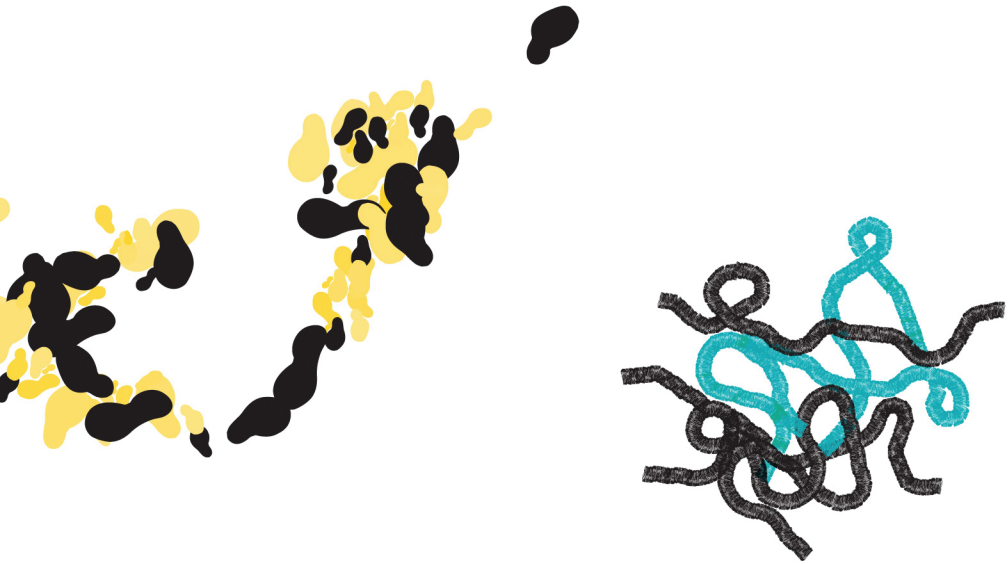




19 OKTOBER 2011

40 JAAR IN EEN SPEELTUIN

PROF.DR.IR. JOB VAN AMERONGEN



UNIVERSITEIT TWENTE.



40 JAAR IN EEN SPEELTUIN

AFSCHEIDSREDE

WOENSDAG
19 OKTOBER 2011

DOOR

PROF.DR.IR. JOB VAN AMERONGEN

Een elektronische (pdf) versie met links naar publicaties en multimedia is beschikbaar via:

<http://afscheid.vanamerongen.org>



De figuren 1 (links), 5, 6, 11, 15, 20, 27, 37 zijn afkomstig van het www (en in een aantal gevallen bewerkt). Alle andere figuren komen uit mijn privé verzameling.

Inhoud

INLEIDING.....	1
De ingenieursstudie: 1965–1971.....	1
Militaire dienst: 1971–1973.....	2
Wetenschappelijk medewerker THD – promotie: 1973–1982.....	2
Wetenschappelijk medewerker THD/TUD: 1982–1987.....	3
Hoogleraar Regeltechniek UT: 1987–2011.....	3
Decaan EL: 1994–1998.....	5
Wetenschappelijk directeur Drebbel Instituut: 1999–2004.....	6
Voorzitter afdeling Elektrotechniek: 2005–2011.....	6
Creative Technology: 2008–2011.....	6
SPEELTUIN.....	7
Delftse jaren.....	7
Stoommachines.....	7
Sturen van schepen.....	12
Rudder Roll Stabilisation (RRS).....	17
Twente: Mechatronica.....	18
Mechatronische kijk op de wereld.....	20
Voertuigen.....	21
Treintjes.....	24
Mechatronica onderzoek aan de UT.....	26
Onderwijs.....	28
Bijdragen aan de BV Nederland.....	29
CREATIVE TECHNOLOGY.....	32
Video.....	33
Navigatie.....	34
Home automation.....	35
Huishoudrobots.....	36
iPads.....	38
Dynamical Systems.....	40
TERUGBLIK.....	43
Smart Grids.....	44
DE TOEKOMST.....	45
DANKWOORD.....	47
Duobaan.....	49

INLEIDING

In de 45 minuten die ik beschikbaar heb om terug te kijken op ruim 40 jaar werk als ingenieur, onderzoeker en docent, wil ik u meenemen langs een aantal activiteiten die ik in deze periode heb ondernomen en proberen daar een lijn in te ontdekken. Bij een recent bezoek aan onze dochter Renée in de VS vroeg een van haar collega's op Stanford University "What is it like, being a professor?" Deze vraag leek me een goed uitgangspunt voor deze afscheidsrede, waarin ik wil terugkijken op een periode van 40 jaar actief zijn als regeltechnicus in het onderwijs en onderzoek. Mijn antwoord was dat dat inderdaad een hele leuke baan is –en soms ook wel eens wat minder leuk– maar dat je ook en vooral moet genieten van de mogelijkheden die je hebt als jonge onderzoeker, die nog niet wordt lastig gevallen met financiële problemen en gewoon lekker bezig kan zijn. Ik heb daar ook volop gelegenheid voor gehad, niet alleen in het begin, maar ook aan het eind, toen ik me heb kunnen wijden aan het opzetten en mee realiseren van de nieuwe uitdagende studie 'Creative Technology'. Ik kijk op de afgelopen jaren met plezier terug. Het is alsof ik 40 jaar in een speeltuin bezig ben geweest. De boodschap dat je in de techniek in het algemeen en de regeltechniek in het bijzonder veel plezier kunt beleven, is een boodschap die niet vaak genoeg kan worden verkondigd aan de scholieren die een uitdagende en leuke studie, en later een spannend beroep willen gaan kiezen. Vandaar de titel van dit verhaal. Volgens de visitatiecommissie moeten we potentiële studenten ook vooral vertellen hoe nuttig de elektrotechniek is. Dat zal ik dan ook zeker doen onder het motto 'Fijn dat leuk ook nog nuttig kan zijn'. Ik wil u eerst meenemen door de verschillende fasen in mijn loopbaan en dan op een paar onderwerpen wat dieper in gaan.

De ingenieursstudie: 1965–1971

Laat ik beginnen bij het begin. Na op het gymnasium, mede door de lessen van de wis- en natuurkundeleraar en elektrotechnisch ingenieur Van de Putte, enthousiast geraakt te zijn voor een studie elektrotechniek, besloot ik in Delft te gaan studeren. In de periode van 1965-1971 was ik een jaar lang thesaurier van de studievereniging *ETV*, twee jaar studentassistent bij het laboratorium voor Regeltechniek en haalde ik mijn ingenieursdiploma.

Tijdens wat nu een bacheloropdracht zou heten, werkte ik aan het simuleren van de automatische regeling van een infuus, eerst in hardware en later op de computer. Mijn afstudeerwerk ging over de optimale productie van elektrische energie. Het probleem was om over een periode van 24 uur de productiekosten te minimaliseren, gebaseerd op een bepaald voorspelbaar patroon van de vraag naar elektriciteit in die periode. Het resultaat was een optimale keuze van de te gebruiken productie-eenheden en de optimale verdeling van het vermogen over die eenheden. Parallel daaraan werkte ik vanuit mijn studentassistentenbaan aan de modelvorming van het dynamisch gedrag van een aantal productie-eenheden van de *Centrale Hemweg* in Amsterdam. *Modelvormen*, *regelen* en *optimaliseren* waren de trefwoorden van dit werk en dat zijn ze gebleven in de veertig jaren daarna. Hieraan zou ik nog willen toevoegen het trefwoord *systemaanpak*.

