

Regelen en Besturen, Precies of Vaag

Afscheidsrede

Prof.ir. H.R. van Nauta Lemke

1330707

Tres Red. 1990

Regelen en Besturen, Precies of Vaag

Prof.ir. H.R. van Nauta Lemke

Rede, uitgesproken door
prof.ir. H.R. van Nauta Lemke
ter gelegenheid van zijn afscheid
als gewoon hoogleraar in de Regeltechniek
aan de Faculteit der Elektrotechniek
van de Technische Universiteit Delft
op 2 februari 1990.

Nauta Lemke_
red_
1990

*Mijnheer de Rector Magnificus en overige leden van het
College van Bestuur, dames en heren hoogleraren en andere
leden van deze universitaire gemeenschap,
zeer geëerde gasten,
Dames en Heren*

"De rijpe kennis hoort, de onrijpe neemt het woord"
(Staring)

Alles verandert en soms erg snel, dat laten de ontwikkelingen in Oost Europa de laatste tijd zien. Pantarhei (Heraditus) zeiden de Grieken, alles stroomt, is steeds in wording, niets is bestendig.

Veranderingen duiden op dynamiek, op beweging, stroming. Als er geen veranderingen zijn, is de toestand statisch, bewegingloos. Veranderingen zijn nodig voor vernieuwing, werken activerend. "Rust roest" en "Verandering van spijs doet eten". Maar ook: "elke verandering is nog geen verbetering". De regeltechniek, de techniek van regelen, besturen en beslissen is een techniek van actie en is slechts zinvol als er een verandering van toestand kan optreden. Ik wil het niet hebben over het gebeuren in de "grote" wereld. Na ruim dertig jaar hoogleraar in de regeltechniek te zijn geweest, wil ik slechts zwerven in en mijmeren over enkele kleine werelden, voor mij grote werelden, en daarin wil ik U meevoeren. Van een rondleider mag U verwachten, dat hij U op slechts enkele punten opmerkzaam maakt en met een eigen blik komt. Hij moet veel overlaten aan Uw verbeelding, hij moet U gelegenheid geven iets met andere ogen te bezien, hij moet U

prikkelen tot verrassende eigen ontdekkingen. U zult zich voortdurend moeten afvragen: Waarom is daarover zo weinig verteld, waarom is dat juist onvermeld, en waarom wordt daaraan wel aandacht besteed? Welnu, ik laat mij leiden door een uitspraak van Eugene Delacroix: " De schoonste triomf, die een schrijver kan behalen is diegenen die kunnen denken aan het denken te zetten", en ik streef naar: onvolledigheid, imperfectie, precisie naast vaagheid, opdat er genoeg overblijft voor kritiek en om zelf te ontdekken.

Dertig jaar - Delft is veranderd, ik bedoel niet de stad Delft, hoewel deze ook is veranderd, maar Delft, de Technische Universiteit Delft. De Technische Universiteit Delft, een eigen kleine wereld, een grote eigen wereld. Namen zijn veranderd, afdelingen werden faculteiten, hogeschool werd universiteit, electrotechniek met een c veranderde in elektrotechniek met twee k's. Het College van Curatoren werd naar huis gestuurd, de senaat moest verdwijnen, het College van Bestuur werd in het leven geroepen, raden als de universiteitsraad en de faculteitsraad ingesteld. "What is in a name", aldus Shakespeare, maar de rangen van wetenschappelijk medewerker en hoofdmedewerker werden toch maar gewijzigd in universitair docent en hoofddocent, gelijktijdig met een lagere waardering voor doceren dan voor wetenschappelijk onderzoek. De bestuursvorm is ingrijpend gewijzigd en heeft een typisch Nederlandse invulling gekregen, die voor een buitenlander niet en voor een buitenstaander nauwelijks is te begrijpen.

Politieke leiders werden opgedrongen, doch de Technische Universiteit Delft toonde zijn kracht en bleek sterker dan

bedrijven die door soortgelijke ontwikkelingen te gronde gingen. Delft bleef overeind, niet immer fier en waardig, soms een beetje gekrenkt en wel eens beschadigd. Thans is Delft, neen, ... niet de gemeente Delft, maar de Technische Universiteit Delft, gelukkig weer het aanzien waardig.

Dertig jaar. In deze tijd is bijna alles toegenomen. Grotere aantallen hoogleraren, een groter personeelsbestand, meer studenten en absoluut gezien meer ruimte. Alleen de studieduur is afgenomen en de laatste jaren is de groei eruit.

Kroonbenoemingen van hoogleraren werden benoemingen door het College van Bestuur.

Heeft deze verandering de afstand hoogleraar tot College van Bestuur verkleind? Dertig jaar geleden was er geen werving van hoogleraren door advertenties, geen profielschets met criteria over didactische kwaliteiten, onderzoek aantoonbaar vooral uit publicaties, en bestuurlijke vaardigheden. Dertig jaar geleden wist ik niet eens, dat men een oogje op mij had, ik bedoel voor een hoogleraarsbenoeming. Drie hoogleraren, Huijds, Oberman en Tellegen bezochten mijn laboratorium bij van der Heem. Na het tonen van een aantal projecten en het bespreken van een paar verleende octrooien werd mij gevraagd enkele opstellingen van speciale regel(servo)systemen voor het laboratorium in Delft te ontwikkelen. Bij het bespreken later van de gemaakte ontwerpen werden de eisen veranderd, hetgeen geenszins verbaasde. Opdrachtgevers wisten immers nooit, wat zij precies wensten, de eisen waren altijd globaal en vaag. Na een

aantal regelsystemen te hebben besproken liet ik doorschemeren, dat het maken van weer nieuwe projecten interessant was en het ook eervol was aan de Technische Hogeschool te mogen leveren, doch voor het bedrijf financieel niet aantrekkelijk.

Eerst daarna volgde de vraag of ik het niet had begrepen. Maar ik begreep niet eens wat "het" was. Zo begon ik als hoogleraar, zo laag mogelijk ingeschaald, want ik wist niet dat er een schaal bestond en ik was toch wel verwend in de industrie.

