

Regelen, rode draad door de technische/maatschappelijke verwevenheden

Citation for published version (APA):

Eykhoff, P. (1992). *Regelen, rode draad door de technische/maatschappelijke verwevenheden*. Technische Universiteit Eindhoven.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1992

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

Take down policy

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

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

DIESREDE 1992

Ter gelegenheid van de 36e herdenking
van de dies natalis van de
Technische Universiteit Eindhoven
op dinsdag 28 april 1992.

Prof.dr.ir. P. Eijkhoff dr.h.c.

知者不言
言者不知

— 老子

'Zij die weten, spreken niet;
zij die spreken, weten niet.'

Lao-tzu

知之為知之
不知為不知
是知也

— 孔夫子

'Wanneer gij een ding kent,
te doen als een die het kent,
en wanneer gij een ding niet kent,
te erkennen dat gij het niet kent,
dat is Kennis.'

K'ung-fu-tzu (Confucius)
(551-479 v. Chr.)

Dames en heren gasten van deze jarige universiteit, dames en heren leden van onze academische gemeenschap: bestuurders, docenten, medewerkers en studenten, gij allen die door uw aanwezigheid blijk geeft van uw interesse in en medeleven met de Technische Universiteit Eindhoven, zeer gewaardeerde toehoorders!

1. Inleiding

Sinds de vijfde eeuw v. Chr. wordt nevenstaande uitspraak van de Chinese wijsgeer Lao-tzu ons voorgelaten. Welk een dilemma dat geeft voor een spreker kunt u zich wellicht voorstellen . . .

In het roulatieschema van faculteiten voor het houden van de diesrede is dit jaar elektrotechniek aan de beurt. Dientengevolge is mij voor hedenmiddag die taak toebedeeld. Ik zal trachten die te vervullen door zo duidelijk mogelijk een aantal aspecten van mijn vakgebied naar voren te halen aan de hand van het volgende stramien:

1. Inleiding
2. Sturen/regelen; waarom?
3. Regelen; wat?
4. Regelen; methoden?

5. Regeltechniek in de TUE
6. Uitleiding

Het thema van hedenmiddag wil ik met een huiselijk voorbeeld u voor de geest roepen: het douchen. U herkent onmiddellijk het probleem: het verkrijgen van een behaaglijke temperatuur van het water. Door draaiend aan kranen 'regelend' op te treden kan aan die wens worden voldaan mits . . . dat behoedzaam gebeurt. Als er te impulsief gereageerd wordt, kunnen er nare dingen gebeuren . . .

Vertaald in technische termen hebben we te maken met:

- een '*proces*', d.w.z. een 'oorzaak → gevolg' relatie; hier is de oorzaak de instelling van de kranen, en het gevolg is de temperatuur van het water dat uit de sproeier komt;
- een '*regelaar*' die, op grond van enerzijds de **gewenste** situatie en anderzijds de waarneming/'meting' van de **werkelijke** situatie, handelend optreedt teneinde de discrepantie tussen wens en werkelijkheid zo klein mogelijk te maken.

In technisch jargon kunnen we zo'n regelsysteem, een samenspel van proces en regelaar, aangeven door bijv. een blokschema volgens fig. 1.

Het voorgaande is een voorbeeld van een regelactie die wordt uitgevoerd door de mens. In het dagelijks leven herkennen we zeer vele van zulke situaties, waaronder: het besturen van een auto, zowel wat betreft het route- en rijbaan-volgen, als ook het bepalen van de snelheid waarmee gereden wordt.

In vele andere situaties is het echter gewenst de mens te ontlasten van zo'n regeltaak, bijv. omdat die taak *sneller* moet worden uitgevoerd dan waartoe de mens in staat is, of omdat het een te *geestdodende* opgave is, of omdat het menselijk uithoudingsvermogen (*te*) *beperkt* is.

Van technische regeltoepassingen zullen we later een globaal overzicht geven. Eerst zullen we nu stilstaan bij de vraag van het waarom van de regeltechniek.

2. Sturen/regelen; waarom?

Wat is een regelsysteem? Een ruime en voor ons doel redelijk bruikbare definitie is de volgende:

*'Een regelsysteem is een middel waarmee een variabele grootte of een aantal variabele grootheden gedwongen wordt zich te gedragen overeenkomstig een voorgeschreven norm.'*¹

De doelstelling c.q. de voorgeschreven norm kan verschillende gedaanten hebben:

- een grootte constant houden; we spreken dan van een *'regulateur'*.
- een variabele grootte zo goed mogelijk volgen in de tijd; dit wordt ook *'servosysteem'* genoemd.
- een grootte op optimale wijze (in minimale tijd of met minimaal gebruik van energie; ...) van een begin- naar een eindwaarde brengen; d.w.z. een *'optimaal regelsysteem'*.

In de eerder genoemde voorbeelden zijn we al diverse van deze doelstellingen tegengekomen: een constante watertemperatuur bij het douchen; de positie op de weg en de snelheid van de bestuurde auto; dan wel de taak de auto van A naar B te rijden, bijv. in minimale tijd of met een minimaal brandstofverbruik.

Sturing kan gedaan worden op een wijze aangegeven door fig. 2; het proces **P** reageert bijvoorbeeld op een stapvormige verandering van het ingangssignaal **u** met een trage responsie **y**. Denk maar aan de snelheid van de auto wanneer u fors het gaspedaal intrapt.

Om iets van de essentie van het vak aan te duiden veroorloof ik mij, met excuses, enkele heel simpele formules

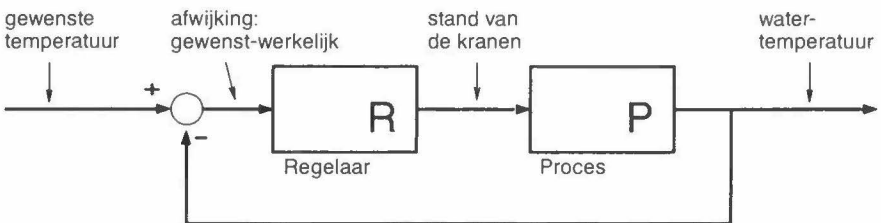


Fig. 1 Blokschema regelsysteem

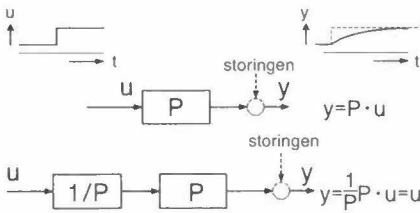
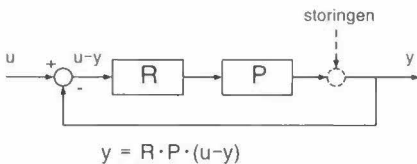


Fig. 2 Sturing; 'open lus'

te gebruiken. Onder bepaalde condities en met goede definities kan zo'n oorzaak → gevolg relatie worden geschreven als $y = P \cdot u$: het uitgangssignaal wordt gevonden door vermenigvuldiging van het ingangssignaal met de 'overdracht' P van het proces.

Willen we y sneller en beter laten volgen, dan is het wenselijk en in principe mogelijk vóór het proces een 'correctienetwerk' te zetten met overdracht $1/P$ (indien dat bestaat), zodat van u naar y de overdracht 1 is; een stapvormige verandering van u geeft dan een stapvormige verandering van y . Omdat we een correctienetwerk met een overdracht $1/P$ moeten maken, is het duidelijk dat voor zo'n procedure een goede, betrouwbare kennis omtrent het proces P nodig is.



$$y + R \cdot P \cdot y = R \cdot P \cdot u$$

$$\frac{\text{'uitgang' } y}{\text{'ingang' } u} = \frac{R \cdot P}{1 + R \cdot P} \quad \begin{matrix} \text{---} & \rightarrow & 1 \\ R & \text{---} & \infty \end{matrix}$$

Fig. 3 Regeling; 'terugkoppeling'

Een andere oplossing is gegeven in fig. 3; hier wordt het uitgangssignaal vergeleken met het ingangssignaal en op basis van het verschil, het 'foutsignaal' $u - y$, wordt ingegrepen. Het is dus noodzakelijk te kunnen meten! Het terugvoeren van informatie van de uitgang naar de ingang wordt *terugkoppeling* genoemd. Uit ervaring en uit de theorie blijkt dat nu de kennis omtrent het proces minder kritisch is dan in de eerder gegeven situatie. Uit fig. 3 wordt dat duidelijk indien $R \cdot P$ veel groter is dan 1. Beide principes vergeleek kunnen we zeggen:

- | | |
|---------------------------------|--|
| <i>sturing:</i> | <i>regeling:</i> |
| (voorwaarts; | (terugkoppeling; fig. 3) |
| fig. 2) | |
| - 'anticiperend' | - 'reagerend' |
| - 'open lus' | - 'gesloten lus' |
| - P moet nauwkeurig bekend zijn | - P hoeft slechts globaal bekend te zijn |
| - werkt niet voor storingen | - werkt óók voor storingen |

Onder de positieve effecten die door terugkoppeling teweeg gebracht kunnen worden zien we o.a.²:

- *geringere gevoeligheid voor veranderingen in P*
- *geringere gevoeligheid voor storingen*
- *andere voordelen, w.o. het kunnen stabiliseren van een instabiel systeem;*
- ...