Militaire dienst: 1971–1973

Na mijn afstuderen moest ik in militaire dienst. Dat betekende dat je naar prof. Van Nauta Lemke ging, die goede contacten had met de marine en die al zijn afstudeerders aan een passende functie hielp. De mooiste functies waren de twee plaatsen voor marineofficieren die op het laboratorium voor Regeltechniek onderzoek moesten doen naar adaptieve stuurautomaten voor schepen. Ik wist een van deze plaatsen te bemachtigen en zo kwam ik terecht in de wereld van de scheepsbesturing. Het doel van het project adaptieve stuurautomaten was om een stuurautomaat te ontwerpen die, zonder instelknoppen, ook voor marineschepen bruikbaar zou zijn. Daaraan vooraf ging een opleiding van negen weken tot marineofficier, waarbij ik nuttige zaken leerde, zoals groeten met het sabel. Tijdens mijn diensttijd bleven mijn contacten met de Koninklijke Marine grotendeels beperkt tot het een keer in de maand een nachtje slapen in de kazerne in Den Haag, als ik daar officier van de wacht moest spelen.

Wetenschappelijk medewerker THD – promotie: 1973–1982

Toen de militaire dienst er op zat, veranderde er eigenlijk niets. Ik bleef op dezelfde stoel achter hetzelfde bureau zitten. Alleen mijn salaris kwam nu van de THD. En in plaats van zelf als marineofficier bezig te zijn, had ik nu steeds twee dienstplichtige officieren onder mijn hoede, die net als ik tijdens hun diensttijd op het laboratorium voor Regeltechniek werkten aan

de adaptieve stuurautomaat. Deze periode werd afgesloten met mijn promotie in 1982 met als onderwerp, hoe kan het anders, 'Adaptive Steering of Ships' [8]. Overigens was ik gedurende al die jaren ook nog steeds betrokken bij projecten rond modelvorming, regeling en optimalisering van de opwekking van elektriciteit [9]. Voor beide projecten werden regelmatig metingen gedaan, zowel aan boord van verschillende marineschepen als in elektrische centrales.

Wetenschappelijk medewerker THD/TUD: 1982–1987

Na mijn promotie leek het mij goed om iets heel anders te gaan doen. Dat lukte niet helemaal, want er diende zich een nieuw project aan in de vorm van een vraag van de marine en Van Rietschoten en Houwens. Doel van dit project was het ontwikkelen van een stuurautomaat die, behalve dat hij een schip rechtuit kan laten varen of een bocht kan laten maken, met behulp van het roer slingeren tegengaat, zogeheten *Rudder Roll Stabilisation*, kortweg RRS. In mijn proefschrift had ik aangetoond dat optimaal sturen betekent het roer zo min mogelijk bewegen. Voor RRS was het nodig om voortdurend heftige roerbewegingen te maken. Reden genoeg om hierin een nieuwe wetenschappelijke uitdaging te zien [5]. Hoewel ik me steeds bezighield met *sturen*, had ik *bestuurlijke* functies, zoals lid van de faculteitsraad altijd weten te ontlopen, o.a. met het excuus dat eerst mijn proefschrift af moest. Nu dat niet meer van toepassing was, werd ik kandidaat voor en vervolgens lid van de faculteitsraad. Toen even later een lid van het faculteitsbestuur werd gezocht was dat een mogelijkheid om in plaats van controlerend meer sturend bezig te zijn en werd ik 'portefeuillehouder onderzoek'. Mijn eerste taak was het invoeren van een zogenaamde modelgebaseerde toewijzing van de financiële middelen en later de verdeling van de UHD plaatsen over de vakgroepen. Tijdens deze periode zag ik dat *modelvormen*, *regelen* en *optimaliseren* ook van toepassing zijn op het besturen van een organisatie.

Hoogleraar Regeltechniek UT: 1987–2011

In 1986 waren er binnen Nederland diverse vacatures voor hoogleraren Regeltechniek. En omdat ik tijdens mijn bestuursperiode het idee kreeg dat ik daar ook wel aan toe was, heb ik toen voor het eerst in mijn leven een

paar sollicitatiebrieven geschreven, waarvan een naar de UT. Op het moment suprême kon ik kiezen uit twee aanbiedingen. Ik heb er nooit spijt van gehad dat ik toen voor Twente heb gekozen –al was het maar omdat ik de dagelijkse rit van 30-90 minuten in het Randstadverkeer, verruilde voor de 6 minuten fietstocht in het fraaie Twentse land (figuur 1).



FIGUUR 1 60 minuten file rijden verruilde voor 6 minuten fraai fietsen

Met mijn vertrek naar de UT liet ik de stuurautomaten in Delft achter en was voortaan Mechatronica het trefwoord, met daarin misschien zelfs meer dan daarvoor de elementen *modelvormen*, *regelen*, *optimaliseren* en *systeembenadering*. Mechatronica is een systeem aanpak op het grensvlak van werktuigbouwkunde, elektrotechniek en informatica. Ik kom daar later nog uitgebreid op terug. In 1989 werd het Mechatronica Research Centrum Twente (MRCT) opgericht, een samenwerkingsverband tussen groepen van de faculteiten Elektrotechniek, Werktuigbouwkunde, Wiskunde en Informatica. Wij waren daarmee wereldwijd pioniers op dit gebied, dat sindsdien alleen maar belangrijker is geworden [30, 38, 40]. Ik werd voorzitter van het MRCT.

In Delft had ik zelf volop tijd gehad voor onderzoek, samen met afstudeerders en promovendi [44, 45, 47]. Bij de UT werd mijn werk meer coördinerend en begeleidend. Het accent verschoof meer naar onderwijs. Ik heb al die jaren onder andere het basiscollege Regeltechniek verzorgd en ik ben betrokken geweest bij de begeleiding van zo'n 400-500 afstudeerders. Een

andere belangrijke onderwijsactiviteit in die periode was het voorzitterschap van de COCUREL, die gedurende ruim twee jaar iedere vrijdagmiddag van vier tot soms zeven uur bijeen kwam. Dit was niet zoals de naam en het tijdstip doen vermoeden een kookclubje, maar de COMmissie CURriculum herziening ELEktrotechniek. In die periode is het onderwijsprogramma van de toen 4-jarige studie volledig herzien en van de grond af opnieuw ontworpen –tegenwoordig heet dat een ‘green field approach’. Behalve een aangepaste inhoud, kwamen er ook allerlei nieuwe onderwijsvormen. Alle onderwijsgevenden werden hierbij betrokken en tijdens de regelmatige ‘hearings’ ging het er af en toe heftig aan toe. Het resultaat was in ieder geval dat de studierendementen tijdens dit proces al omhoog gingen en daarna verder stegen. Het ontworpen curriculum bleek zeer robuust, en bleek zonder veel veranderingen aan te passen aan de verlenging van de studie van vier naar vijf jaar en aan de bachelor-master structuur. Sinds die tijd scoorde de opleiding Electrical Engineering steeds als nummer 1 in de jaarlijkse ranking van Elsevier.

In de periode dat we een 4-jarig studieprogramma hadden, was het idee dat een substantieel deel van de studenten zou doorstromen naar een tweede fase, als promovendus of als deelnemer aan een ontwerpersopleiding. Vanuit de UT hebben we toen de opleiding Mechatronisch Ontwerper opgericht, waar later ook de TUE aan ging meedoen. We hebben in die periode een behoorlijk aantal ontwerpers opgeleid die later heel goede en relevante banen hebben gekregen in het bedrijfsleven. Toen de studie weer naar vijf jaar ging, nam de animo voor deze opleiding af. Op zich was die 4+2 of 4+4 structuur zo gek nog niet. Jammer dat tegen de tijd dat zo'n structuur vorm krijgt en succesvol wordt, alles weer verandert.