Indertijd een jonge intredende hoogleraar. Een oratie waarin het gebruik van audiovisuele hulpmiddelen nadrukkelijk niet was toegestaan, zoals de toenmalige Rector, woordkunstenaar Bottema zei: "een hoogleraar moet zich duidelijk kunnen maken met woorden". Indertijd de oratie in de intieme Kapel van het Heilige Geest Zusterhuis, Oude Delft 118 met de zelfbewuste titel: "Scheppen, Waarnemen en Regelen". Thans een uittredende hoogleraar in deze imposante aula en een rede getiteld: "Regelen en Besturen, Precies of Vaag" zonder vraagteken, om geen antwoord te doen verwachten en de onwetenschap in het onzekere te laten. Toendertijd de oratie met vooral ontwikkelingen uit het verleden, die hebben geleid tot het ontstaan van de regeltechniek, nu bij het afscheid ook enkele bespiegelingen over de toekomst.

Het verheugt mij dat er vele regeltechnici in deze aula aanwezig zijn omdat de vakgroep mij het bijzonder genoeg heeft gedaan met het organiseren van een bijeenkomst hedenochtend ter gelegenheid van mijn afscheid en de 500ste afstudeerder van het laboratorium voor regeltechniek.

Dames en Heren,

U heeft mij het genoeg gedaan de moeite te nemen hier aanwezig te zijn. Het is mij bekend, dat velen van ver zijn gekomen. Het hierheen komen is een beslissing geweest en U heeft hiervoor zeker iets moeten regelen. Beslissen en regelen horen bij elkaar. U bent hier gekomen per trein, met de auto of op de fiets of U bent komen lopen. Realiseert U zich, dat het sturen van een auto, het rijden op een fiets, het lopen allemaal besturingen of regelingen betreffen? Dat heeft U toch goed voor elkaar gekregen.

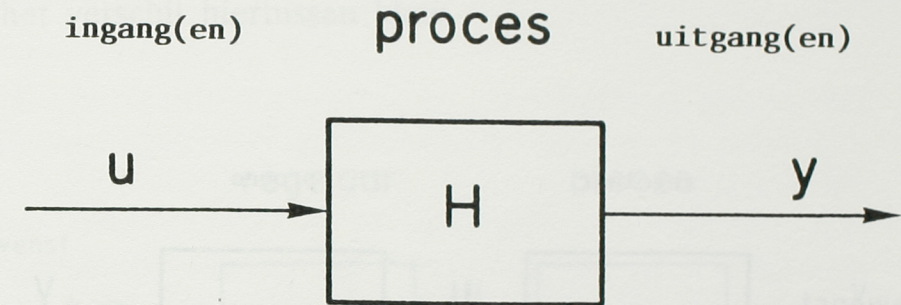
Heeft U bij het leren autorijden, het leren fietsen of het leren lopen een college regeltheorie of regeltechniek moeten volgen? Gelukkig niet, zult U zeggen en onder ons gezegd, daar ben ik ook gelukkig mee. Voor het verkrijgen van het rijbewijs moest U examen doen, zowel praktisch als theoretisch, maar niet in de regeltechniek en de regeltheorie. Om te mogen fietsen, is niet eens een rijbewijs vereist, terwijl het fietsen toch een heel moeilijke regeling omvat. Hetzelfde geldt voor het lopen. Het is uitermate moeilijk een robot te maken, die loopt als een mens, die kan fietsen en auto rijden, en die kan kiezen tussen verschillende mogelijkheden en die ondanks deze ruime keuze beslist naar mij te komen luisteren. Een mens kan dit doen zonder kennis van de regeltechniek.

Begrijpt U mij goed, het ligt niet in mijn bedoeling voor te stellen een ontwerp te maken voor een P.R., een personal robot, die alles kan wat ik zojuist heb genoemd. Ik moet er niet aan denken te spreken alleen voor robots. Dat had ik ook niet hoeven te doen, want als iedereen zijn personal robot had gestuurd, had mijn personal robot

natuurlijk dit werk voor mij gedaan. Een beetje onzinnige voorstelling van zaken eigenlijk, echt iets voor een hoogleraar, die toch weg gaat. De probleemstelling is vanuit de regeltechniek toch intrigerend. Het is voorts penibel mij de vraag te stellen: Rij jij nu beter auto, fiets of loop jij beter na dertig jaar onderwijs en onderzoek in "Besturen en Regelen"? Daar geef ik geen antwoord op, hoewel het erop lijkt, dat voor vele besturingen en regelingen geen regeltechnische kennis nodig is en dat regeltechnische kennis evenmin leidt tot merkbare verbeteringen van de genoemde besturingen en regelingen. Heb ik niets gedaan of voor niets gewerkt of heb ik mij slechts met bijzondere systemen bezig gehouden, die toevallig met kennis van de regeltechniek konden worden geregeld? Een bezinning hierover lijkt op zijn plaats, en ook over de ontwikkelingen die gaande zijn of die moeten worden verwacht. Hiertoe geef ik eerst een summier overzicht van de huidige regeltechniek.

Regelen en besturen van een proces is het proces datgene te laten doen dat men wil, dat het doet (making a process do what you want it to do - Saridis). Een proces kan heel verschillend zijn en toepassingen kunnen liggen op sterk uiteenlopende gebieden. Op de Technische Universiteit Delft wordt de meeste aandacht gegeven aan technische processen uit bijvoorbeeld de elektrotechniek, de werktuigbouwkunde, de maritieme techniek, de lucht- en ruimtevaart, de scheikundige technologie. Een proces kan ook betrekking hebben op o.a. de economie, de biologie, de organisatie. Er is geen gebied te bedenken, waarin het regelen geen rol kan spelen.

Een regeltechnicus werkt in het algemeen met schematische voorstellingen. Het te regelen proces wordt weergegeven door een blok met ingangs- en uitgangsvaariabelen, zie figuur 1.

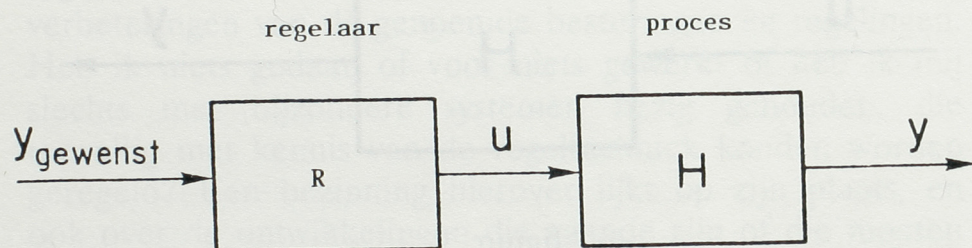


figuur 1

Het verband tussen de ingangen U en de uitgangen Y wordt gegeven door het wiskundige model H van het proces. Ter ondersteuning van de gedachten beschouwen wij een eenvoudig proces, een gasoven. Ter vereenvoudiging wordt slechts rekening gehouden met één ingang, namelijk de stand van de gaskraan en één uitgang, de temperatuur in de oven.