Echter geldt ook:

- *de mogelijkheid van het optreden van instabiliteit als gevolg van het aanbrengen van terugkoppeling.*

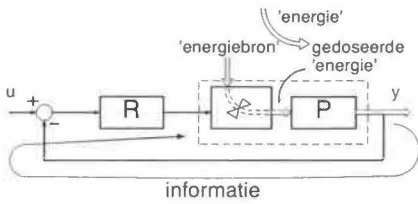


Fig. 4 *Regelen \approx doseren van energie*

Veelal kunnen regelsystemen worden opgevat als een dosering van een 'energie-' of een materiaalstroom op de een of andere wijze, overeenkomstig fig. 4. Met behulp van een zeer klein vermogen (meetsignaal, d.w.z. informatie) kan een groot vermogen ('energie'stroom) beheerst worden.

Uit de te geven voorbeelden zal blijken dat de regeltechniek zeer veelzijdig is,

en relevant is voor de meeste ir.-disciplines. Op een afstandelijke wijze kijkend naar de (elektro)techniek constateren we dat de hoofdrollen worden gespeeld door een drietal acteurs: energie, informatie, en materialen. Fig. 5 geeft grofweg en schematisch aan hoe, globaal, de vakdisciplines energietechniek, communicatietechniek, en de regel-/systeemtechniek hun eigen plaats hebben. Vergelijking met de bekende kleurendriehoek heeft er toe geleid als ideaal te stellen (Prof. Breedveld³) de 'witte ingenieur' die, in een goede balans, ten aanzien van elk van de drie fundamentele componenten der elektrotechniek voldoende kennis, inzicht en ervaring heeft. (Het zou echter niet juist zijn zo'n figuur kleurloos te noemen.)

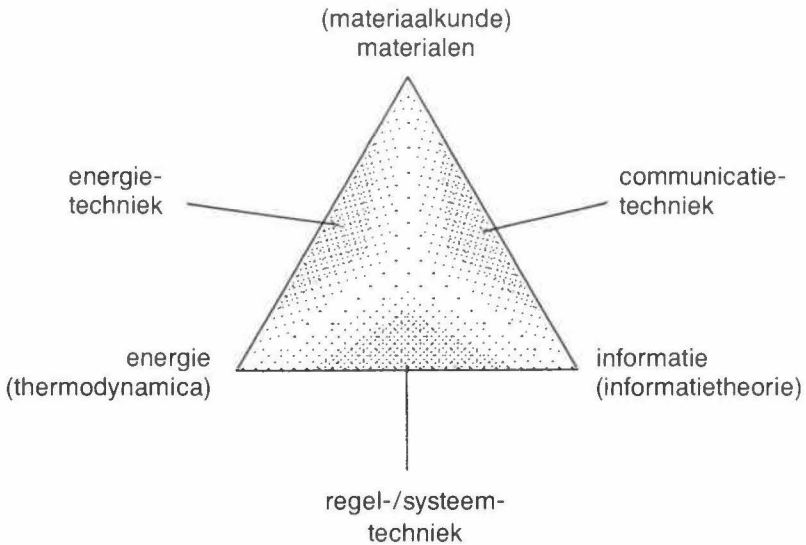


Fig. 5 *Helikopter view van de elektrotechniek*

Helaas, met de studieduurverkorting alsmede door de uitbreiding van het weten, kennen en kunnen begint het meer en meer een zeer zware onderwijsopgave te worden zo'n ingenieur te vormen.

Uiteraard, deze introductie kon niet anders dan erg summier zijn. Toch hoop ik dat zij u, waarde toehoorders, enig gevoel geeft ten aanzien van principes en mogelijkheden van regelen.

We bekijken thans enkele toepassingsgebieden.

3. Regelen; wat?

De verscheidenheid van toepassingen der regeltheorie en -techniek is te groot om deze, met enige pretentie van volledigheid op te sommen, laat staan in detail te bediscussiëren. Men denke slechts aan de regeling van:

(Fijn-)mechanische/optische/ elektronische systemen

- compact disc (CD) en optische plaatspelers
- fotocamera's; belichtingsregeling, autofocus
- (floppy)disk drives
- printers
- copieerapparaten
- robots
- actieve vering van auto's en vrachtwagens

De elektronische besturing van mechanische, hydraulische en pneumatische systemen is een voor de industrie belangrijk gebied, waarin de regeltechniek een centrale rol is toebedeeld: het verzorgen van de (optimale) afstemming van het stuur-/regelconcept op het specifieke systeemgedrag. Een nieuw woord heeft zich daarbij aangediend: mechatronica, een samentrekking van mechanica en elektronica⁴. De integrale ontwerpaanpak is essentieel voor verbetering van precisie, snelheid, kwaliteit, prijs/prestatieverhouding, etc. De flexibiliteit, robuustheid en relatief lage prijs van de elektronica is daarbij mede maatgevend voor de verdeling van functies over de mechanica en elektronica. Voor een groot deel betreft het toepassingen die de laatste 10 jaar ontwikkeld zijn.

Als voorbeeld bekijken we een CD-speler, fig. 6 (pag. 9). De registratie van het geluid op het 'zilveren' schijfje is een spiraal met een spoed van 1,6 micrometer (duizendste van een millimeter!). De laserstraal die de informatie moet lezen, dient zeer nauwkeurig en ononderbroken dat spoor te volgen en daarbij ook nog in focus te blijven, ondanks het feit dat het spoor in horizontale en in verticale positie relatief sterk zwabbert. Dit technische hoogstandje wordt gerealiseerd door een regelsysteem dat zowel een geringe afwijking van het juiste spoor als een defocussing signaleert en vervolgens ingrijpt.

Informatie-/communicatie-techniek

- terugkoppeling in elektronische circuits
- phase locked loops; TV-ontvangers, radio-ontvangers, stereo-decoders
- adaptieve filters; aanpassing aan kabeleigenschappen
- satelliet-antennes

De elektronica is één van de gebieden waar terugkoppeling qua theorie en toepassingen een grote stimulans heeft ondervonden. Dat begon al in de jaren dertig bij de problemen rond versterkers voor transatlantische kabels; terugkoppeling verschafte lineariteit, een grotere bandbreedte en stabiliteit. Aan deze ontwikkelingen zijn de namen van Nyquist, Black, en Bode onverbreekelijk verbonden. Maar ook in zeer vele recente applicaties is terugkoppeling niet weg te denken. Zo is stabiele ontvangst van TV-signalen mogelijk dank zij 'phase locked loop'-afstemeenheden die in staat zijn frequentieverschuivingen te volgen. Een geheel ander voorbeeld is een satelliet-antenne die met behulp van regeltechniek op de communicatie-satelliet gericht wordt gehouden.

Energieproductie en -distributie

- water- en windmolens; historische regelconcepten
- stoommachine; reguleur van Watt

- ketelregeling
- spannings- en vermogensregeling van elektrische generatoren
- optimalisering van de kosten, rekening houdend met lastverdeling, opstarten en afschakelen van generatoren
- stabiliteitsvoorzieningen voor grote internationale netsystemen, bestaande uit vele centrales, etc.
- vele soorten regelingen van elektromotoren
- (moderne) windenergie-opwekking

Futuristisch:

- zonnecellen
- regeling fusiereactoren
- exploitatie van helium 3 op de maan voor 'fusiebrandstof'

Met de milieuproblematiek als achtergrond speelt de nauwkeurige beheersing van de vergassings- en verbrandingsprocessen bij de energieproductie een in belang toeneemende rol, met name bij het ontwerp van kolenvergassingscentrales. Daarnaast is de regeltechniek sterk betrokken bij, bijvoorbeeld, de opwekking van energie en bij de verbetering van de stabiliteit van turbogeneratoren in de toelevering aan het Europese koppelnet. Uit de nauwe relatie tussen het verbruik van elektrische energie en de economische groei blijkt het grote belang van goede elektrische infrastructuren⁵. Het daartoe groeiend aantal verbindingen tussen elektriciteits-

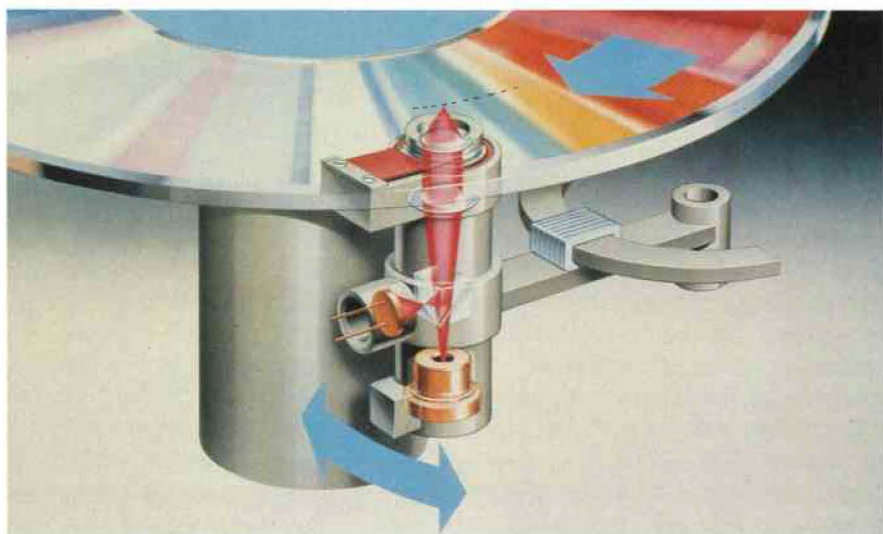


Fig. 6 CD-speler

opwekkers en verdelers alsmede de stijgende kosten van energie noodzaken tot steeds betere beheersbaarheidscriteria (kwaliteit, 'load management', en stabiliteit) van koppelnetten en aangesloten generatoren⁶.