Decaan EL: 1994–1998

In 1994 werd er een beroep op mij gedaan om decaan te worden van de faculteit Elektrotechniek. Dat heb ik een aantal jaren met veel plezier gedaan. Als een belangrijk resultaat van die periode zie ik dat er onder de collega's sindsdien een buitengewoon plezierige sfeer van samenwerking heerst. Ook de relatie met de toenmalige faculteitsraad veranderde in die tijd van 'een gevecht met de oppositie' in 'er samen iets goeds van maken en er voor staan'. De nieuwe wet op het hoger onderwijs (de MUB) leidde tot allerlei nieuwe structuren, waarin iedereen weer zijn positie moest

vinden. Dat maakte het laatste jaar van deze periode het lastigst. Van het daaropvolgende sabbatical van een halfjaar bij de University of Newcastle in Australië hebben Gerda en ik zeer genoten.

Wetenschappelijk directeur Drebbeel Instituut: 1999–2004

Na mijn sabbatical maakte de universiteitspolitiek het nodig om de goedwerkende informele samenwerking in het MRCT om te zetten naar een meer formeel research instituut. Dit leidde tot de oprichting van het Drebbeel Institute for Mechatronics. Door allerlei politiek geharrewar en wisseling van personen, is dit nooit zo succesvol geworden als het MRCT. Dit is een van de weinige zaken waar ik met minder plezier op terugkijk.

Voorzitter afdeling Elektrotechniek: 2005–2011

In het proces van clusteren van faculteiten en een beperkt aantal research instituten voor de hele UT, was ondertussen ook de faculteit EWI (Elektrotechniek, Wiskunde en Informatica) ontstaan. Toen in 2005 de functie van afdelingsvoorzitter vacant kwam, heb ik toch weer ja gezegd. Die functie heb ik bekleed van 2005 tot en met augustus 2011.

Creative Technology: 2008–2011

Om een halt toe te roepen aan het teruglopend aantal studenten die kiezen voor techniek heeft EWI een aantal jaren geleden besloten een heel nieuwe opleiding Creative Technology, kortweg CreaTe, te beginnen. Deze opleiding combineert elementen van elektrotechniek, informatica en 'kunst'. Afgestudeerden van deze opleiding moeten producten kunnen maken die het leven veraangenamen of makkelijker maken, uiteenlopend van innovatieve hulpmiddelen voor ouderen tot, al dan niet serieuze, computergames. Kortom, een opleiding die gaat over allerlei zaken die ik leuk vind. Ik hoefde dan ook niet lang na te denken toen de decaan, Ton Mouthaan, mij vroeg twee dagen per week te gaan meehelpen bij het opzetten van deze opleiding. Consequentie was wel dat er voor de groep een opvolger moest komen. Die was er natuurlijk al in de persoon van Stefano Stramigioli. Toen ik, mijn studentassistententijd meegerekend, op 1 september 2009, 40 jaar bij de overheid was, heb ik de voorzittershamer van de vakgroep

overgedragen aan Stefano. En vanaf die tijd kon ik me in een dakpanconstructie wijden aan het tevens uitvoeren van het CreaTe onderwijs. Het was buitengewoon plezierig om me op deze manier, niet gehinderd door vakgroep-managementtaken, volop te kunnen inzetten voor deze nieuwe uitdaging.

Onderwijs heeft sowieso al die jaren een belangrijke rol gespeeld. De groep Control Engineering was onder Electrical Engineering en Mechatronica studenten altijd een van de meest populaire groepen om af te studeren. Ik schat dat we in de afgelopen 24 jaar tussen de 400 en 500 ingenieurs hebben afgeleverd. Sinds 2000 gaan alle studenten die langskomen voor het doen van een bachelor of master opdracht op de foto, in het begin via de webcam en sinds 2002 via de digitale camera (zie de foto's op de volgende pagina's). Helaas ontbreken zulke foto's van de 13 jaren voor 2000.