Bij elke stand van de gaskraan zal onder gelijkblijvende omstandigheden de oven na een zekere tijd een bepaalde temperatuur bereiken. Bij elke stand U hoort dus een eindtemperatuur Y . Als dit verband bekend is, kan een bepaalde gewenste eindtemperatuur worden bereikt door de gaskraan in de bijbehorende stand te zetten. Men kan echter de gewenste temperatuur veel sneller bereiken door bijvoorbeeld bij een gewenste hogere temperatuur de

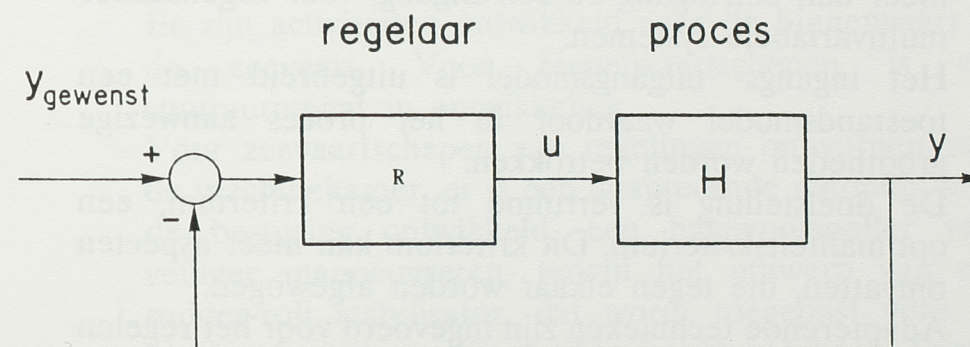
gaskraan eerst enige tijd groot open te draaien, waardoor de temperatuur snel stijgt en op het juiste moment terug te draaien, zodanig, dat de gewenste eindtemperatuur wordt bereikt. Deze handeling kan automatisch verlopen door een goede regelaar toe te passen, zoals aangegeven in figuur 2.



figuur 2

De waarde van de sturing U kan worden berekend, en de regelaar ontworpen als het wiskundig model van het proces, de oven, bekend is en er geen storingen zijn. Aan deze voorwaarden wordt in het algemeen niet voldaan. De gasbranders vervuilen, de inhoud van de oven varieert, de gasdruk is niet konstant, de omgevingstemperatuur en daarmee de warmte verliezen veranderen. Een nauwkeuriger regeling is te verkrijgen door het toepassen van een terugkoppeling, zoals schematisch aangegeven in figuur 3.

Hierbij wordt de uitgang van het proces, de temperatuur van de oven vergeleken met de gewenste temperatuur, de ingang. Het temperatuursverschil wordt gebruikt om het proces, de oven te sturen. Bij een goed ontworpen regeling moet de gewenste en de werkelijke waarde van de temperatuur zo snel mogelijk aan elkaar gelijk worden of het verschil hiertussen klein.



figuur 3

De regeltechnici hielden zich in de jaren '40 en '50 vooral bezig met onderzoek en ontwikkeling van dergelijke systemen, systemen met één ingang en één uitgang en met een eenvoudige, enkelvoudige direkt te meten doelstelling. Voorbeelden zijn regelingen van temperatuur, druk, stroom, spanning, toerental, hoeveelheid en elektromechanische volgsystemen (servo-systemen) voor het volgen van vliegtuigen met behulp van Radarapparatuur en voor

vuurleidingssystemen als onderdeel van de bewapening. De theorieën uit deze tijd worden gerekend tot de zogenaamde klassieke regeltheorie (Nyquist, Nichols, Bode, Evans, Michailov, Wydsjnegradsni).

Dertig jaar regeltechniek laat een stormachtige ontwikkeling zien, die is samen te vatten in de volgende punten:

1. De theorie is toepasbaar gemaakt voor processen met meer dan één ingang en één uitgang, voor zogenaamde multivariabele systemen.
2. Het ingangs- uitgangsmoedel is uitgebreid met een toestandsmodel waardoor in het proces aanwezige grootheden worden betrokken.
3. De doelstelling is verruimd tot een criterium, een optimaliteitscriterium. Dit criterium kan meer aspecten omvatten, die tegen elkaar worden afgewogen.
4. Adapterende technieken zijn ingevoerd voor het regelen van processen die minder goed bekend zijn, sterk variëren of werken onder veranderende omstandigheden.
5. Stochastische methoden zijn ingevoerd.
6. Robuuste methoden zijn ontwikkeld voor het regelen van processen, die sterk variëren.
7. Theorieën zijn ontwikkeld voor de analyse en deels voor de synthese van niet-lineaire processen.
8. Kunstmatige intelligentie in expertsystemen is in ontwikkeling.
9. Digitale rekenmachines zijn ingevoerd voor het regelen van processen en voor het ontwerpen van regelsystemen. Zonder rekenmachines kunnen de genoemde theoretische ontwikkelingen niet worden

toegepast. In de regeltechniek worden rekenmachines gebruikt voor het in-line regelen van processen en voor het ontwerpen van regelsystemen. Voor dit ontwerpen zijn speciale programma's ontwikkeld (CAD).

Op het laboratorium voor regeltechniek zijn in de loop der jaren vele laboratoriumopstellingen onderzocht en er is aan vele projecten gewerkt in samenwerking met anderen. Enkele dia's wil ik U tonen.

1. Automatiseren voor schepen
Er zijn activiteiten ontwikkeld voor de binnenvaart en de zeevaart. Voor binnenvaartschepen is een stuurautomaat in ontwikkeling. Voor zeevaartschepen zijn regelingen ontworpen voor de machinekamer, er is een adapterende autopilot voor de besturing ontwikkeld, een baanvoorspeller voor veiliger manoeuvreren, terwijl het ontwerp van een rudder-roll stabilisator, dat wordt toegepast voor de nieuwe fregatten een wereldprimeur betekent. Voorts is voor het zo snel mogelijk laden en lossen van schepen onderzoek verricht op het gebied van kranen, waarvoor een laboratoriumopstelling is gerealiseerd.
2. Automatiseren in de lucht- en ruimtevaart
Vele regelsystemen zijn op dit gebied ontwikkeld, waarbij de samenwerking met de fakulteit Lucht & Ruimtevaart in het kader van de opleiding avionica stimulerend heeft gewerkt. Onderzoek is verricht op de standregeling van satellieten, regelingen van de windtunnel, vluchtoptimalisatie en plaatsbepalings-systemen.