Ook in de toekomstige, nu nog futuristische vormen van energievoorziening op grote schaal met bijv. zonnecellen en fusiereactoren zal de regeling zeer belangrijk zijn. Een spectaculair voorbeeld is het voorstel op de maan gesteentes te exploiteren waaruit helium 3 gewonnen kan worden dat, met waterstof uit zeewater, als 'brandstof' voor fusiereactoren kan worden gebruikt. Volgens de deskundigen is dit een efficiënt, goedkoop en niet-radioactief proces dat de komende 400 jaar in de energiebehoefte zou kunnen voorzien. Dat de automatisering/regeltechiek ook bij de exploita-

tie in zo'n onherbergzaam milieu als een maan-basis een zeer belangrijke rol zal moeten spelen, is evident.

Flexibele productie; automatisering

- numeriek gestuurde gereedschapsmachines (computer aided design, CAD; computer integrated manufacturing, CIM)
- robots, o.m.:
 - in produktie (auto's, horloges, elektronische apparatuur, etc.)
 - bij onder-waterinspectie/operatie
 - voor werk in radio-actieve omgeving
 - in ruimte-toepassingen
 - bij micro-operaties

Bij de besturing van complexe machines, zoals numeriek gestuurde gereedschapsmachines, robots, en programmeerbare flexibele fabricagecellen, wordt gebruik gemaakt van technieken uit de systeem- en regeltechniek. Bij robots zijn snelheid en nauwkeurigheid uiteraard belangrijk, maar ook de veiligheid van de mens in zijn omgeving; infrarood- en ultrasone detectoren moeten die veiligheid waarborgen. Helaas moeten we constateren dat vele westerse bedrijven, w.o. Unimation, General Electric, United Technologies, IBM, Cincinnati Milacron hun robot-activiteiten gestopt hebben; veel daarvan is verschoven naar Japan.

Bij fabrieksbesturing, inclusief aan- en afvoerlijnen naar de productie, wordt het relatief nieuwe gebied van 'discrete-event' theorieën waarschijnlijk een belangrijk toepassingsgebied.

Bedrijfsautomatisering is nog steeds een belangrijke factor; in de USA een markt van ongeveer 14 miljard gulden per jaar.

Industriële chemische en fysieke processen; 'procesindustrie'

- (petro-)chemische industrie, o.a.:
 - destillatie
 - kraken
 - andere, al dan niet katalytische reacties
 - vorming van korrels, poeders, fibers, folies
- voedingsmiddelen-industrie

- papierfabricage
- ruwizerfabricage (hoogovens)
- staalfabricage (walsen)
- glasbuizenfabricage
- ovens

De procesindustrie⁷ levert (mengsels van) gassen, vloeistoffen, vaste stoffen met eenvoudige geometrie (vezel, folie, korrels, poeder): aardolie- en aardgasderivaten, pharmaceutica, voedingsmiddelen, metalen, papier, cement, en nog veel meer.

Gemiddeld over langere termijn gemeten ligt het groeitempo van de chemische industrie in de orde van één reus als Bayer, BASF, Hoechst en ICI per 2 jaar. Hierbij wordt ruwweg 15% geïnvesteerd in de meet- en regeltechniek. Dit percentage hangt samen met⁸ de steeds hogere eisen aan kwaliteit, kwantiteit, stabiliteit, milieuaspecten, en veiligheid van produkten, productie en omgeving. Bovendien worden steeds hogere eisen gesteld aan de flexibiliteit ten aanzien van het verwerken van grondstoffen met sterk verschillende eigenschappen.

Fig. 7 geeft een voorbeeld van een chemisch proces en fig. 8 de regelkamer, waar alle metingen samenkomen en door de computer worden omgezet in regelacties.

De procesindustrie in de EG investeert jaarlijks ongeveer 30 miljard gulden in meet- en regelapparatuur, computers, netwerken en programmatuur. Van de 15 grootste chemische industrieën ter wereld (BASF, Hoechst,

Bayer, ICI, Du Pont, Dow Chemical, Shell, Ciba-Geigy, Montedison, Rhone-Poulenc, Exxon, Union Carbide, Monsanto, Akzo en Sumito Chemical⁹⁾ zijn er 9 Europees. De R&D uitgaven van de Europese chemische industrie stijgen sneller dan die in de USA en bereikten in 1987 ongeveer 11 miljard gulden tegen 7 miljard in de USA en 3 miljard in Japan. *In Nederland zitten we midden in de 'Silicon Valley' van de chemische industrie!* (Prof. Rademaker).

Transportmiddelen te land en ter zee

- treinbesturing (motorregeling)
- scheepsstabilisatie m.b.v. beweegbare vinnen/roeren
- adaptieve besturing van bijv. grote olietankers
- cutterzuigers
- auto's: ontsteking, brandstofverbruik, emissie uitlaatgassen, anti-slip remmen
- vermogensregeling van de elektrische auto/-bus

Moderne ontwikkelingen bij de spoorwegen, wegvoertuigen, scheepvaart, etc. zijn gericht op beperking van het energieverbruik, verhoging van de efficiëntie, verbetering van het passagierscomfort en vermindering van de belasting van het milieu. De hiertoe benodigde afstemming van de deelsystemen vereist een integrale systeem aanpak, waarbij de regeltechniek een belangrijke rol speelt.

Lucht- en ruimtevaart

- verkeersvliegtuigen en
- 'high-performance aircraft'
- vluchtnabootsers
- communicatiesatellieten
- ruimtevluchten, incl. robotmanipulaties

De lucht- en ruimtevaart is een groot toepassingsgebied voor de meet- en regeltechniek¹⁰ met enerzijds veel overlap met bijvoorbeeld mechatronica, maar ook specifieke en nieuwe onderwerpen zoals (actieve) trillingsc.q. geluidsonderdrukking, afstandsbesturing van een elastische robotarm, etc.

Ruimtevaart heeft een belangrijke stimulans gegeven aan de ontwikkeling van systeemtheorie, modelgebaseerde regeltechniek en met name robuuste numerieke algoritmen voor computergebaseerd regelen.

Wetenschappelijke apparatuur

- telescopen voor radio-astronomie
- deeltjes-versnellers, etc.
- satelliet systemen, o.a. voor astronomische taken

Voor goede opnamen met telescopen voor radio-astronomie moeten over periodes van vele uren de telescopen nauwkeurig op een astronomisch object gericht blijven, ondanks de aardrotatie en in weerwil van verstoringen door windstoten, temperatuurschommelingen, etc.; fig. 9.

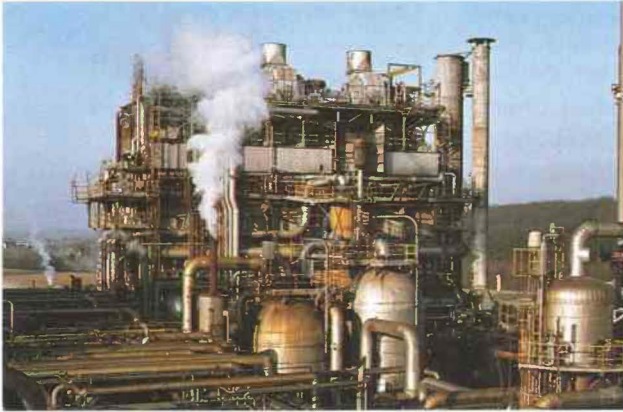


Fig. 7 Chemisch proces

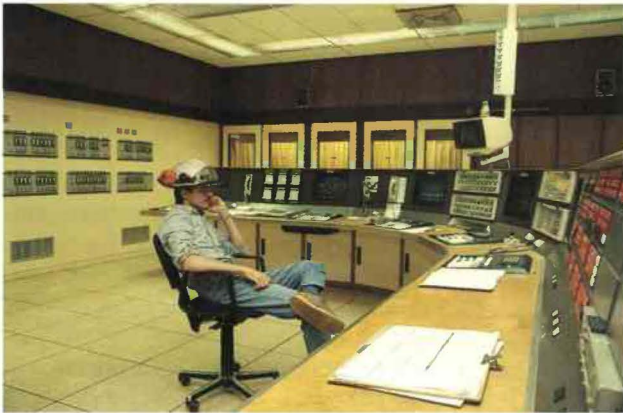


Fig. 8 Regelkamer



*Fig. 9 Telescopen voor radio-astro-
nomie*

Binnenklimaat en huishouden

- temperatuur, vochtigheid van woon- en werkruimtes
- huishoudelijke apparatuur: strijkijzer, koelkast/vriesbox, föhn, etc.

Landbouw en milieubeheer¹¹

- kasklimaatregeling
- afvalwaterzuivering
- beheer van ecosystemen
- productie/veredeling/conservering van voedingsmiddelen

Waarde toehoorder, wellicht moet ik mij bij u verontschuldigen dat ik uw favoriete voorbeeld heb weggelaten. Dat spijt mij.

Ter verontschuldiging kan dienen dat het aantal toepassingen echt overstelpend is.

Inderdaad, de principes van regeltheorie en -techniek vormen als het ware een rode draad door deze veelheid van uitvindingen en produkten, door de gehele techniek.

Maar niet alleen in de techniek... In de

biologische evolutie heeft zich een immens aantal vormen van terugkoppeling ontwikkeld, waarvan hier slechts enkele genoemd worden:

Biologie/geneeskunde

- oogpupil-reacties
- oogaccomodatie
- lichaamstemperatuur
- evenwicht en voortbeweging
- hartfrequentie en -slagvolume
- bloedsuikergehalte
- ...

Deze herkenning leidt tot begrip voor en inzicht in oorzaak en gevolg van afwijkingen, alsmede tot de mogelijkheden van correctie met (bio)chemische, mechanische of elektrische middelen.