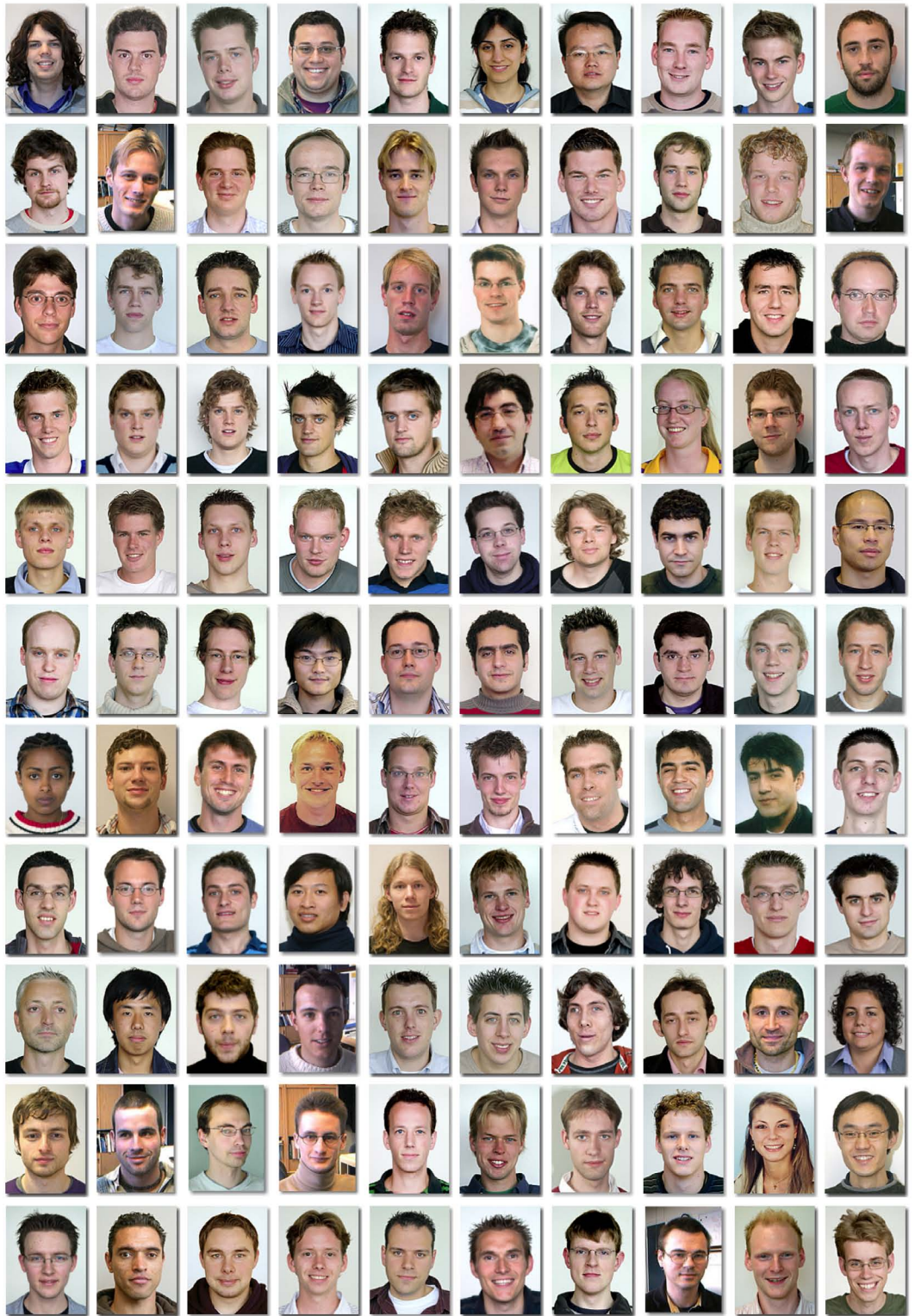
SPEELTUIN

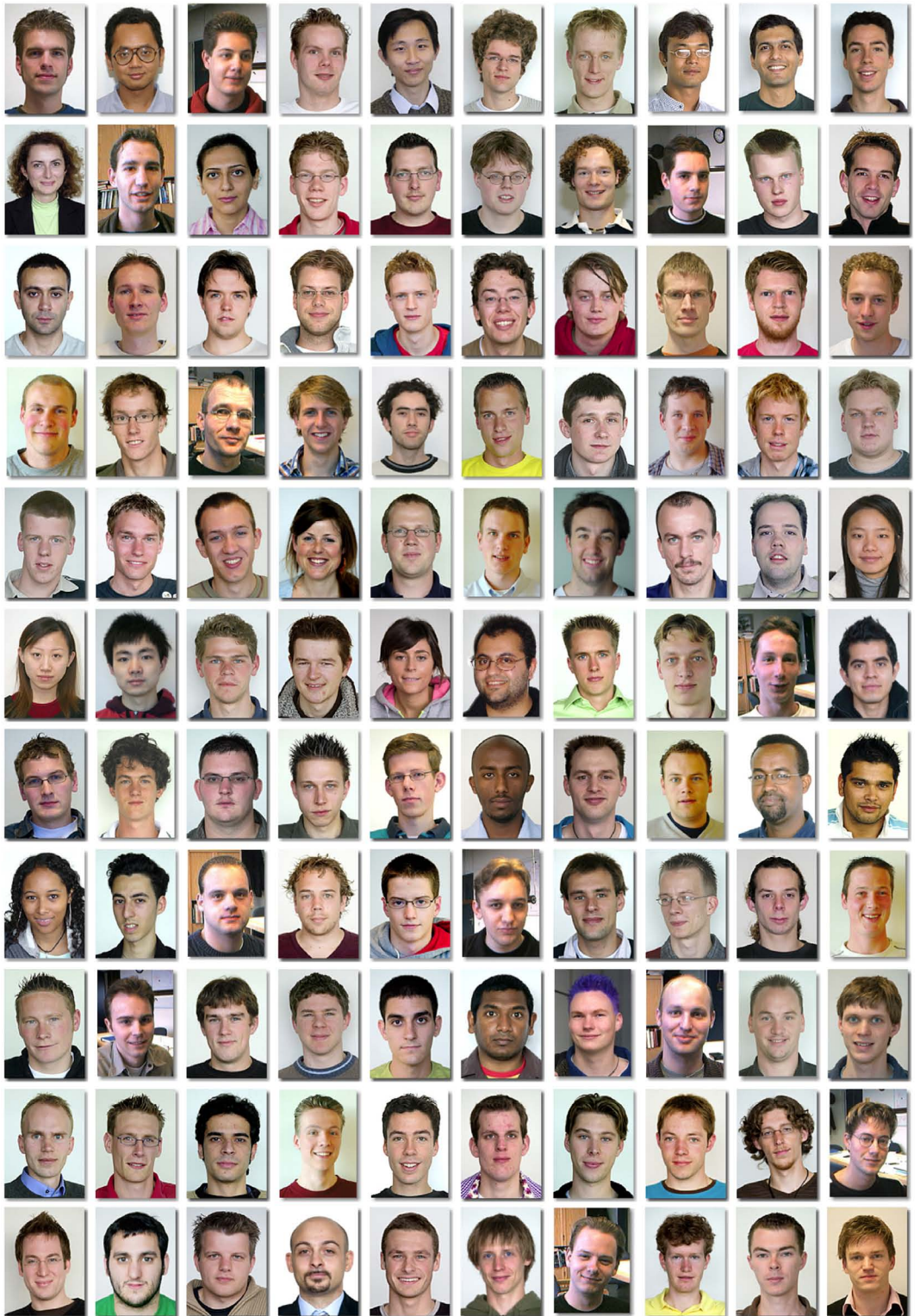
Deze opsomming van al mijn activiteiten verklaart nog niet direct de titel van deze rede '40 jaar in een speeltuin'. Daarom zal ik nu uit al deze perioden een paar voorbeelden bespreken die duidelijk maken waarom ik dit ervaren heb als nuttig bezig zijn in een hightech speeltuin. Vooral in het begin was ik zelf intensief bij het onderzoek betrokken. Maar ik geef ook een paar voorbeelden die vooral illustreren waar het in dit vakgebied om gaat.

DELFTSE JAREN

Stoommachines

Mijn afstudeerwerk ging over de optimale productie van elektrische energie. Daarbij moet rekening worden gehouden met de verwachte vraag naar elektrische energie en het feit dat het aan- en uitzetten van zo'n grote eenheid ook tijd om op te warmen, en dus geld kost. Bovendien zijn de productiekosten van de eenheden niet allemaal gelijk en afhankelijk van het vermogen dat ze produceren. Bij het oplossen van zo'n probleem moet je dus rekening houden met wat er in het verleden is gebeurd –is een eenheid recent nog gebruikt– en wat er in de toekomst zal gaan gebeuren –is de eenheid die ik nu uit zou willen zetten, binnenkort weer nodig. Dit noemen we rekening houden met de dynamica van het systeem.



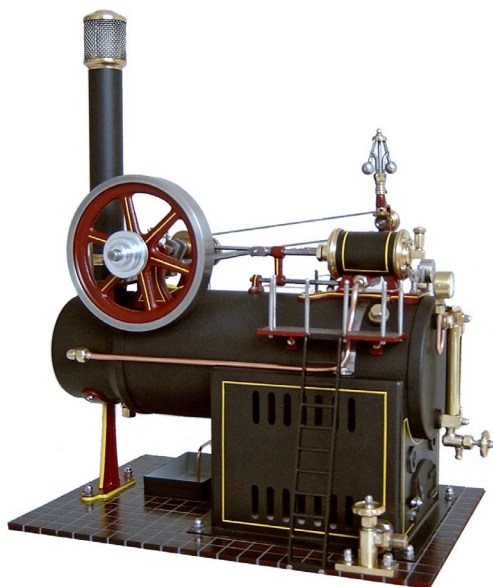




FIGUR 4 Studenten 2000-2011

Direct hieraan verwant is de zogenaamde ‘frequentie-vermogensregeling’ die er voor moet zorgen dat alle gekoppelde centrales in Europa, samen een frequentie van het lichtnet van precies 50 Hz realiseren. Dat betekent dat de productie-eenheden in al die centrales met precies hetzelfde toerental moeten draaien. Wij werden in mijn eerste jaren als wetenschappelijk medewerker regelmatig benaderd door elektriciteitsproducenten die problemen hadden met die regeling. Dat betekende meestal dat we met een afstudeerder eerst gingen meten om te kijken waar het probleem precies zat. Vervolgens kwamen we aan de hand van een model tot een oplossing. Daarna, en dat was het leukste, gingen we testen of die oplossing ook werkte op de echte eenheid, vaak van een paar honderd MW.