3. Automatiseren in de elektrische energietechniek
Dit onderzoek heeft betrekking op regeling in elektrische centrales, het gemengde warmtekrachtbedrijf en de koppeling tussen centrales voor economische optimalisatie en veiligheid. Voorts zijn elektrische aandrijvingen in het onderzoek betrokken.
4. Automatiseren van chemische processen
Zeer uiteenlopende regelingen voor metallurgische processen in de staalindustrie en voor petro-, bio-, en algemene chemische processen vormen voortdurend een belangrijk terrein van onderzoek.
5. Automatiseren in de productie en robots
De toepassing van robots in Nederland verkeert in een beginfase.
Het onderzoek is van belang, mede omdat veel fundamentele problemen aan de orde komen. Er zijn enkele laboratoriumopstellingen gemaakt waarbij is gebruik gemaakt van verschillende sensoren en er is gewerkt aan een mobiele robot en aan een robot voor gehandicapten.
6. Automatiseren buiten de techniek
De land- en tuinbouw is een groeiend gebied voor automatisering. Regelingen van kassen en een melkrobot waren interessante projecten. Voorts zijn ontwikkeld een model, van de macro economie van Nederland genaamd FYSIOEN, een levensverzekeringsmodel en een beslismodel voor het bepalen van een keuze uit een aantal alternatieven, o.a.

voor beslissingen bij investeringen.

In het onderzoek vallen enkele tendenzen op. Dertig jaar geleden werd het onderzoek verricht met eenvoudige middelen, papier en pen, analoge rekenmachines en kleine opstellingen op het laboratorium. Er heeft sindsdien een geweldige schaalvergroting plaatsgevonden. Papier en pen spelen een bescheiden rol, op elk bureau zijn tekstverwerkers, berekeningen worden uitgevoerd op digitale rekenmachines met eigen ontwikkelde of gekochte programma's. Er zijn relatief weinig laboratoriumopstellingen overgebleven. Veel onderzoek wordt verricht aan wiskundige modellen, dus aan simulaties op rekenmachines. Dit leidt tot een versnelling en verruiming van het onderzoek, dat abstract is en niet gebonden aan bepaalde toepassingen. Het kan leiden tot verschraling en gebrek aan technisch inzicht. Het is echter onmogelijk kostbare systemen in het laboratorium ter beschikking te hebben. Ik meen, dat alleen de universiteit van Tokyo een eigen schip heeft voor onderzoek. Ik ben dankbaar en verheugd dat reeds tientallen jaren een goede samenwerking bestaat met het Nederlandse bedrijfsleven en de grote technische onderzoek-instellingen. Het laboratorium van de vakgroep heeft door deze samenwerking een grote en flexibele omvang gekregen buiten het eigen gebouw.

Een andere tendens is dat de technische ontwikkeling in een richting gaat van voortdurend toenemende nauwkeurigheid. De huidige methoden en rekenmachines rekenen steeds sneller en nauwkeuriger. Een vraag is of steeds toenemende nauwkeurigheid relevant is. Een voorbeeld: Wiskundig is voor een rechthoekige tafel de

omtrek gelijk aan tweemaal de som van lengte en breedte. Een echte tafel is niet altijd precies rechthoekig en een nauwkeuriger resultaat voor de omtrek wordt verkregen door de som van de vier zijden te nemen. Misschien zijn de hoeken iets afgerond, hiermee kan ook rekening worden gehouden. Vervolgens is met een vergrootglas te zien, dat er kleine beschadigingen in de tafelrand zijn. Dan is de omtrek nog moeilijker precies te bepalen. Zodra de tafelrand wordt bekeken met een elektronenmicroscop is de omtrek niet meer te bepalen. Door het streven naar meer precisie is juist vaagheid ontstaan. Voor het maken van een lijst om de tafel is het opvoeren van de nauwkeurigheid boven een bepaalde grens niet meer relevant. Bij foto's en tekeningen geldt nog iets merkwaardigs: een karikatuur van een persoon geeft soms meer informatie dan een foto, specifieke kenmerken zijn zichtbaar van meer betekenis dan nauwkeurigheid. Zadeh is gekomen tot het beginsel van onverenigbaarheid. De essentie hiervan is dat bij toenemende complexiteit van een systeem de mogelijkheid afneemt, om gelijktijdig precieze en significante informatie te verkrijgen. Er wordt een drempelwaarde bereikt waarna het verkrijgen van grotere precisie en gelijktijdig grotere relevantie vrijwel is uitgesloten.

Zoals gezegd vindt een groot deel van het onderzoek plaats aan wiskundige modellen. Een probleem uit de realiteit wordt eerst vertaald (afgebeeld) in een wiskundig gesteld probleem. Dit wordt opgelost en de oplossing wordt terugvertaald naar de realiteit. De ontwerper moet over de vereiste fysische, chemische en mathematische kennis beschikken om een probleem op de juiste wijze te kunnen

stellen en te kunnen oplossen. Wat houdt echter de vereiste kennis in, wat zijn de relevante gegevens? Welke nauwkeurigheid is vereist? De van belang zijnde aspecten zijn vaak niet of niet geheel bekend en de theorie is ook in beweging. De kern van de probleemstelling ligt vaak in de vertaling van de realiteit naar de wiskunde en de terugvertaling. De realiteit en de wiskunde vormen immers twee verschillende werelden. De realiteit is onze aarde met een grote verscheidenheid van mensen en dieren en begroeid met bomen en planten. In de verschillende gebieden heersen eigen gewoonten en leven andere gevoelens. De natuur is grillig en niet precies gestructureerd, ondanks het ingrijpen van de mens. Naar menselijke maatstaven zijn ordening en gelijkvormigheid juist onnatuurlijk. Onze inzichten en waardeoordelen zijn subjectief en zijn niet in een regelmaat of wetmatigheid uit te drukken. Hoe kan de rijke verscheidenheid en speelsheid van alles op aarde worden vertaald in een strak harnas van de wiskunde? Moet de wereld zo worden veranderd dat deze past in het kader van de wiskunde? Moeten wij alles regelen of reglementeren? Kunnen wij de wiskunde niet blijven gebruiken door onze vertaling aan te passen door er een subjectieve, persoonlijke invulling aan te geven? Als dit lukt, is het mogelijk subjectieve grootheden en natuurlijke vaagheden te verwerken in een wiskundig model.