Daarnaast kunnen we ook in de **Economie, Sociologie, Wetshandhaving, etc.** regelprincipes herkennen. Als simpel voorbeeld nemen we in fig. 10 de politie-agent die een overtreding van de maximaal toegelaten snelheid constateert en, met het maken van een proces-verbaal, onderdeel is van een terugkoppelmechanisme.

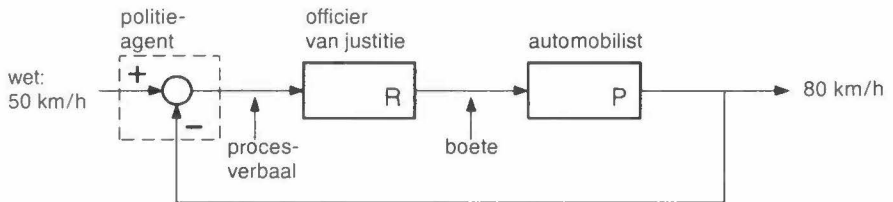


Fig. 10 Wetshandhaving = terugkoppeling

Veelal hebben we te maken met regel-systemen die op elkaar inwerken en dus een bepaalde structuur vertonen. In de industrie is die structuur door-gaans hiërarchisch, bijv. van boven naar beneden:

- uit de optimalisering van een mon-diaal bedrijf volgt de taakstelling voor elk van de afzonderlijke vestigingen die tezamen het bedrijf vormen;
- hieruit volgt de taakstelling voor elk van de processen waaruit zo'n vesti-ging bestaat;
- dit geeft streefwaarden voor de sa-menstellende sub-processen,
- waaruit waarden voor temperatuur, druk, en andere fysische/chemische grootheden van elk sub-proces vol-gen.

Om goed te kunnen werken is terug-melding (terugkoppeling) van bene-den naar boven even onmisbaar.

In biologische systemen is zo'n struc-tuur minder duidelijk hiërarchisch. In China, in de 4e eeuw v. Chr., dacht Chuang-tzu over natuurlijke proces-sen in mens en dier. Een Engelse weergave van zijn gedachten is als volgt:

'It might seem as if there were a real Governor, but we find no trace of his being . . . But now the hundred parts of the human body, with its nine ori-fices and six viscera, all are complete in their places. Which one should one prefer? Do you like them all equally? Or do you like some more than others? Are they all servants? Are these servants unable to control each other, but need another as

*ruler? Or do they become rulers and servants in turn? Is there any true ruler other than themselves?'*¹²

Deze verwondering over biologische structuren is er thans, na meer dan 2000 jaar, nog steeds.

Als antwoord op de vraag 'Regelen; wat?' vonden we dus een zeer groot aantal actuele en potentiële techni-sche toepassingen, alsmede vele niet-technische processen. Met een keuzemogelijkheid uit zovele fascine-rende relaties is de regeltechnicus wel bevoorrecht!

4. Regelen; methoden?

Na de vragen over het 'waarom' en het 'wat' van het regelen staan we nu kort, ongetwijfeld te kort, stil bij de beschik-bare methoden en technieken. Er is een grote veelheid aan regelconcep-ten ontwikkeld, afhankelijk van de ge-kozen uitgangspunten en de gestelde condities, . . . waarbij ook wel de ma-thematische elegantie en beperkin-gen van de theorie een rol spelen.

Reeds de vroegste mens paste regel-principes toe, bijv. bij het beheren van het voor hem uitermate belangrijke vuur: observeren → ingrijpen → op-nieuw observeren → zo nodig op-nieuw ingrijpen, etc.

Relatief vroege technische toepas-singen waren er op windmolens voor het op de wind houden van de wieken bij krimpemde of ruimende windrich-ting. De belangrijkste industriële ont-

wikkelingen beginnen met de toepassing van de reguleur door Watt (1789), en de theoretische analyse van het stabiliteitsgedrag hiervan door Maxwell (1868).¹³

Sinds die tijd herkennen we een tweetal ontwikkelingsstromen:

- toepassingen in de energieproductie en de procesindustrie;
- toepassingen in de elektronica, bijv. voor de teruggekoppelde versterkers ten behoeve van de reeds eerder genoemde transatlantische (kabel)telefoonverbindingen en consumentenproducten.

Deze beide ontwikkelingslijnen zijn nog steeds te herkennen in de gebruikte terminologie, n.l. '(PID) regelaars' in het industriële circuit en 'correctienetwerken' in de elektronica.

We moeten voorbijgaan aan vele interessante methodologische ontwikkelingen: de laplace-transformatie, de wiener-behandeling van onzekerheid, de kalman-beschrijving van dynamica met behulp van toestandsgrootheden, het optimaliseren, ...



Fig. 11 'Bag of tricks'

Deze ontwikkelingen hebben geresulteerd in een veelheid van technieken, waarvan fig. 11 een schets geeft. Om het (nog) ontbreken van een duidelijke coherentie tussen deze en vele andere methoden te accentueren spreken we wel over een 'bag of tricks'. Betekent dit nu ook dat er geen duidelijke lijnen te herkennen zijn in de ontwikkeling van de regeltheorie en haar toepassingen? Verre van dien. Evenmin betekent het dat de individuele bijdragen niet wetenschappelijk en technisch interessant alsmede waardevol zouden zijn!

Slechts aan enkele van de genoemde aspecten kunnen we, zeer beknopt, enige aandacht geven.

Robuuste regelingen. In het begin van mijn betoog heb ik als een voordeel van regelen door middel van terugkoppeling genoemd, dat de eigenschappen van het te regelen proces slechts globaal bekend hoeven te zijn. Wanneer echter het model te onnauwkeurig is of wanneer de eigenschappen van het proces te veel veranderen, dan kan dat slechte gevolgen voor de regeling hebben. Om dit te voorkomen zijn analyse- en ontwerptechnieken ontwikkeld die een zekere kwaliteit van de regeling waarborgen ook wanneer proces en model van elkaar afwijken. Die technieken noemt men robuuste regeling.

Systeemidentificatie. Voor het bereiken van de beste regelresultaten blijkt echter meer en meer dat een goed model toch wel erg belangrijk is.

Systeemidentificatie is een werkwijze voor het verkrijgen van kennis omtrent een dynamisch proces op basis van gemeten procesingangs- en -uitgangssignalen.

Het doel is te komen tot een (mathematisch) model dat zo goed mogelijk het gedrag van het proces beschrijft.¹⁴ Zo'n model kan gebruikt worden:

- voor diagnostiek, d.w.z. ten behoeve van het opbouwen van kennis omtrent het proces;
- voor bewaking, d.w.z. ten behoeve van het herkennen van veranderingen die optreden in het proces, bijv. ten gevolge van veroudering, vervuiling en/of defecten;
- voor voorspelling van uitgangsgrootheden (predictie);
- voor het indirect 'meten' van grootheden die niet direct meetbaar zijn ('observer' technieken); en
- voor de regeling van een proces.

Ten aanzien van dit onderwerp is herlezing van de oratie van prof. Backx de moeite waard.¹⁵

Regelingen met een intern model. Wanneer, bijv. door identificatie, een model beschikbaar is, dan kan dat op een effectieve wijze worden gebruikt voor de regeling van het proces. Een voorbeeld daarvan volgt later.

Adaptieve regelingen. Bij grote veranderingen van het gedrag van een proces zal de regelaar zich moeten aanpassen om een acceptabele kwaliteit van de regeling te behouden. Men denke aan een vliegtuig en aan het verschil in luchtdichtheid laag bij de

grond en op 10 km hoogte; dat veroorzaakt een groot verschil in de dynamica van dat vliegtuig. Een regelaar die zich door middel van een tweede regeling aan zulke veranderingen aanpast wordt adaptief genoemd.

Expert systemen. Zo'n systeem poogt menselijke kennis, ervaring en menselijk handelen na te bootsen; het werkt op basis van opgeslagen kennis, feiten en logische regels, die door deskundigen worden geformuleerd en/of door het systeem zelf uit ervaringen worden afgeleid.

Fuzzy (vage) systemen. Hier gaat het om een beschouwingswijze die poogt o.m. de subjectieve kennis van ervaren bedieningsmensen in een automatische regelaar onder te brengen, gebruik makend van 'vage' descriptieve noties als 'langzaam stijgend', etc. Geconcipeerd door prof. Zadeh¹⁶, enthousiast ontwikkeld in Japan en inmiddels gebruikt in velerlei toepassingen, zoals in camera's, camcorders, airconditioners, stofzuigers, wasmachines. Omzet(voorspelling) in deze sector: 1990 - 3 miljard gulden; 2000 - 26 miljard. Dat industrieel gezien deze ontwikkeling toch niet geheel aan Japan wordt overgelaten getuige de recent gestarte 'Intelligent control systems' groep van Siemens.

Neurale netwerken. Daarmee poogt men het principe van zenuwinteracties te imiteren met parallele, modulaire structuren bestaande uit relatief

eenvoudige elektronische componenten.

Taken als patroonherkenning en adaptief regelen zouden hiermee op een zelf-lerende en fouten-tolerante wijze geïmplementeerd moeten worden. Vooralsnog geldt bij iets grotere systemen dat de trainingsfase nog 'painfully slow' is. Maar als je heel veel data en heel weinig inzicht hebt, en toch wat moet doen . . .