FIGUUR 5
Model stoommachine [77]



Figuur 5 toont een model van een ‘stoommachine’. De druk van de stoom zorgt ervoor dat het wiel gaat draaien. Als dit wiel is verbonden met een generator –zeg maar een grote dynamo– dan kunnen we daarmee elektrische energie opwekken. Om te zorgen dat de machine met het goede toerental gaat draaien, zit er rechts bovenop de machine een reguleur, ook wel de ‘ballen van Watt’ of **Watt reguleur** [82] genoemd. Als de machine sneller gaat draaien, slijperen de ballen verder naar buiten, waardoor

de stoomtoevoer wordt afgeknepen. Is het toerental te laag dan zakken de ballen weer naar beneden en wordt de stoomtoevoer vergroot. Ik ben nog heel wat van deze reguleurs tegengekomen. Tegenwoordig zijn zulke regelingen natuurlijk elektronisch of in software uitgevoerd. Spelen met zo'n stoommachine is leuk, maar proeven doen met een eenheid van een paar honderd MW is nog veel leuker (figuur 6) en spannender. Als er in de te testen regelaar een versterker teveel of te weinig zit, gaat de stoomturbine oscilleren. In ons geval betekende dat vermogensvariaties tussen zo'n 25 en 200 MW, met als gevolg dat het hele gebouw stond te schudden. Dat was weliswaar heel spannend, maar niet de bedoeling natuurlijk. In die periode werd er onder andere gemeten bij centrales in Borssele en Lelystad [4], [14], een waterfabriek in Terneuzen en aan de total-energy installatie van het Zwembad Kerkpolder in Delft.

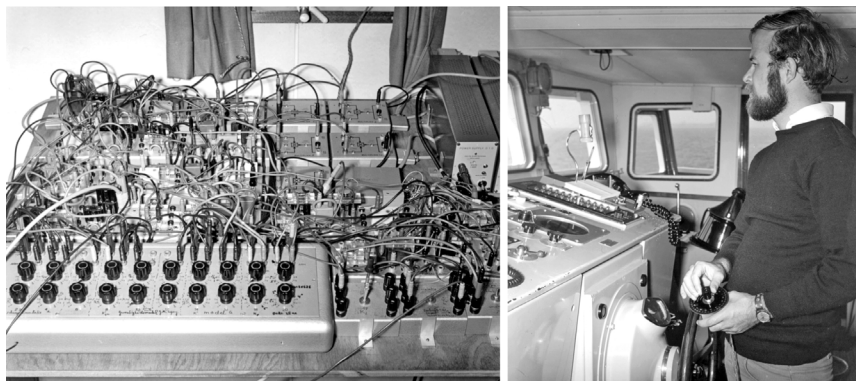


FIGUUR 6 Elektriciteitscentrale

Sturen van schepen

Dankzij de militaire dienst was mijn volgende onderzoeksgebied het sturen van schepen. De Koninklijke Marine (KM) was geïnteresseerd in een stuurautomaat die zichzelf aanpast aan wijzigende omstandigheden, zoals bijvoorbeeld wisselende snelheden. Stuurautomaten voor de koopvaardij waren toen vooral ontwikkeld om een schip op koers te houden bij nauwelijks variërende omstandigheden. Tijdens mijn militaire dienst werd er regelmatig gemeten aan boord van de loodsboot Capella. Doel van de proeven was in

eerste instantie modelvorming van het stuurgedrag en later het testen van een eerste versie van de adaptieve stuurautomaat. Op de PDP-9 werd een modelvormingspakket ontwikkeld waarmee op basis van de meetresultaten een wiskundig model kon worden gemaakt. Tijdens mijn diensttijd werd ook een eerste versie van de adaptieve stuurautomaat getest [1, 2] (figuur 7).



FIGUUR 7 links: Stuurautomaat, opgebouwd met rekenversterker modules
rechts: Invoeren gewenste koers met een potmeter

Al voor mijn militaire dienst was besloten dat ik als wetenschappelijk medewerker bij Regeltechniek zou blijven. Toen mijn militaire dienst er op zat, was het eigenlijk vanzelfsprekend dat ik door zou gaan met het onderzoek naar stuurautomaten voor schepen, daarbij ondersteund door de gedetacheerde marineofficieren. De samenwerking met de marine werd intensiever dan hij ooit was geweest. Ieder jaar was ik wel minstens twee keer gedurende een week of twee aan boord van een marineschip voor metingen. Net als bij ieder regeltechnisch probleem begon ook hier het onderzoek met modelvorming, om het gedrag te begrijpen en te zien hoe je dat gedrag zou kunnen beïnvloeden. De modelvormingsproeven moesten altijd bij mooi weer worden gedaan, dus dat was wel aangenaam. Uniek waren de goede contacten met de KM via de commissie die toezicht hield op het werk van de marine gedetacheerden en met de begeleiders van afstudeerders van het KIM. Een telefoontje was genoeg om weer een paar weken met het opleidingsschip van het KIM, de Zeefakkel, te gaan meten (figuur 8) of om twee weken een fregat als test object te krijgen.



FIGUUR 8 Draaicirkel en zigzag proef met de 'Zeefakkel'

Met het opleidingsschip van het KIM, de Zeefakkel, brachten we vele weken door op het IJsselmeer en een keer in een Noorse fjord. De keer dat Gerda mee mocht van Enkhuizen terug naar Den Helder, mochten we zelfs in het tweepersoonsbed van de kapitein overnachten. Met verschillende andere marineschepen waren er trips naar Noorwegen, Schotland en Portugal. Voor de kust van Marokko genieten van de rijsttafel aan dek, gaf het gevoel met Hr.Ms. Cruise Onderneming op pad te zijn.

De eerste experimenten met een adaptieve stuurautomaat vonden plaats tijdens mijn diensttijd, in 1972, aan boord van de loodsboot Capella. Digitale computers waren toen voor dit soort experimenten nog niet aan de orde. De stuurautomaat was opgebouwd met analoge 'rekenversterkers' die we zeevast op een plank hadden geschroefd (figuur 7). Het was een primitieve opstelling, maar we konden aantonen dat de basisprincipes werkten.

De laatste proeven met de Adaptieve StuurAutomaat (ASA) in 1979, konden we dankzij de voortschrijdende techniek uitvoeren met een 'klein' computersysteem: het LSI-11 DECLAB systeem (figuur 9). Dit werd succesvol gebruikt tijdens proeven aan boord van het oceanografisch opnemingsvaartuig Hr.Ms. Tydeman en het bevoorradingschip Hr.Ms. Poolster. Naast alle gewenste eigenschappen van de adaptieve stuurautomaat, zoals het vermogen om zichzelf in te stellen, konden we ook een brandstofbesparing van een paar procent aantonen [6, 11, 12, 16, 22, 37].

Om meer inzicht te krijgen in de mogelijkheden tot brandstofbesparing vonden we het MARIN in Wageningen bereid ons gedurende twee weken een sleeptank ter beschikking te stellen met daarin een duur speelgoedbootje (figuur 10). Tijdens deze proeven werden inderdaad besparingen tot 5% aangetoond [7].



FIGUUR 9 DEC LSI-11 computer met het bedieningspaneel



FIGUUR 10 Proeven bij het MARIN: 5% brandstofbesparing aangetoond

Bij de proefopstelling was via een afstudeerproject veel aandacht gegeven aan een betrouwbaar en vooral ook betrouwbaar ogend bedieningspaneel voor op de brug (figuur 9). Dit bleek erg belangrijk om de bemanning de opstelling ook te laten gebruiken als we even niet in de buurt waren. Desondanks zei de commandant van Hr.Ms. Poolster ons dat hij nooit een 'bevoorrading op zee' operatie (figuur 11) zou doen op de stuurautomaat. Nadat we dat toch een paar keer hadden gedaan met onze adaptieve stuurautomaat en voor de al aanwezige automaat 'Replenishment At Sea (RAS)' instellingen hadden bepaald, werd het vervolgens standaard om het wel op de automaat te doen. Dat kom je vaker tegen, angst voor de automaat, maar na even wennen toch beseffen dat zo'n automaat het vaak beter en veiliger kan doen dan de mens.