De wiskunde blijft dan precies en objectief, door de vertaling is de oplossing persoonsgebonden.

Laat ik enkele voorbeelden noemen.

Hier heeft U een paar appels en een paar peren, kiest U maar. U kiest de appels. U kunt kiezen, dus U heeft

appels met peren vergeleken, hoewel velen zeggen dat dit niet kan. U maakt regelmatig een keuze uit een fruitschaal en U vergelijkt dan niet alleen appels met peren, maar ook met bananen en sinaasappelen. De keuze appel of peer hangt af van de voorkeur van de persoon, de kwaliteit van de vruchten en van de omstandigheden, waaronder deze worden genuttigd.

Deze keuze is noch objectief noch universeel. Is het altijd nodig een universele oplossing te vinden? Sommigen vinden van wel en denken, dat hun mening geldig behoort te zijn voor de hele wereld. Mag men dit in redelijkheid verwachten? Zou het zelfs wenselijk zijn, dat iedereen hetzelfde kiest? Het lijkt mij afschuwelijk. In de wiskunde zijn appels en peren niet met elkaar te vergelijken, tenminste niet direkt. Het is echter mogelijk subjectieve, object-, plaats- en tijdgebonden aspecten in wiskundige termen te vertalen en vervolgens het keuzeprobleem op te lossen. De wiskunde, wel de koning der wetenschappen genoemd, permitteert zich de weelde zich te onttrekken aan de werkelijkheid. Zij leidt de mens in een wereld, die onfeilbaar is, waarin absolute waarheden bestaan. De probleemstelling is scherp gesteld, de vraag nauwkeurig en ondubbelzinnig bekend. Er bestaan geen achtergehouden gegevens, geen intriges die het resultaat geweld doen. De wiskunde kent geen fouten in de waarneming en distantieert zich van opvattingen, temperamenten en grillen van de mens en de natuur. Zij stelt zich onafhankelijk op, erkent geen minister, geen College van Bestuur of Universiteitsraad, zelfs geen dekaan, die haar de wet voorschrijft.

De mens is in staat te besturen, te regelen, te beslissen en te communiceren met niet precieze, vage informatie. Bij het besturen van een auto zijn de waarden van afstanden en snelheden onnauwkeurig, de straal van een bocht is niet precies bekend. Zelfs het doel is vaag, misschien is de plaats van bestemming precies bekend, maar de precieze tijd is niet zo belangrijk. De precieze weg is niet vastgelegd, evenmin als de optimale inhaalmanoeuvre. De voordelen van deze combinatie van vaagheden zijn, dat iedereen denkt dat hij goed rijdt en in ieder geval beter dan anderen, en een flexibiliteit, waardoor kan worden aangepast aan onverwachte omstandigheden.

In de menselijke relaties zijn vaagheden gebruikelijk: hierdoor kan men elkaar begrijpen en misverstaan. Woorden als jong, oud, kort, lang, ver, dichtbij, vriendelijk, vijandig zijn persoons-, groeps-, soms streek-, land- of context-gebonden. Een lange man in Zweden wordt in Japan als een heel erg lange man beschouwd, bij een oude student denkt men aan een andere leeftijdsklasse dan bij een oude hoogleraar.

Voor het menselijk handelen en regelen zijn lokale waarden en maten voldoende, in de wiskunde wordt met universele maten en waarden gerekend. De wiskunde is absoluut, iets is waar of niet waar, het is ja of neen, het is aan of uit, men is voor of tegen, iets behoort tot een verzameling of iets behoort niet tot die verzameling.

De vage wiskunde is een uitbreiding van de "gewone" wiskunde. In deze vage wiskunde kan rekening worden gehouden met geleidelijkheid. Vaagheden kunnen worden vertaald o.a. door het subjectief definiëren van een lidmaatschapsfunctie, die de mate weergeeft waarin een

element behoort tot een bepaalde verzameling bijvoorbeeld tot de verzameling lange mannen, of tot de verzameling mooie dingen.

De bewerkingen en operatoren die in de gewone verzamelingsleer gangbaar zijn, kunnen op analoge wijze in de leer van de vage verzamelingen worden gedefinieerd. Operatoren die bij gewone verzamelingen éénduidige resultaten geven, hebben bij vage verzamelingen meer, soms oneindig veel oplossingen. Daaruit kan een subjectief logische keuze worden gemaakt. Voorts bestaat de mogelijkheid taalkundige nuances aan te brengen als bewerkingen van vage verzamelingen. Hierdoor kan bijvoorbeeld de linguïstische uitdrukking "de temperatuur is niet erg hoog, maar toch tamelijk hoog" worden vertaald in een vage verzameling. Met de leer van de vage verzamelingen zijn vage uitspraken (voorwaardelijk en onvoorwaardelijk) en vage relaties wiskundig te definiëren. Met de vage logica is het menselijk handelen, bijvoorbeeld de regeling van een bedieningsman te vertalen in een programma, een vage regelaar, waarmee een rekenmachine de bedieningsman nabootst en het proces regelt. Deze rekenmachine kan het proces beter regelen dan de bedieningsman omdat het programma met wiskundige methoden kan worden geoptimaliseerd en er adapterende eigenschappen kunnen worden toegevoegd. Een combinatie van vage regelaars met gewone regelaars behoort eveneens tot de mogelijkheden. Er kan ook een vaag model van een proces worden opgesteld, hetgeen van belang is voor slecht bekende processen. Op het laboratorium zijn met succes vage regelaars toegepast. In de Verenigde Staten zijn weliswaar goede vorderingen gemaakt in de theorieontwikkeling van

de vage wiskunde, doch praktische toepassingen zijn schaars. Nasa en Boeing experimenteren met vage regelaars. In Japan blijkt de theorie van de vage verzamelingen te zijn ingeslagen. Toepassingen zijn gemeld op vele terreinen, o.a. het pronkstuk van een vage regeling voor de ondergrondse in Sendai, ongeveer 200 mijl Noord van Tokyo, met als resultaat een soepel rijgedrag en 10% energiebesparing. Nissan heeft een patent op een vage autotransmissie en een anti-slip remsysteem, Yamaichi Securaties introduceerde een vaag investeringsprogramma voor de aandelenmarkt om veranderingen in het marktsentiment te signaleren. Canon werkt aan een vage auto-focus camera, Matsushita heeft een vage verkeersregelaar ontworpen. Het Japanse ministerie voor Internationale Handel en Verkeer heeft een laboratorium voor internationaal onderzoek van vage technologie geopend, het laboratorium voor International Fuzzy Engineering Research in Yokohama. Kosko is van mening, dat de enige drempel voor meer toepassingen van vage logica is de filosofische weerstand in de Westerse wereld.

