. Zonder jullie was dit alles nooit gelukt.

## Dames en heren studenten,

Ik heb reeds aangegeven, dat voor het oplossen van bestaande en toekomstige problemen met betrekking tot procesbeheersing, nieuwe generaties specialisten nodig zijn. Gelet op de omvang van de problemen en het belang voor onze economie en onze maatschappij zijn vele specialisten nodig. Ik hoop, dat velen onder U dit vakgebied net zo boeiend en uitdagend zullen vinden als ik en dat

een aantal van U onze gelederen als promovendus komen versterken. Ik wil U graag helpen bij het verkennen en verder ontwikkelen van het vakgebied. Uw enthousiasme motiveert mij om door te gaan.

Aan het eind van mijn rede gekomen rest mij nu alleen nog U uit te nodigen voor de receptie. Ik dank U voor uw aandacht.

## Referenties

- Åström, K.J. and B. Wittenmark, (1984), 'Computer Controlled Systems: Theory and Design', Prentice-Hall.
- Åström, K.J. (1985), 'Process control - past, present and future', IEEE Control Systems Magazine, August 1985.
- Bode, H.W. (1945), 'Network Analysis and Feedback Amplifier Design', Van Nostrand, Princeton, N.J.
- Evans, W.R. (1948), 'Graphical analysis of control systems', Trans. AIEE, No. 67.
- Eykhoﬀ, P. (1974), 'System Identification; Parameter and State Estimation', John Wiley and Sons.
- Hajdasinkski, A.K. (1976), 'A Markov parameter approach to identification of multivariable dynamical systems', Technical Report, Groep Meten en Regelen, Technische Universiteit Eindhoven, november 1976.
- Kalman, R.E. (1960), 'On the general theory of control systems', Proc. of the First Int. Congress on Automatic Control, Butterworth's, London.
- Ljung, L. (1987), 'System Identification, Theory for the User', Prentice-Hall.
- Maxwell, J.C. (1868), 'On governors', Proc. Roy. Soc., No. 16, London.
- Mayr, O. (1968), 'Zur Frühgeschichte der technischen Regelungen', proefschrift Technische Hochschule München.
- Nyquist, H. (1932), 'Regeneration theory', Bell System Techn. J., No. 11.

- Richalet, J. et al. (1978), 'Model predictive heuristic control: applications to industrial processes', *Automatica*, Vol. 14.
- Richalet, J. and S. Tzafestas editors (1990), *Proceedings of the ESPRIT CIM-Europe Workshop on Computer Integrated Design of Controlled Industrial Systems*, Paris, 26-27 April.
- Wiener, N. (1949), 'The Extrapolation, Interpolation and Smoothing of Stationary Time Series', Wiley, New York.
- Zadeh, L.A. (1962), 'From circuit theory to system theory', *Proc. IRE*, Vol. 50.
- Zames, G. (1981), 'Feedback and optimal sensitivity: model reference transformations, multiplicative seminorms and approximate inverses', *IEEE Trans. A.C.*, Vol. AC-26, No. 2
- Zhu, Y.C. (1990), 'Identification and Control of MIMO Industrial Processes: an Integration Approach', proefschrift TU Eindhoven.

**Vormgeving en druk:  
Reproductie en Fotografie van de CTD  
Technische Universiteit Eindhoven**

**Informatie:  
Secretariaat College van Dekanen  
Telefoon (040-47)2250**