Een uitgebreide en doorwrochte studie over toekomstige ontwikkelingen in de regeltheorie is te vinden in een rapport van de Society for Industrial and Applied Mathematics.¹⁷

Samenvattend kunnen we zeggen dat, naast de theoretische ontwikkelingen, de computer een zeer belangrijke rol speelt bij studies, in simulaties en toepassingen. De eerste poging een procescomputer te introduceren voor industriële regelopgaven dateert reeds uit 1959. Na een vrij trage ontwikkeling zijn er thans vele, zeer vele voorbeelden in de industrie van Direct Digital Control (DDC), Distributed Control Systems (DCS) en andere regelconcepten, gebruik makend van computers.

Ten aanzien van toepassingen kunnen we het volgende constateren: grosso modo blijkt er in de industrie een groeiende tendens te zijn om meer nadruk te leggen op de regeltechniek ten behoeve van:

- hogere produktiviteit/rentabiliteit, wat tot uiting komt in:

- betere kwaliteitsbeheersing/procesbeheersing;
- grotere flexibiliteit van de produktie (omstellen, opstarten, nieuwe ontwikkelingen);
- versnelling van het innovatieproces;
- verminderde materiaal- en energieverspilling;
- beperking van de belasting van het milieu.

Deze tendens wordt bevorderd door de ontwikkeling van theorie en van hard- en software (intelligente meet- en regelapparatuur).

5. Regeltechniek in de TUE

In het vóórgaande hebben we laten zien dat de regeltechniek toepasbaar is in de praktijk van nagenoeg het gehele gebied van de technische wetenschappen. Zij is als het ware als een rode draad die op velerlei plaatsen herkenbaar is. Zij legt onverwachte relaties over afgrenzingen van disciplines heen.

Het zal u dan ook niet verwonderen, waarde toehoorders, dat deze discipline in diverse faculteiten van de TUE aan de orde komt, met name door leerstoelen in de faculteiten Technische Natuurkunde (tot voor kort de hoogleraren Rademaker en Van der Grinten), Elektrotechniek (eertijds prof. Mulders, tot voor kort Kylstra, thans deeltijds Eijkhoff en Backx, de laatste gefinancierd door de industrie), Werktuigbouwkunde (prof. Kok, sinds kort óók Technische Natuur-

kunde), Wiskunde en Informatica (prof. Hautus). Ook in de faculteiten Scheikundige Technologie en Technische Bedrijfskunde alsmede in het Instituut voor Perceptie Onderzoek (IPO) bestaat een grote affiniteit tot de regelconcepten.

Onderzoek

Het zou boeiend zijn een overzicht te geven van datgene wat er zoal aan onderzoeksresultaten is geproduceerd in de eerder genoemde groepen, bijv.:

- door prof. Rademaker c.s.:

- Theoretische modelvorming en regeling van representatieve processtypen (zoals destillatietorens, reactoren, warmtetechnische processen), alsmede ontwikkeling van methoden en programmatuur voor de procesindustrie.

- Bijdragen aan de analyse van en discussie over wereldmodellen zoals die van de Club van Rome.

- door prof. v.d. Grinten c.s.:

- Optimale regelingen van processen met looptijd, inverse responsie of andere niet omkeerbare elementen, uitmondend in het begrip *regelbaarheidsfactor*. Dit geeft antwoorden op vragen als: welk deel van regel-ingrepen werkt te laat of zelfs averechts, gegeven de snelheid van de veranderingen in de omgeving (= storingen) en de traagheid van het regelsysteem.

- Analyse en dynamische optimalisering van langzaam verouderende of slijtende industriële processen. In hoeverre moet ik een apparaat (bijv. een industrieel proces, maar u kunt ook aan uw auto denken) onderbelas-

ten om er langer plezier van te hebben?

U zult het mij niet euvel duiden als ik me hier beperk tot enige projecten van de vakgroep Meten en Regelen van de faculteit Elektrotechniek.

Centrale vraag: hoe kom ik aan een goed model, een model dat bruikbaar blijft, ook al verandert het proces in de loop van de tijd?

Reeds eerder hebben we gesproken over systeemidentificatie, het verkrijgen van zo'n model dat voor een gegeven doel zo goed mogelijk het gedrag van een proces weergeeft; een bepaling op basis van gemeten ingangs- en uitgangssignalen. Op dit gebied heeft de groep veel werk verzet en een internationale reputatie opgebouwd.

Alhoewel er boeiende ontwikkelingen plaatsvonden op het gebied van identificatie-theorie en -software, zullen enkele toepassingsvoorbeelden voor u ongetwijfeld interessanter en spreker zijn. Daarbij kunnen we o.m. kiezen uit de identificatie- en regel-aspecten van:

- een elektrische generator,
- kwartsbuizen-fabricage,
- een glasoven,
- de fabricage van halogeenlampen,
- de productie van bakkersgist.

Als eerste bekijken we een *kwartsbuizen-fabricageproces* volgens fig. 12, onderwerp van studie van prof. Backx c.s.¹⁸

Het principe is eenvoudig. Zeer zuiver zand wordt gesmolten tot kwartsglas

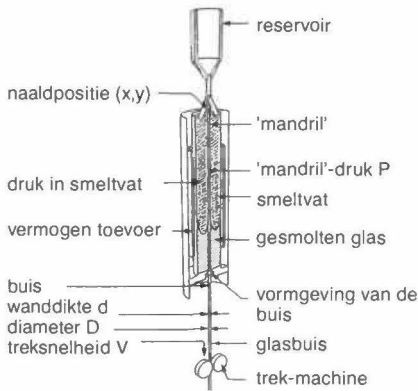


Fig. 12 Kwartsbuizen-fabricage-proces

en vloeit uit de ringvormige opening. Door een holle pijp ('mandril') wordt lucht geblazen, zodat een buis ontstaat. De kritische grootheden die geregeld moeten worden, zijn uiteraard de buisdiameter en de wanddikte. Hoe kunnen die het beste worden beïnvloed? Als ingrijpgrootheden worden gekozen de druk van de ingeblazen lucht en de snelheid waarmee aan de buis getrokken wordt. Voor een goede regeling zijn dus vier oorzaak-gevolg relaties van belang overeenkomstig fig. 13.

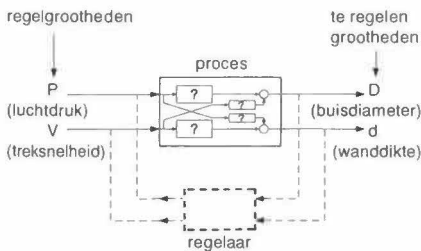


Fig. 13 Oorzaak-gevolg relaties

Het is praktisch ondoenlijk deze relaties langs theoretische weg af te leiden; om een bruikbaar model te vormen komt een goed identificatie-principe ons te hulp.

Het zo verkregen model wordt gebruikt zoals aangegeven in fig. 14. Hier is iets opmerkenswaardigs aan de hand: de grootheden die nodig zijn voor de regeling, worden aan het model ontleend, omdat ze niet aan het proces zelf gemeten kunnen worden! De zo verkregen regel-resultaten voor diameter en wanddikte van de buis, vergeleken met de oude situatie, worden gegeven in de figuren 15 en 16. Het behoeft geen betoog dat dit een aanmerkelijke kwaliteitsverbetering van het produkt met minder uitval betekent. Slechts terloops worde genoemd dat ook de flexibiliteit verbetert, d.w.z. een kortere omsteltijd naar een ander produkt, en daarbij minder verlies door produkt buiten specificaties.

De regeling van een elektrische generator is het volgende voorbeeld, ontleend aan de dissertatie van dr.ir. Schreurs¹⁹ met als promotoren Niesten en Eijkhoff. Helaas moeten we