Een andere, nog minder toegepaste, mogelijkheid is systemen te ontwerpen op basis van patroonherkenning. Het lijkt erop dat de mens vooral leert door iets te doen. Hij herkent een ervaring of situatie. Een kind leert grijpen door het te proberen en na vele pogingen. Het is niet aannemelijk, dat iemand iets grijpt na het oplossen van bewegingsvergelijkingen en sinussen en cosinussen van hoeken, zoals bij de sturing van robots gebruikelijk is. Een kind leert lopen door het te proberen, met vallen en opstaan. En fietsen en autorijden leert men door het te doen, door ervaringen op te doen. Uit onderzoekingen o.a.

bij het Instituut voor Zintuigfysiologie is gebleken dat het besturen van een schip of een auto in eerste instantie een vooruitregeling betreft, dat wil zeggen dat men de situatie, bijvoorbeeld een bocht, onderkent en stuurreacties geeft, zodanig dat deze bocht wordt doorlopen. De terugkoppeling speelt een ondergeschikte rol, tenzij er bijzondere omstandigheden zijn, zoals windstoten of een glad wegdek of als de bestuurder niet goed functioneert door vermoeidheid of alcoholgebruik. Het herkennen van verschillende situaties is in de natuur bijzonder sterk ontwikkeld. De prestaties van de mens om iets visueel te herkennen en te rubriceren zijn verbluffend. Verschillende typen en vormen van stoelen worden als zodanig herkend, ondanks dat zij worden bekeken vanuit verschillende kanten en vanaf verschillende afstand. Visuele herkenning is bij mensen en o.a. vogels sterk ontwikkeld, herkenning op geur bij honden, herten, muggen, en op geluid, bij dolfijnen en vleermuizen. Ik meen niet, dat de natuur altijd een oplossing biedt, die beter is dan de kunstmatige. Wielen lijken beter geschikt voor het voortbewegen dan benen of poten. Het vliegtuig vliegt niet met fladderende vleugels zoals een vogel. De voortstuwing van schepen door middel van roterende schroeven of raderen is evenmin natuurlijk. Natuurlijke oplossingen zijn echter vaak flexibeler dan kunstmatige en beter aangepast aan een niet goed gestructureerde omgeving. Het wiel is niet erg geschikt, om een trap of een boom te beklimmen.

Vanzelfsprekend kan niet alles op natuurlijke wijze door proberen worden geleerd. Het besturen van een ruimtevaartuig is een duidelijk voorbeeld. Het is echter een uitdaging te trachten de herkenning als methode in de

regeltechniek toe te passen.

Voorlopig wordt zoveel mogelijk aangesloten bij de gebruikelijke regeltechnische methoden. Een proces wordt aangenomen met een ingang U en een uitgang Y, zie figuur 1.

Dit proces ondergaat eerst een leerfase. Vele verschillende signalen U worden aan het systeem toegevoerd en alle ingangen U en de bijbehorende uitgangen Y worden in een geheugen opgeslagen. In het geheugen vindt men dus bij elke ingang U de bijbehorende uitgang Y. Dus:

- bij ingang U₁, hoort uitgang Y₁
- bij ingang U₂, hoort uitgang Y₂
- bij ingang U₃, hoort uitgang Y₃
- bij ingang U_j, hoort uitgang Y_j enz..

Het bovenstaande is voor te stellen als een soort woordenboek, bij elke U hoort een betekenis (of vertaling) Y.

Dit boek is een model van het proces, niet een model, bestaande uit wiskundige vergelijkingen, doch een model waarin alle ervaringen zijn opgeslagen. Bij een willekeurige ingang U kan men in het boek (het geheugen) nazoeken, welke uitgang Y hierbij hoort. Als de ingang U niet voorkomt in het boek, weet men de uitgang Y niet. Dan kan men een uitgebreider woordenboek samenstellen door meer te leren, meer ervaring op te doen, meer ingangen en bijbehorende uitgangen op te nemen. Niet alle signalen die ooit kunnen voorkomen, kunnen worden geleerd. Een signaal U dat niet in het geheugen voorkomt, kan echter

ook worden vergeleken met de wel voorkomende signalen. Het kan zijn dat U een beetje lijkt op U17, iets meer op U73 en heel veel op U391. Dan zal Y ook een beetje lijken op Y17, iets meer op Y73 en heel veel op Y391. Het bepalen van de uitgang Y wordt teruggebracht tot een proces van opzoeken in het geheugen en patroonherkennen en - vergelijken in plaats van tot een berekening van wiskundige vergelijkingen.

De liefhebbers van wiskunde hoeven niet teleurgesteld te zijn, het herkennen en vergelijken geschiedt met, eventueel vage, wiskundige methoden.

Voor het regelen of besturen van een proces gaat men uit van de inverse, een woordenboek van Y waarden naar U waarden. Voor niet technici lijkt het bovenstaande voor de handliggend, ik weet echter niet of buiten Delft deze methode voor het regelen wordt toegepast. Voor de geïnteresseerden meld ik dat het samenstellen van het woordenboek mogelijk is volgens verschillende kenmerken en dat de methode zich leent om informatie te krijgen over de lineariteit, de mate van lineariteit, de vage orde en de tijdafhankelijkheid van het proces en zelfs over de betrouwbaarheid van de regeling, terwijl het regelen kan samengaan met opnieuw leren.

De regelaars ontworpen met deze methode van leren en herkennen kunnen worden gecombineerd met andere regelaars.