FIGUUR 11 Bevoorrading op zee

Voor het uitvoeren van de laatste proeven was het nodig een 'mobiel' computersysteem aan te schaffen. Dat betekende aan het eind van de jaren '70 al gauw een totale investering van € 50 000. Daarvoor sloten we een derdegeldstroomcontract af met Observator, een bedrijf dat de stuurautomaat wilde gaan bouwen en daar samen met ons later een prachtig ontwerp voor maakte (figuur 12). Dat stuitte toen merkwaardig genoeg op de nodige weerstand bij sommige collega's. Het feit dat de jurist van de TUD er aan

te pas moest komen, laat zien dat dergelijke contracten toen verre van standaard waren.

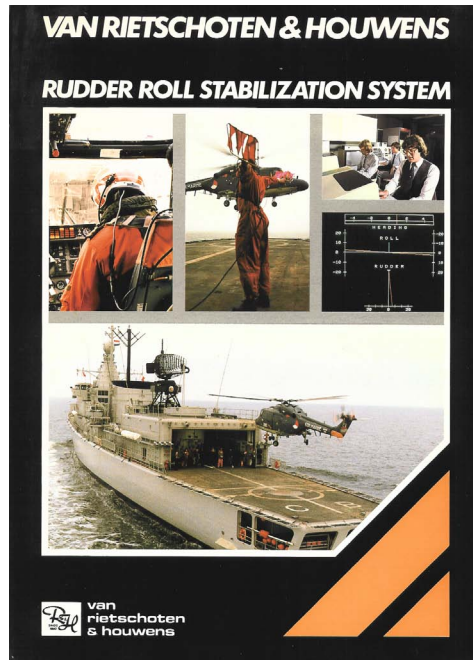
FIGUUR 12
Brochure ASA
(Observer)



Rudder Roll Stabilisation (RRS)

Zoals al eerder gezegd, kwam na het voltooien van het project van de Adaptieve Stuurautomaat, de vraag van de KM en Van Rietschoten en Houwens om onderzoek te doen naar de mogelijkheden van slingerstabilisatie met het roer. Het was het begin van een jarenlange samenwerking met Van Rietschoten en Houwens en in het bijzonder met Dick Beekman. Van Rietschoten en Houwens betaalde voor vier jaar een medewerker voor dit onderzoek. Na vier jaar was aangetoond dat het systeem, mede gebaseerd op de algoritmes van de adaptieve stuurautomaat, de gewenste slingerdemping zou kunnen realiseren. De KM maakte de noodzakelijke aanpassingen aan het ontwerp van het schip (in het bijzonder een veel snellere stuurmachine) en implementeerde dit systeem op de M-fregatten. Van Rietschoten en Houwens leverde het systeem daarna o.a. voor snelle containerschepen (figuur 13). Tijdens het onderzoek bleek dat er nogal wat fundamentele problemen moesten worden opgelost [15, 20, 21, 23]. Het resultaat was dat de betrokken medewerker daarop promoveerde. Omdat deze promotie plaatsvond net na mijn benoeming als hoogleraar aan de UT, was Peter van der Klugt niet alleen de eerste promovendus die ik begeleidde, maar was dit ook mijn eerste optreden als promotor [44].

FIGUUR 13
 Brochure Rudder Roll Stabilisation (Van Rietschoten en Houwens)



TWENTE: MECHATRONICA

Mechatronica is een systeemaanpak die door een optimale combinatie van mechanische en elektronische onderdelen en een regelsysteem dat meestal is gerealiseerd in embedded software, leidt tot superieure producten met eigenschappen die zonder deze synergetische combinatie niet mogelijk zouden zijn.

Dit klinkt misschien als abracadabra. Daarom zal ik proberen dit met een paar algemene voorbeelden duidelijk te maken.

In figuur 14 is de ontwikkeling gegeven van de 16 kilo wegende puur mechanische schrijfmachine, waar ik mijn afstudeerverslag op typte (links boven), via de teletype, een mechanisch apparaat met wat elektronica waarmee ik de PDP-9 bij mijn afstuderen kon programmeren (rechts boven), tot aan het virtuele toetsenbord op het scherm van de iPad (rechts onder).



FIGUUR 14 Van schrijfmachine naar virtueel keyboard:
 links boven: schrijfmachine, rechts boven: 'Teletype'
 links midden: IBM bolletje, rechts midden: PC keyboard
 links onder: Apple keyboard, rechts onder: virtueel keyboard iPad

Door toevoegen van elektronica kon IBM de schrijfmachine met het verwisselbare bolletje maken. Voordeel hiervan was dat je heel makkelijk andere lettertypes kon typen. De formules in mijn proefschrift zijn indertijd door de secretaresse met een IBM schrijfmachine met bolletjes geproduceerd. Uiteraard werd printen via een matrixprinter, laserprinter en inktjetprinter steeds flexibeler. Een moderne inktjetprinter, die niet alleen allerlei lettertypes maar ook foto's kan printen is een echt mechatronisch apparaat. Tot voor kort leken de toetsenborden nog erg op de toetsen van de teletype, zoals het 'moderne' PC-toetsenbord in het midden rechts. Apple, linksonder ging een stap verder, met een minimalistisch toetsenbord. Tenslotte staat rechtsonder het (virtuele) toetsenbord van de iPad, dat alleen op het scherm als afbeelding bestaat en dat daardoor heel makkelijk kan veranderen, afhankelijk van de activiteit. De toetsen zijn anders bij het maken van een e-mail dan bij het typen van een stuk tekst. Overigens maakt zo'n iPad in veel gevallen ook het printen overbodig en is dit pas echt het begin van een paperless office. Door toevoegen van elektronica en software kunnen we systemen dus steeds flexibeler en ook goedkoper maken.

Mechatronische kijk op de wereld

Kenmerkend voor mechatronica is dat je zoekt naar oplossingen over de domeingrenzen heen. Soms kan iets beter mechanisch worden opgelost, soms ook beter in elektronica of software. Dat vereist dat ontwerpers van mechatronische systemen multidisciplinair kunnen denken en weten wat er mogelijk is met mechanische, elektronische en software onderdelen van een systeem. In de klassieke regeltechniek gingen we altijd uit van een te regelen proces dat we, door daaraan een regelaar toe te voegen, wilden beheersen. Voorbeelden daarvan zijn bijvoorbeeld een thermostaat die de temperatuur in een kamer constant houdt. Een ander voorbeeld is de eerder genoemde stuurautomaat die een schip op koers kan houden of op een voorspelbare manier van koers kan laten veranderen. Ik zou dit nog geen mechatronica willen noemen. Een echt mechatronisch ontwerp begint met modelvorming, waarbij een abstracte, domeinonafhankelijke beschrijving wordt gemaakt waarmee we kunnen zoeken naar oplossingen over de domeingrenzen heen. In de groep Control Engineering is hiervoor een methode ontwikkeld, 'port-based modelling' waarmee dat gemakkelijk mogelijk is. Het resultaat van een aantal promotieprojecten [48, 55, 56] heeft geleid tot het software pakket 20-sim en een spin-off bedrijf, Controllab

Products, dat 20-sim op de markt brengt en hiermee ook allerlei consultancy projecten uitvoert. Bij Controllab Products werken op dit moment 7 personen.