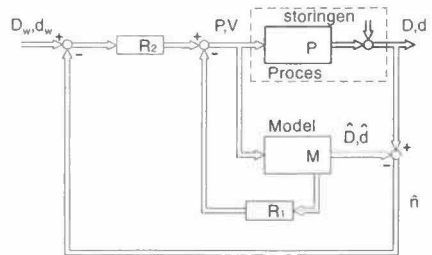


Fig. 14 Regelschema

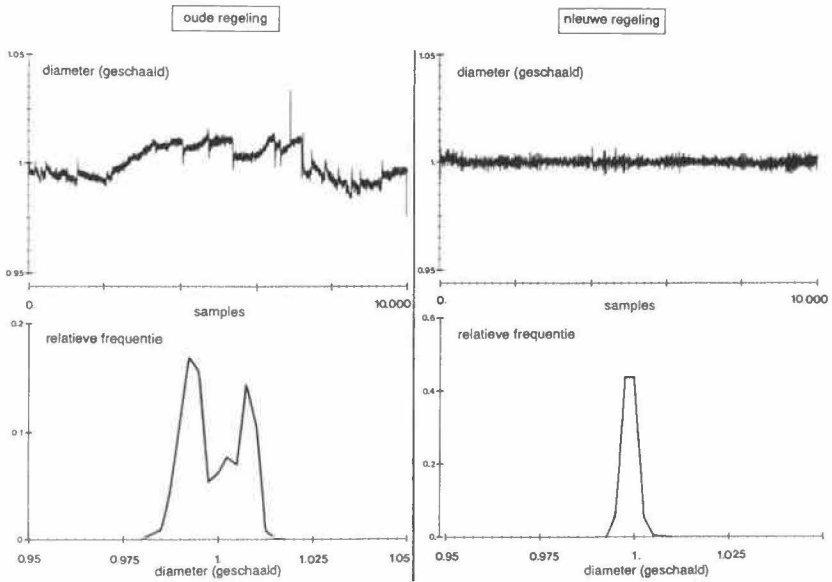


Fig. 15 Regelkwaliteit buisdiameter

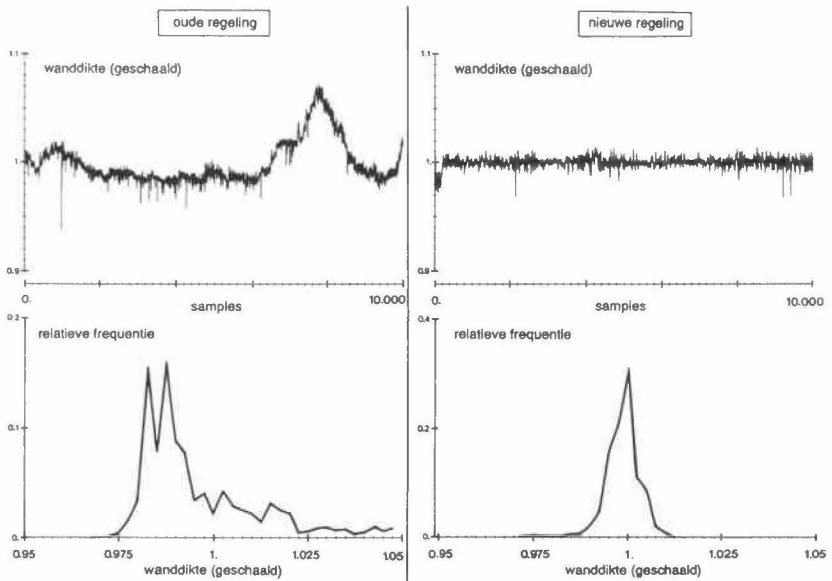


Fig. 16 Regelkwaliteit wanddikte

weer aan de quintessens van het theoretische werk voorbij gaan. De toetsing in de praktijk was echter zeer spectaculair en vond plaats in de Clauscentrale aan een 600 MW generator.

Heel behoedzaam werden kleine test-signalen geïnjecteerd; uit de responsies daarop werden wederom door systeemidentificatie modellen gevormd.

Waartoe modelvorming en de toepassing van nieuwere regelprincipes kunnen leiden tonen de simulaties fig. 17. Veranderingen in de belasting van het net veroorzaken storingen in het ge-

neratorgedrag; de generator 'pendelt' qua snelheid om de gewenste constante snelheid en deze pendeling dempt slechts zeer langzaam uit. Met behulp van adaptieve technieken blijkt het mogelijk te zijn deze storingen op een veel effectievere wijze te bestrijden; fig. 17b.

Andere projecten in dezelfde vakgroep Meten en Regelen (Prof. Kylstra c.s.) hebben betrekking op het gebruik van *robots voor het booglassen*. Enerzijds was dit een onderdeel van een onderzoekprogramma 'Flexibele Assemblage- en LasCel (FALC)', onder auspiciën van SPIN (StimuleringsPro-

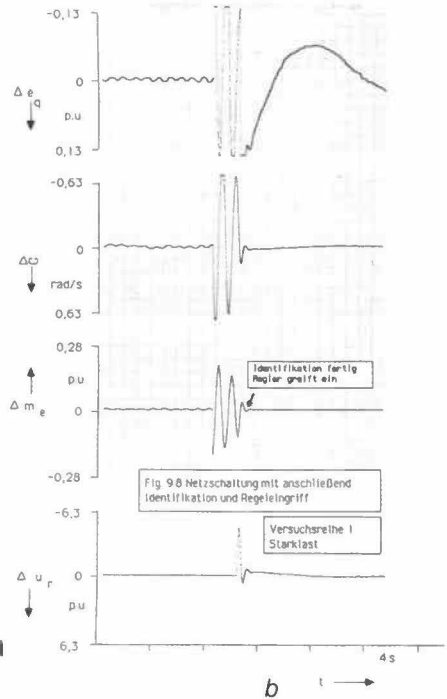
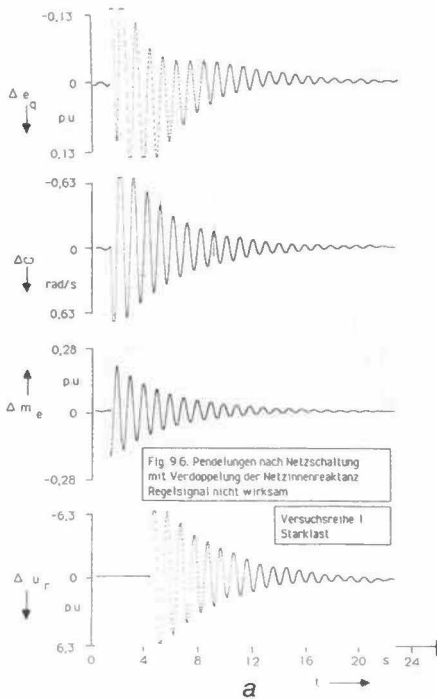


Fig. 17 Regelqualität

ject INformatica-onderzoek). Doel was het realiseren van een onbemand werkende fabricagecel. In deze cel kunnen vele soorten plaatstalen producten worden samengesteld en gelast. Het project werd gedaan tezamen met de vakgroep WPA van de faculteit W, alsmede het TUE/TNO-Instituut IPL en enkele industriële groepen. Onlangs is dit programma afgerond. Fig. 18 (pag. 24) toont zo'n robot in actie.

Anderzijds is de lasrobot ook onderwerp van een project binnen het Europese programma ESPRIT, genaamd: 'Intelligente robot-lassystemen voor unieke fabricage (Hephaestos)'. Het doel is het specificeren, ontwerpen en construeren van een lasrobot voor grootschalig laswerk. Met name is dat van belang bij de vervanging van beschadigde delen van scheepsrompen waarvan geen tekeningen meer beschikbaar zijn. Het project wordt uitgevoerd in samenwerking met bedrijven, instituten en universiteiten in Engeland, Frankrijk, Zweden, Spanje en Griekenland. Helaas laat de tijd niet toe in te gaan op de structuur, de sensoren, de beeldverwerking en de computerprogrammatuur die nodig zijn om het gestelde doel te bereiken.

Onderwijs

Sprekend over de universiteit en datgene waar zij voor staat, is het dienstig nog eens de volgende uitspraak van wijlen Prof.dr. G. van der Leeuw, eertijds Minister van O.K. & W., voor ogen te halen:

*'Niets staat vast, alles is in gesprek, niets is waar omdat een ander het reeds heeft gezegd. Vandaag is het zo, morgen kan het anders zijn. Wie dat te onrustig vindt, moet niet naar de universiteit. En het eerste dat een student moet leren is, dat er geen vastigheden zijn en dat hij niet moet geloven wat hem wordt verteld, ook niet wat ik hem vertel, en zelfs niet wat hij op het examen met schijnbare geestdrift moet weergeven.'*²⁰

Tegenover deze kritisch-vragende houding staat thans in de opleiding een druk op vaardigheden, die in het volgende citaat vrij karakteristiek vertolkt is:

*'Wellicht het belangrijkste uitgangspunt vormde de overtuiging dat bij alle onderdelen welomschreven **vaardigheden** of **vermogens** de hoofddoelen dienen te zijn. Kennis, die wel belangrijk en onmisbaar is, hoort hieraan ondergeschikt te zijn: **kennis** moet bijdragen aan vaardigheden of vermogens. **Inzicht** hoeft niet apart genoemd te worden, omdat inzicht moet blijken in het gebruik van kennis bij opdrachten waarbij bepaalde vaardigheden of vermogens getoond moeten worden'.*

Weliswaar komt dit uit de Voorlopige voorstellen eindexamen-programma's Nederlandse Taal en Letterkunde voor VWO en HAVO²¹ maar, onder invloed van de vierjarige nominale cursusduur, is zo'n zelfde tendens onmiskenbaar óók aanwijsbaar in delen van het WO: een reductie van academische vorming tot beroepsopleiding. Dat dit de discussie

HBO - WO ernstig vertroebelt hoeft geen betoog.

Terugkoppelingen. Het thema van hedenmiddag is het regel-/terugkoppelconcept. Laat ons daarom nog even stilstaan bij de constatering dat dit ook in vele universitaire processen voorkomt.

In het onderwijs vormen de tentamen-examenresultaten mede een terugkoppeling ten aanzien van de colleges en de practica.

Bij het onderzoek vormen de publicaties, de industriële en de internationale erkenning zo'n terugkoppeling.

In het bestuurs-/beheerstraject met zijn adviescommissies, raden en andere overlegorganen is terugkoppeling ook duidelijk te herkennen. De positieve invloed daarvan op de 'corporate loyalty' werd door prof. Veltman in de TUD-diesrede 1985 niet hoog aangeslagen.²² Geldt iets dergelijks wellicht ook niet voor de TUE en andere Nederlandse universiteiten?

Interacties. Meer specifiek kijkend naar de regeltechniek herkennen we diverse positieve vormen van samenwerking en interacties:

- binnen de TUE waaronder, van oudsher, tussen de regel-leerstoelen en -vakgroepen van N, E, Wsk&I. Dit geldt ook voor wisselwerking tussen studenten in het regeltechnische dispuut Bode, dat multifacultair o.m. vakgerichte excursies en het Bode-colloquium verzorgt;

- met het internationaal onderwijs zoals het EIL, het Eindhoven International

Institute, als een aanzet tot internationalisering van het onderwijs;

- met de andere universitaire en enkele industriële regelgroepen, samenwerkend in de SMBT, de Stichting Meet- en Besturingstechnologie;

- in de Belgisch-Nederlandse activiteit van de jaarlijkse driedaagse Benelux meetings, waar intensief over onderzoekresultaten gerapporteerd wordt, alsmede het Belgisch-Nederlandse vakblad 'Journal A';

- in het Netwerk Systeem- en Regeltheorie, dat o.m. landelijke cursussen verzorgt voor assistenten-in-opleiding in dit vakgebied²³. Waarschijnlijk zal dit uitgroeien tot een landelijke Onderzoeksschool Systeemtheorie en Regeltechniek;

- in de International Federation of Automatic Control (IFAC) waarin professionele organisaties uit meer dan 40 landen samenwerken; congressen, symposia, workshops, publicaties, etc. Hieronder ressorteert een werkgroep van alle (west)europese hoogleraren op het vakgebied, die jaarlijks samenkomt voor discussies over onderwijs en onderzoek.