Dames en Heren,

Ik kom nog even terug op de door U genomen beslissing hierheen te komen. Ik betrek hierbij ook een tweede

beslissing, namelijk die van het College van Bestuur, die mij per brief begin oktober 1989 mededeelde dat mij i.v.m. het bereiken van de leeftijd van 65 jaar eervol ontslag werd verleend. Laat ik beginnen met het laatste deel van dit besluit, de leeftijd van 65 jaar. Dit deel is volkomen fout. Daarbij denk ik niet aan de uitspraak van Annie Schmidt. Zij sprak over betrekkingen, waarbij een sollicitant van 65 jaar te horen krijgt "Mijnheer U bent te jong, U mist de ervaring". Neen, de leeftijd van 65 jaar is fout, even fout als een leeftijd van 60 jaar of 70 jaar, of elk andere precieze leeftijd. Wie iets van vage verzamelingen weet, weet beter, maar de wetgeving loopt soms meer dan een beetje achter.

Is het verstandig zo voortijdig onvoorwaardelijk mede te delen dat eervol ontslag wordt verleend? Prikkel het iemand niet tot overdenken, wat hij in de tussentijd kan doen dit eervol waar, niet waar of voor een deel waar te doen maken? Beide besluiten zijn (deels) gebaseerd op een verwachting. Deze is niet statistisch van karakter.

Van de beslissing hier te komen is niet na te gaan, zelfs niet achteraf of dit de beste beslissing is geweest. Als U content bent, omdat U vele vrienden heeft ontmoet, relaties gezien, de consumpties niet zijn tegen gevallen, weet U nog niet of U het beste heeft gedaan. Misschien had U elders nog gezelliger vrienden gezien, meer relaties ontmoet en betere consumpties gekregen. Of het valt U tegen, U gaat teleurgesteld weg. Uw beslissing hier te komen kan toch goed zijn geweest of minder slecht. Elders had U misschien een grotere teleurstelling gewacht.

In de exacte wetenschappen is men gewend rechtlijnig te denken, de wereld is echter rond. Bij de meeste examens

in de techniek worden vragen gesteld, waarop het antwoord beoordeelbaar is als juist of niet juist. De goede antwoorden van examenvraagstukken worden tegenwoordig direct na de examenzitting bekend gemaakt. Bij vele problemen in het gewone leven is het onbekend of een bepaalde oplossing de beste is en vaak zelfs niet of de oplossing goed is. Het antwoord op de vraag studeren of niet is niet te voren te beoordelen en zelfs achteraf is niet te bepalen, of de beste keuze is gemaakt. Vele beleidsbeslissingen liggen op eenzelfde vlak.

Bij de α wetenschappen ligt het anders. Ik wil niet pleiten voor het opnemen van extra α of γ vakken in het curriculum van de technische studie. Het is echter nuttig de ingenieur meer bekend te maken met genoemde problemen. Hoe kan men iemand beoordelen als de juiste oplossing onbekend is?

Ingenieurs worden te veel uitsluitend geoefend in zogenaamde operationele problemen. Dit zijn problemen die goed zijn te stellen en waarvan het doel bekend is. In de toekomst moet meer aandacht worden gegeven aan problemen van exploratieve aard. Van deze problemen is het doel niet (precies) van te voren bekend; dit moet nog worden ontwikkeld.

In het management heeft men te maken met problemen van verkennende aard.

Hierbij zijn zowel de probleem-, als de doelstelling niet nauwkeurig vast te leggen en in voortdurende ontwikkeling. Rekenmachines zijn tot nu toe slechts in staat operationele problemen op te lossen.

De regeltechniek biedt geen directe oplossingen voor niet operationele problemen, wel kan ondersteuning worden

gegeven door:

- het opstellen van vage modellen, waaruit een prognose kan worden gemaakt van de gevolgen van de getroffen regelingen en besturingen
- het regelmatig terugkoppelen van deze prognose met de realiteit, waaruit besluiten kunnen volgen voor correctie

Men zal regelmatig de tijd moeten nemen om te denken over toekomstig mogelijke en wenselijke ontwikkelingen. Dit is inspannend. Volgens de Bono is het moeilijkste van denken om aan het denken te blijven denken.

U verder rondleidend in nieuwe ontwikkelingen kom ik een "beginsel" tegen dat als fundament kan dienen.

In de Verenigde Staten spreekt men van het beginsel van de toenemende precisie met afnemende intelligentie. Ik wil niet in discussie gaan op de vraag wat onder intelligentie moet worden verstaan. Ik merk alleen op, dat de huidige regeltechniek zich vrijwel geheel beweegt op het terrein van de automatisering op het laagste niveau. Voor de toekomst is een ontwikkeling nodig, waarbij uitgebreide productieprocessen, combinaties van chemische processen, eventueel met administratieve en financiële processen in samenhang worden geautomatiseerd. Het gaat hierbij om slecht gedefinieerde systemen. Voor de eenvoud en ter gedachtenbepaling worden deze systemen hiërarchisch opgebouwd, als een bestuurlijke organisatie, waarbij drie niveaus worden onderscheiden: het topniveau, het middenniveau en het laagste niveau. Op het laagste niveau behoort men de grootste vakdeskundigheid te bezitten. Daar wordt precies gewerkt, daar is bekend, wat moet worden gedaan.

Het middenniveau vormt een tussenschakel tussen top- en laagste niveau. Dit niveau heeft een coördinerende taak en moet zich de bedoelingen van een goed topniveau kunnen indenken. De door het topniveau genomen beslissingen moeten echter niet zonder meer worden doorgegeven. Deze moeten worden vertaald en vaak zelfs verbeterd; de beslissingen moeten aantrekkelijk, stimulerend, en duidelijk overkomen op de werkvloer. Het middenniveau moet afhankelijk van de kwaliteit van het laagste echelon, vaag zijn. Des te hoger de kwaliteit van het laagste niveau, des te vager kan en moet het middenniveau zijn. Immers, op het laagste echelon heerst de vakdeskundigheid, het middenniveau moet de invulling van details overlaten aan de vakdeskundigen, die het altijd beter weten en ook beter moeten weten.

Van het topniveau moet worden verwacht, dat het regelmatig op denkverkenning gaat, patrouillerend, verkennend en zoekend naar nieuwe veelbelovende producten en diensten en een toekomstige route uitstippelt. Het topniveau kan alleen maar globaal zijn om intelligent werk te doen. Raden van top- en middenniveau dienen zich te realiseren op welk niveau zij werken.