Voertuigen

Mercedes bracht een aantal jaren geleden een nieuwe auto op de markt, de A-klasse. Bij de zogenaamde elandtest, waarbij de auto snel om een aantal obstakels heen moet zigzaggen, bleek de auto om te slaan omdat met de relatief hoge opbouw, de middelpuntvliedende krachten te groot werden. Dan moet je dus iets bedenken waarmee een tegenwerkende kracht wordt opgewekt, waardoor het omvallen wordt voorkomen. De oplossing, zoals in figuur 15 is daarbij niet echt realiseerbaar.



FIGUUR 15 Mechanische oplossing voor de falende elandtest

We kunnen dan natuurlijk proberen een heel andere auto te ontwerpen. Een andere mogelijkheid is het zoeken naar een oplossing in een ander dan het mechanische domein. Met een *sensor* kunnen we de krachten op de auto meten. Met deze *informatie* kunnen we uitrekenen welke tegenwerkende kracht nodig is om de middelpuntvliedende kracht te compenseren. Als we deze kracht vervolgens met een *actuator* op de auto kunnen uitvoeren, kunnen we voorkomen dat de auto omvalt. Het ontwerpprobleem is dan het kiezen van de juiste sensoren en actuatoren en het vinden van de juiste algoritmes, zeg maar formules, om hetzelfde te bereiken als met steunwielen mogelijk zou zijn. Dit is de gedachte achter systemen zoals ESP (Electronic Stability Programme), die tegenwoordig standaard in alle duurdere auto's zitten.

Nog een stap verder gaat de Segway (figuur 16), een step die, zonder extra hulpmiddelen, als je erop gaat staan onmiddellijk omvalt. Je kunt natuurlijk een derde of vierde wiel toevoegen, maar een mechatronische oplossing is veel eleganter.

FIGUUR 16

Segway: alleen stabiel dankzij Mechatronica.

De elektronica in de Segway meet de hoek die de stuurstang maakt ten opzichte van een gewenste verticale stand, de dubbel uitgevoerde computers bepalen welke krachten er nodig zijn om een afwijking te corrigeren, de twee motoren die direct de wielen aandrijven, zorgen er vervolgens voor dat de Segway de juiste verticale stand behoudt. Door deze *steemaanpak* wordt de realisatie niet gehinderd door mechanische beperkingen. Het totale systeem, de constructie en de besturing zijn als een geheel ontworpen. Het anders noodzakelijke 'derde wiel' is hier virtueel gerealiseerd in software.

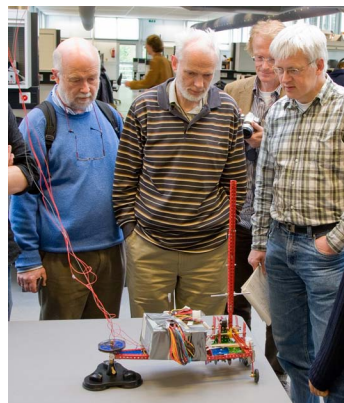


Je zou de Segway kunnen zien als een commercieel product, voortgekomen uit een klassiek regeltechnisch practicum experiment: de balancerende staaf. Op zich lijkt dit een nutteloos, speels experiment, maar het staat model voor, bijvoorbeeld, de Segway (figuur 17).

FIGUUR 17

Balancerende staaf

Resultaat van het mechatronicaproject voor tweedejaars studenten Electrical Engineering. Dit project integreert de theoretische kennis van de vakken Meettechniek, Mechanica en Transductietechniek, Dynamische Systemen en Regeltechniek. In twee weken maken studenten een ontwerp, simuleren dit op de computer en als het haalbaar lijkt, wordt het gerealiseerd met reeds aanwezige (of voor maximaal € 50 gekochte) bouwmaterialen en componenten.



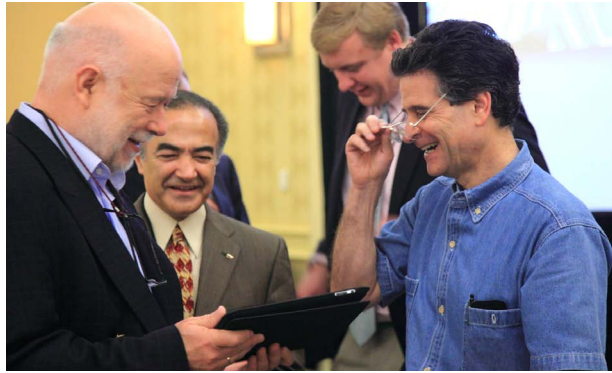
Elektrotechniek kampt met een imagoprobleem. Als je een auto ziet rijden met 'Elektrotechniek' er op, dan is die meestal van een Elektrotechnisch Installatie bureau. Meer een associatie met draden trekken dan met high tech. Daarom noemen we de opleiding tegenwoordig Electrical Engineering. Maar dat neemt niet weg dat veel van die electrical engineering verborgen is, ofwel embedded. Om te laten zien dat electrical engineering er ook is als je het niet ziet, zijn de hoogleraren van Elektrotechniek een paar jaar geleden met zijn allen *in toga op een Segway naar de opening van het academisch jaar gegaan* [83] (figuur 18). Dit trok veel aandacht van de media en het jaar daarop hadden we twee keer zoveel eerstejaars. Ik kan niet bewijzen dat dit door deze stunt kwam, maar zo'n sprong in de instroom hebben we daarna niet meer gezien. Tijd voor een nieuwe stunt?



FIGUUR 18 EE hoogleraren in training voor de opening van het academisch jaar: dat is nog eens een speeltuin

Overigens was ook de uitvinder van de Segway Dean Kamen onder de indruk van dit experiment (figuur 19). Ook hij maakt zich zorgen over het gebrek aan belangstelling van jongeren voor een technische opleiding. Hij heeft daarvoor al in 1989 de *FIRST*[®] organisatie opgericht 'to inspire young people's interest and participation in science and technology' [78]. Winnaars van de door *FIRST*[®] georganiseerde wedstrijden worden door president Obama op het Witte Huis ontvangen!

FIGUUR 19
Dean Kamen
(rechts), de uitvin-
der van de Segway,
bekijkt de foto's
van de opening van
het academisch jaar



Treintjes

Als je van Enschede naar het westen rijdt met de trein, moet er in Deventer altijd worden gekoppeld. Als het een paar graden vriest of het heeft gesneeuwd, levert dit regelmatig moeilijkheden en vertragingen op. We hebben al weer een tijd geleden in een aantal projecten met studenten in een modelspoorbaan gezocht naar alternatieven. Je zou bijvoorbeeld, zoals in figuur 20, de treinen kunnen voorzien van een grote veer, zodat koppelen niet meer nodig is en de achterste trein de voorste gewoon kan voortduwen. Ingewikkelde mechanische koppelmechanismes zijn dan niet meer nodig. De NS zal zo'n oplossing, terecht, niet zien zitten.