Uitdaging. Voor de vorming door onderwijs en maatschappij zijn diverse doelstellingen, zo u wilt uitdagingen, geformuleerd. Daaronder vind ik de volgende waard nog eens onder de aandacht gebracht te worden:

*'I do not choose to be a common man
It is my right to be uncommon - if I can.*

I seek opportunity - not security.

I do not wish to be kept citizen, hum-

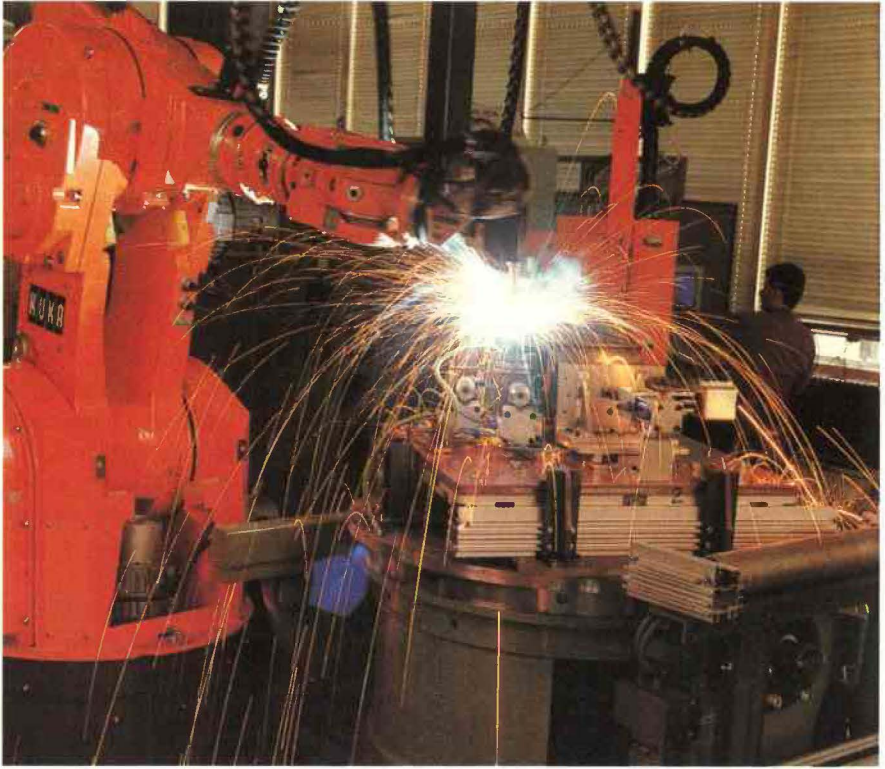


Fig. 18 Lasrobot

bled and dulled by having the state look after me.

I want to take the calculated risk; to dream and to build, to fail and to succeed.

I refuse to barter incentive for a dole. I prefer the challenges of life to the guaranteed existence; the thrill of fulfilment to the state calm of Utopia. I will not trade freedom for beneficence, nor my dignity for a handout. I will never cower before any master nor bend to any threat.

It is my heritage to stand erect, proud

and unafraid; to think and act for myself, to enjoy the benefit of my creation and to face the world boldly and say, this I have done.

All this is what it means to be . . .'

In het origineel stond als laatste: "an American"; wat mij betreft mag u daarvoor invullen: an engineer; an EUT-graduate; . . .

Ik realiseer mij heel wel: dit is een model, niet zozeer als afbeelding van de werkelijkheid, maar als voorbeeld voor en als uitdaging in die werkelijkheid.

6. Uitleiding

Waarde toehoorders, we hebben in de afgelopen minuten vele technische uitvindingen en produkten aan ons geestesoog voorbij laten gaan.

'Wetenschap en techniek ontlenen hun waarde aan wat zij voor de mensen betekenen'; dat kan een toepassing zijn, maar ook een intellectuele of esthetische bevrediging, of volgens prof. Kylstra:

*'Techniek is de sociale tak van de natuurwetenschappen, omdat zij oplossingen biedt voor menselijke noden en behoeften'*²⁴

Inderdaad, althans in de technisch/economisch-ontwikkelde landen, verschaft de techniek de voorwaarden die onder meer maken:

- dat er geen honger meer wordt geleden;
 - dat de arbeidstijd en -inspanning van velen beperkt kunnen zijn;
 - dat de produktiviteit, en daarmee de gemiddelde inkomsten en koopkracht, tamelijk groot zijn;
 - dat er talloze informatieve, culturele en recreatieve mogelijkheden kunnen worden aangeboden . . .
- . . . maar óók problemen ten aanzien van het milieu.

Dat ook de ontwikkeling van de techniek zelf, d.w.z. de technologische veranderingen, aan een proces van terugkoppeling onderhevig is, wil ik u met fig. 19 in herinnering roepen.

- Een *technologise verandering*

komt tot stand door beslissingen, gebaseerd op motieven. De beslissingen hebben betrekking op de inzet in meerdere of mindere mate van hulpbronnen: natuurlijke, menselijke (incl. opleiding), en financiële (incl. kapitaal en kapitaalgoederen). De gehanteerde motieven zullen gebaseerd zijn op:

- *fysieke en culturele verlangens van de mens*, als schematisch weergegeven in fig. 19. Een hieruit resulterende technologische verandering zal zich op verschillende wijzen manifesteren en haar invloed uitoefenen. Zij geeft aanleiding tot:

- *nieuwe mogelijkheden* (capabilities; research-push) voor verdere ontwikkeling. Die kunnen bijdragen tot beslissingen over het werken aan verdere technologische veranderingen. Zij hebben ook invloed op de ontwikkeling van:

- *nieuwe produkten*. Of deze produkten 'succesvol' zijn wordt weer bepaald door een vorm van terugkoppeling: in hoeverre voldoen zij aan economische of andere behoeften/eisen van de mens die voortkomen uit zijn/haar fysieke en culturele verlangens. De mate van acceptatie door de 'consument' (in de ruimste zin van het woord) zal als economisch aspect inwerken op de beslissingen ten aanzien van verdere technologische veranderingen.

Zulk een verandering kan ook gepaard gaan met:

- *nieuwe problemen*, bijv. negatieve bijkomende effecten. Deze kunnen worden onderverdeeld naar gelang van hun werkingssfeer. De kleinste

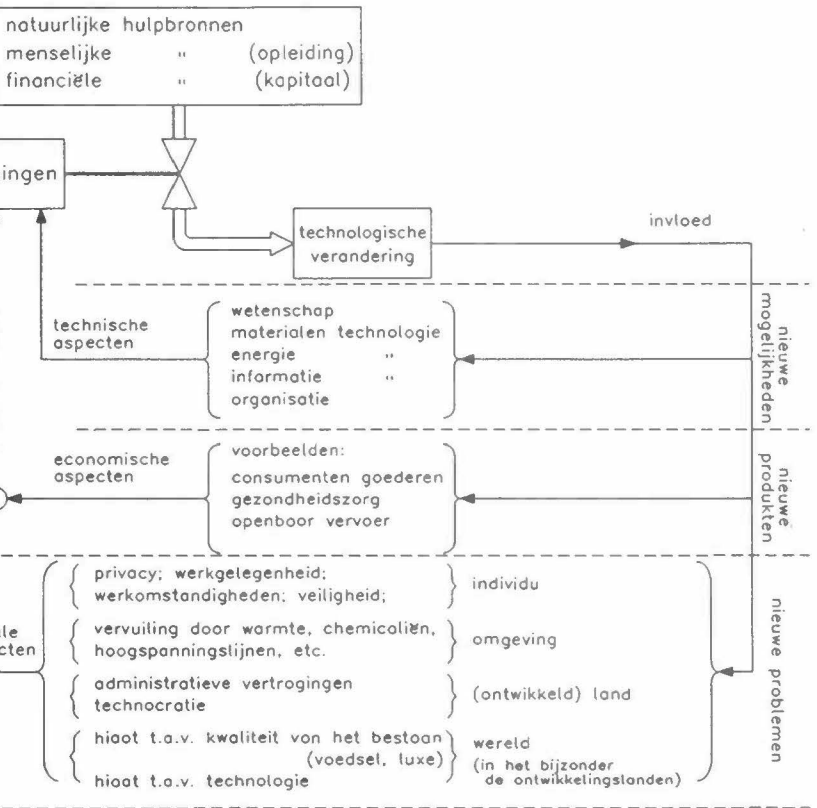


Fig. 19 Technologische veranderingen

sfeer is die van de individuele persoon die te maken kan hebben met problemen omtrent de aard van de werkgelegenheid, de privacy m.b.t. gegevens in computerbestanden, de (on)veiligheid op de weg, etc. De volgende werkingssfeer heeft betrekking op het milieu dat door warmte, chemicaliën, etc. wordt beïnvloed. Zoals aangeduid kunnen problemen zich ook doen kennen in nog grotere entiteiten. Wederom treedt een vorm van terugkoppeling op: in welke mate zullen zulke problemen strijdig zijn met de verwachtingen vanuit de fysieke en culturele verlangens van de mens? De daaruit afgeleide publieke opinie zal eveneens inwerken op de beslissingen ten aanzien van verdere technologische veranderingen. Vooral ten aanzien van milieu-aspecten is de 'regelbaarheid' in het geding; werkt de terugkoppeling sterk genoeg en snel genoeg?