Voorbeelden zie ik in de teamsporten en in de natuur, o.a. in de trek van vogels, van wilde kuddedieren en van scholen vissen. Het hoogste niveau, de leider, bepaalt globaal de route; hij geeft zijn volgelingen, het middenniveau, geen voorschriften over de precieze volgafstanden. U moet zich eens indenken welke moeilijkheden er zouden ontstaan als hij dit wel deed, bijvoorbeeld bij optredende obstakels. Op het middenniveau vindt de coordinatie plaats van de te maken bewegingen voor de regeling op het laagste niveau, het vliegen bij

vogels. Voor een automatisering op verschillende niveaus zal vaagheid en preciesheid worden gecombineerd, vaagheid op de hogere niveaus, nauwkeurigheid op de lagere. Eén van de uitdagingen voor de systeemontwikkeling is ook een samengaan van competitie en samenwerking.

Er is een zekere competitie nodig opdat iedereen wordt geprikkeld goed te functioneren, er is samenwerking nodig om met elkaar meer te bereiken dan de eenvoudige som van een ieder apart (synergie). Competitie en samenwerking zijn ook nodig binnen een organisatie als de Technische Universiteit Delft. De competitie is meestal wel aanwezig, aan de samenwerking moet worden gewerkt. Ik ben verheugd over het samenwerkingsverband in de groep "Delft Control", waarin voorlopig participeren de aan regeltechniek verwante vakgroepen uit de faculteiten elektrotechniek, werktuigbouwkunde en technische wiskunde.

Dames en Heren,

Gaarne zou ik U willen wijzen op nieuwe vergezichten en U leiden langs schijnbaar eenvoudige dingen die moeilijk zijn en langs gecompliceerde zaken, die in de grond eenvoudig zijn. Ik zou U artistieke wiskundige bouwwerken willen tonen van fractals en hun verband met de regeltechniek, ik zou willen doorgaan met verkenningen in het dagelijkse leven en in de natuur. Er is mij vandaag niet meer tijd gegund en ... ik heb U toegezegd onvolledig te willen zijn. Wilt U echter meer weten, dan kunt U nog mijn colleges volgen.

Op de valreep wil ik nog stilstaan bij de vraag: moet alles worden bestuurd en geregeld? Leidt dit niet tot een saaie,

dwangmatige uniformiteit? Ik meen juist van niet. Met nadruk merk ik op, dat men tegenwoordig is geneigd te veel precies te willen regelen en precieze reglementen maakt. Dan is mijn mening: de beste regeling is geen regeling.

Ik pleit voor regelingen, die zo intelligent zijn en dus vaag, dat zij zich aanpassen aan de mens, de menselijke noden en behoeften. Er is geen behoefte aan een precies gestructureerde maatschappij, ook niet aan gelijkvormigheid of gelijkheid van produkten. Gelijkheid in uiterste instantie is onnatuurlijk, een eik is niet gelijk aan gras. Maar hiervoor zullen wij thans niet discussieren.

Is mijn eigen beslissing indertijd op de Technische Universiteit Delft te komen de beste geweest? Dat is, dat voelt U, niet te beoordelen. Ik heb hieraan in de loop der jaren weleens getwijfeld. Nu durf ik te stellen dat het in ieder geval een goede beslissing is geweest. Ik heb hier veel geluk gekend.

De Technische Universiteit Delft is een rijk geschakeerde wereld. Veel stromingen zijn hier vertegenwoordigd in de ingenieurswetenschappen, in politieke gezindheid en in levensovertuiging; uitersten zijn aanwezig in sociaal-maatschappelijke en financiële achtergrond en met verschillende culturen en nationaliteiten zijn contacten mogelijk.

Ik heb geluk gehad te mogen werken in de faculteit der Elektrotechniek, een stimulerende omgeving voor het verhogen van de kwaliteit van onderwijs en onderzoek.

Ik heb geluk gehad met mijn vakgroep Regeltechniek. Het was een bijzondere vakgroep en dat is het nog. Er waren

altijd bekwame en hulpvaardige medewerkers. Een ieder stond immer open voor mij. Ik denk aan alle hulp en hulpvaardigheid, aan alle ernst en luim, aan de vele vriendschappen. Ik denk aan en dank allen, maar ik noem slechts diegenen, die langer dan de helft van mijn tijd in Delft binnen de vakgroep werkzaam zijn. Ik dank hen apart, Maarten Pleeging, helaas jong overleden, Coen Kalkhoven, langer bij de universiteit dan ik, Ger Honderd, helaas ernstig ziek, Henk Verbruggen, Paul van den Bosch, Piet Bruijn, Peter Emons, Job van Amerongen en Jaap Dijkman. Wij kennen elkaar voldoende om het bij dit korte woord van dank te laten. Ik dank alle secretaressen, er zijn er enkelen in de zaal, die in de loop der jaren veel werk voor mij deden en ... zelfs het huiswerk in mijn agenda vermeldden.

Het is een voorrecht en ik heb geluk gehad te kunnen werken met studenten, studenten in Nederland met veel vrijheden en mede hierdoor ongekende mogelijkheden. Ik heb geluk gehad jonge mensen zich te zien ontwikkelen, te groeien en te bloeien.

Ieder mens heeft zijn sterke kwaliteiten en ik heb geluk gehad dat alle dertig jaren de vraag naar afgestudeerden in de regeltechniek groter is geweest dan het aanbod, waardoor de afgestudeerden een plaats konden vinden passend naar persoonlijke gaven, in het bedrijfsleven, bij de overheid of in een eigen bedrijf.

Acht van mijn afgestudeerden zijn thans hoogleraar.

Ik heb geluk gehad met zovele contacten met andere werelden, in sommige mocht ik korte of lange tijd vertoeven. Ik denk aan de zusterinstellingen, andere

universiteiten, de onderwijsraad, de Meetings of Heads of Control in North and West Europe.

Ik denk ook aan de voor mij inspirerende werelden van vele bedrijven, klein, middel en groot, aan de defensie, waarmee ik altijd goede contacten heb onderhouden en de grote technische instituten, waarmee de universiteit nog beter zou moeten samenwerken.

Ik heb geluk gehad met Julie en mijn kinderen. Zij hebben mij gesteund, ook in niet makkelijke tijden. Julie, jij gaf warmte aan onze wereld.

Ik heb veel geluk gehad en dat heb ik nog.

Ik wens U allen ook veel geluk.

Dank U voor Uw belangstelling.