Rond de technologische veranderingen zijn de 'terugkoppelingen' dus vrij duidelijk herkenbaar. Fungeren ze adequaat? Op die vraag dient ieder van ons zijn/haar eigen antwoord te geven.

Dames en heren,

in deze technische/maatschappelijke ontwikkelingen heeft ook de TUE een stuk verantwoordelijkheid. In de afgelopen jaren heeft ze, mijns inziens, die verantwoordelijkheid goed gestalte gegeven.

Dat zij dat ook in het komende – haar 37e – levensjaar op een volwassen en energieke wijze moge blijven doen, daarbij een goed gebruik makend van terugkoppeling in technisch-wetenschappelijke, in organisatorische en in maatschappelijke zin.

Dat wens ik de jarige ...

Ik dank u voor uw aanwezigheid en voor uw zeer gewaardeerde aandacht.

Noten

1. 'A control system is a means by which a variable quantity or a set of variable quantities is made to conform to a prescribed norm'. Encycl. Britannica (1983), Article: 'Control Systems'.
2. De gegeven lijst heeft aanvulling. Terugkoppeling kan als doel of als nevenverschijnsel de volgende effecten teweeg brengen:
 - a. minder gevoelig maken voor dynamica-variantie;
 - b. minder gevoelig maken voor belasting-variantie;
 - c. minder gevoelig maken voor storingen van buitenaf;
 - d. minder gevoelig maken voor niet-lineariteit;
 - e. vergroting van snelheid/bandbreedte;
 - f. impedantie-transformatie;
 - g. vrijheid in het dimensioneren met betrekking tot component-betrouwbaarheid/stabiliteit;
 - h. stabiel maken van een instabiel systeem;
 - i. oscillatorwerking.
3. M.P. Breedveld (1966). De witte ingenieur: pleidooi voor systeemoriëntatie in de ingenieursopleiding. Diesrede – TH Twente, 1966.11.25.
4. Ministerie van Economische Zaken (1990). Technologieverkenning mechatronicasensoren en -actuators. Studie in opdracht van het Min. E.Z. door Berenschot, mei 1990. (Strategische conferentie, Utrecht, 6 juni 1990: Mechatronica; een groeipad? Een verkenning van de toepassingsmogelijkheden voor de elektrotechnische en mechanische industrie).
5. A.S. Debs (1988). Modern Power System Control and Operation. Kluwer Academic Publications, Boston.
6. M.A. Pai (1989). Energy Function Analysis for Power Systems. Kluwer Academic Publications, Boston; Chapt. 7: Future research issues.
7. Rapport TUE-Verkenningcommissie Meten en Regelen (1990). Uitgebracht aan het College van Bestuur – TU Eindhoven. Het hier geciteerde is gebaseerd op informatie van prof.ir. O. Rademaker d.d. 1990.05.29.
8. Het genoemde percentage van ca. 15% hangt samen met een tweetal tendenzen (Prof. Rademaker):

- dalend door het steeds vertrouwder (dus minder overtollige instrumentatie) en groter ('economy of scale', instrumentatiekosten vrijwel onafhankelijk van de grootte van de fabriek) worden van 'bulk plants';
 - stijgend door de verschuiving in West Europa naar 'speciality chemicals', d.w.z. kleinere hoeveelheden, kleinere plants, meer en meer 1 plant voor verschillende produkten en daarom een complexere instrumentatie gericht op omschakelingen.
9. Shell Briefing Service, april 1990, p. 7. Zie ook: Research en ontwikkeling in de olie-industrie, Shell Brochure Serie, nov. 1991.
 10. J.A. Mulder (1991). De stabiliteit en besturing van vliegtuigen: theorie en praktijk. Oratie TU Delft - fac. Luchtvaart- en Ruimtevaarttechniek, 1991.11.01.
 11. G. van Straaten (1991). Heer en meester? Systeemtechnologie in landbouw en milieu. Oratie Landbouw Universiteit Wageningen, 1991.02.07.
 12. C.A. Ronan en J. Needham (1978). The Shorter Science and Civilisation in China. Cambridge University Press, Cambridge. pag. 91.
 13. Over de geschiedenis van de regeltechniek:
 - O. Mayr (1968). Zur Frühgeschichte der technischen Regelungen. R. Oldenbourg, München.
 - W. zur Megede (1974). Am Wege zur Automation; Antiker Traum - moderne Wirklichkeit. Siemens, Berlin.
 - R.E. Larson (1982). Control technology development during the first 25 years of IFAC. International Colloquium: Impact of automatic control: present and future; 25th anniversary IFAC, Heidelberg, 1982.10.01.
 14. P. Eykhoff (1974/1979). System Identification; Parameter and State Estimation. Wiley, London.
 15. A.C.P.M. Backx (1990). Identificatie en regeling van industriële processen, relevant voor marktpositie en maatschappij? Oratie TU Eindhoven - faculteit E, 1990.06.08.
 16. L.A. Zadeh, Universiteit van Californië, Berkeley. Op 17 nov. 1989 kreeg hij de Japanse Honda Prize voor: 'Great achievement in establishing fuzzy theory with the possibility of developing into extensive applications.'

17. Panel on Future Directions in Control Theory, W.H. Fleming Chairman (1988). Future Directions in Control Theory; a Mathematical Perspective. SIAM Reports in Issues in the Mathematical Sciences, Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia.
18. A.C.P.M. Backx (1987). Identification of an industrial process: a Markov parameter approach. Proefschrift TU Eindhoven – fac. E, 1987.11.03.
19. C.A.A.M. Schreurs (1986). Adaptive Regelverfahren für die Erregung von Synchrongeneratoren. Proefschrift TU Eindhoven – fac. E, 1986.02.21.
20. G. van der Leeuw (1951). De crisis der universiteit. Wending, jrg. 5, nr. 11, p. 604-611.
21. Uit: Voorlopige voorstellen eindexamenprogramma's Nederlandse Taal en Letterkunde voor VWO en HAVO, Voortgangverslag nr. 3 van de Commissie Vernieuwing Eindexamenprogramma's Nederlandse Taal en Letterkunde VWO en HAVO (CVEN), Oktober 1990. Geciteerd in: J. van Marle et al. (1992), 'Het hemd is nader dan de rok; zes voordrachten over het eigene van de Nederlandse cultuur'. Van Gorcum, Assen, p. 34.
22. B.P.Th. Veltman (1985). 'Kwaliteit van ons onderwijs- en onderzoekbedrijf (Avondstemming)'. Afscheidsrede als Rector Magnificus, TU Delft, 1985.01.11.
23. Brochures: – Systems and Control Theory Network in The Netherlands. Dutch Graduate School of Systems and Control; course program; participating institutes, en: – Informatiegids/Information Guide 1991/92.
24. F.J. Kylstra (1974). Proces en processor. Oratie TH Eindhoven – afd. E, 1974.11.01.

Colofon

Dank aan:

- Philips en DSM/Stamicarbon voor het beschikbaar maken van illustraties;
- drs. A.J. Vervoorn, fac. W&MW - TUE, voor taaladviezen (voor fouten is de auteur verantwoordelijk).
- de collega's Backx, van den Boom, van der Grinten, Kouwenberg, Rademaker, Rietjens voor technische adviezen.
- de heer J.A. van Dinther, vakgroep Meten en Regelen, fac. E - TUE, voor het tekenwerk voor brochure en dia's.
- de heer Chen Haijun voor de Chinese tekst.
- mevr. T.J. Driessen, Academische en Protocollaire zaken TUE, voor adviezen en correcties.

Vormgeving en druk:

Reproductie en Fotografie van de CTD
Technische Universiteit Eindhoven

Informatie:

Academische en Protocollaire Zaken
Telefoon (040-47)2250/4676



Pieter (Piet) Eijkhoff (1929) studeerde elektrotechniek aan de TH Delft. Hij behaalde zijn doctorsgraad (Ph.D.) aan de Universiteit van Californië, Berkeley, USA. In 1964 werd hij gewoon hoogleraar in de meet- en regeltechniek, faculteit elektrotechniek, TUE. Van 1977-1980 was hij dekaan-beheerder van die faculteit.

Hij is o.m. auteur van het boek: 'System Identification; Parameter and State Estimation', Wiley 1974/79, dat ook vertaald is in het Russisch, Chinees, Pools en Roemeens. Hij vervulde vele functies in nationale en internationale wetenschappelijke organisaties. Van zijn activiteiten in het maatschappelijk leven noemen we het voorzitterschap van de Vriendschapsvereniging Nederland-China (VNC) (1984-1991).

Hem is een aantal eerbewijzen verleend: - Visiting Research Fellowship, USA National Academy of Sciences (1958-1960); - Fellow, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) (1979); - Ereid elektrotechnische studievereniging THOR (1980); - Honorary Professor, Xi'an Jiaotong Universiteit, Xi'an, V.R. China (1986); - Lid, Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen (1988); - Eredoctor, Vrije Universiteit Brussel (1990); - Outstanding Service Award, International Federation of Automatic Control (IFAC)(1990); - Ridder in de Orde van de Nederlandse Leeuw (1991); - Erevoorzitter VNC (1991).