FIGUUR 20 Alternatief koppelmechanisme: virtuele veer

Maar we kunnen dit ook mechatronisch aanpakken. Met een *sensor* kunnen we de afstand tussen de twee treinen meten. Met de motoren (*actuatoren*) van de tweede trein kunnen we de snelheid van die trein zo regelen, dat de afstand tussen de twee treinen constant blijft. Daarmee hebben we als het

ware een *virtuele, mechatronische veer* gemaakt. Het werkt precies als een echte veer, alleen zie je hem niet. Voor koppelen is dit misschien niet zo'n praktische oplossing. Maar we kunnen ook aan een variant denken. Als we alle treinen zouden uitrusten met een wat langere (virtuele) veer, zouden we daar botsingen mee kunnen voorkomen. Waarschijnlijk ziet de NS dat ook niet zitten, maar dat heeft meer met conservatisme te maken. Want is dit spelerei of toekomstmuziek? Helemaal niet. Steeds meer auto's hebben tegenwoordig cruise control. Cruise control is in staat om een constante snelheid te handhaven zonder dat de bestuurder zelf gas hoeft te geven. De modernere uitvoering hiervan, vaak '*adaptive cruise control*' (ACC) genoemd, is niets anders dan de zojuist besproken virtuele veer. Zodra een auto met ACC een voorligger nadert die langzamer rijdt, remt de ACC af totdat de snelheid gelijk is aan die van de voorligger en er een veilige afstand is tussen de twee auto's. Ook als er plotseling een andere auto tussen schiet, grijpt de ACC in. ACC is een van de veiligheidsvoorzieningen die tegenwoordig in de wat duurdere auto's aanwezig zijn. Het is nu al zo dat de prijs van zulke auto's voor meer dan de helft wordt bepaald door mechatronica in de vorm van elektronica en software: ABS, ESP, ACC, Parking Assist, airbags. Deze voorzieningen dragen al op een belangrijke manier bij aan het feit dat er de laatste jaren minder ongelukken zijn met een fatale afloop of ernstige gewonden. Sinds kort zijn we in het bezit van een Toyota Prius, die vol zit met deze mechatronische verworvenheden. Ik moet zeggen dat ik vooral van de adaptieve cruise control onder de indruk ben. Dit is een voorbeeld van hoe een paar simpele experimenten met een speelgoedtreintje de basis kunnen zijn voor belangrijke innovaties, al waren we bij deze specifieke ontwikkeling niet direct betrokken.



FIGUUR 21 Adaptive Cruise Control: virtuele veer

Dit is nog slechts een begin van wat mogelijk is. Ik ben er van overtuigd dat een oplossing voor het file probleem, zonder nog meer asfalt, een mechatronische is. Over een aantal jaren zullen we op de snelweg niets anders meer hoeven te doen dan op de iPad-32 de krant lezen. Naast adaptive

cruise control, zullen automatische 'lane-keeping' en 'car-to-car communicatie' er voor zorgen dat de (dan ongetwijfeld elektrische) auto's als door een veer gekoppelde treinstellen zich op een afstand van enkele meters van elkaar met 100 km per uur op een virtuele rails voortbewegen (figuur 21). Hierdoor kan de capaciteit van een weg dramatisch toenemen. En als we het toch over auto's hebben: met de vervanging van de benzinemotor door een elektromotor verdwijnt weer een stuk pure mechanica.

Mechatronica onderzoek aan de UT

Het moment dat ik bij de UT begon als hoogleraar, in 1987, viel samen met het begin van de mechatronica. Zoals gezegd, houdt een expliciet mechatronisch ontwerp in dat je door een oplossing te zoeken in het meest geschikte domein, kunt komen tot een optimaal ontwerp. De UT en een aantal industrieën in Nederland waren echte mechatronica pioniers.

Bij mijn oratie diende ik een subsidieaanvraag van fl. 2,75 miljoen in bij het Ministerie van Onderwijs in het kader van de vernieuwingsgelden met als doel Mechatronica als zwaartepunt aan de UT te ontwikkelen. De toekenning hiervan leidde tot de oprichting van het Mechatronica Research Centrum Twente (MRCT). Om het vak te leren en de samenwerking te bevorderen, maakten we, samen met de collega's Kees Heuvelman, Albert Schoute en Arun Bagchi, studiereizen naar Japan en de VS. Het viel op dat mechatronica in Japan al een hot topic was, terwijl we in de VS steeds moesten uitleggen wat we eigenlijk bedoelden. De subsidie maakte het mogelijk een groot gezamenlijk project te starten. Samen met Rien Koster die vanuit Eindhoven koos voor de mechatronica aanpak bij de UT, werd besloten een mobiele robot te bouwen die zelfstandig navigerend door een fabriek onderweg onderdelen kon verzamelen en daarmee een product assembleren (figuur 22). Belangrijker dan het eindproduct waren de processen er om heen. De in totaal 50 afstudeerders [29] en 4 promovendi [25, 58, 34] die aan het project bijdroegen, werkten in één ruimte, waardoor het idee van een multidisciplinaire aanpak en het zoeken naar de beste oplossingen in de praktijk werd gebracht.

Mechatronica en de daarbij behorende systeemaanpak zijn al die jaren de kern geweest van het onderzoek en onderwijs. Modelvorming met behulp van bondgrafen is hiervan een essentieel onderdeel. Hierdoor is het mogelijk om fysische systemen die zich uitstrekken in verschillende domeinen in een model te beschrijven. Basis hiervoor is het poortconcept: onderdelen van

FIGUUR 22

Mobiele Autonome Robot Twente, kortweg MART [81]

Dit project leidde tot diverse patenten en uiteindelijk tot een indrukwekkende, werkende robot, de Mobiele Autonome Robot Twente, kortweg MART. Zaken als volledig automatisch rijden en adaptieve cruise control waren in deze robot al gerealiseerd. Een van de innovaties was een intelligent regelsysteem dat afwijkingen van de gewenste baan gebruikte om de juiste correcties te *leren*, waardoor de baanvolgnaauwkeurigheid met een factor 10 kon worden vergroot. Dennis Schipper, de projectleider van de MART [34], was later met Peter Rutgers, een van de eerste afstudeerders van de opleiding Mechatronisch Ontwerper, de oprichter van het spin-off bedrijf Demcon.



het model worden met elkaar gekoppeld via vermogenspoorten. Als twee submodellen dezelfde poorteigenschappen hebben, kunnen ze aan elkaar worden gekoppeld, zonder dat je precies weet hoe het submodel er inwendig uitziet. Dit is een heel plezierige eigenschap bij het ontwerpen van een mechatronisch systeem. Tijdens de beginfase van het ontwerp kunnen heel eenvoudige submodellen worden gebruikt. Later kunnen deze submodellen worden vervangen door complexere versies, zonder de structuur (de onderlinge verbindingen van de submodellen) te veranderen.

FIGUUR 23

20-sim:

op zijn Engels uitgesproken: Twente-sim



Reeds voor mijn komst kreeg de UT wereldfaam met het programma TUT-SIM. Dit was een van de eerste simulatieprogramma's die op verschillende platformen, o.a. PC's, beschikbaar waren. Om het poortgebaseerd modelleren en simuleren met bondgrafen te ondersteunen, is onder leiding van Peter Breedveld het programma 20-sim ontwikkeld, waarbij verschillende

promovendi betrokken waren [48, 55, 56, 60, 66, 74]. Het gereedkomen van de PC-versie, in een project samen met de Ou, maakte het programma toegankelijk voor veel gebruikers. 20-sim is uitgegroeid tot een krachtig mechatronisch ontwerpprogramma (figuur 23) [35, 36]. Het wordt door ons spin-off bedrijf Controllab Products, waarvan de groep nog steeds 50% van de aandelen heeft, op de markt gebracht. Resultaten van het onderzoek van het lab vinden nog steeds hun weg in nieuwe versies van 20-sim [70, 72].

Met een goed model kan een goede regeling worden gemaakt. Als echter het model minder bekend is, of de proceseigenschappen variëren tijdens bedrijf, dan kunnen adapterende [10, 47, 24, 49, 26, 53, 54] en lerende regelsystemen [3, 28, 29, 31, 39, 52, 62, 67, 68, 75] zorgen dat het gedrag optimaal blijft. Vooral met lerende feed-forward regelingen zijn onder leiding van Theo de Vries goede resultaten behaald. In promotieprojecten is onderzocht of de poortgebaseerde aanpak ook bij het ontwerpen van regelsystemen kan worden gebruikt. Dit heeft geleid tot agent-based controllers [64, 76].

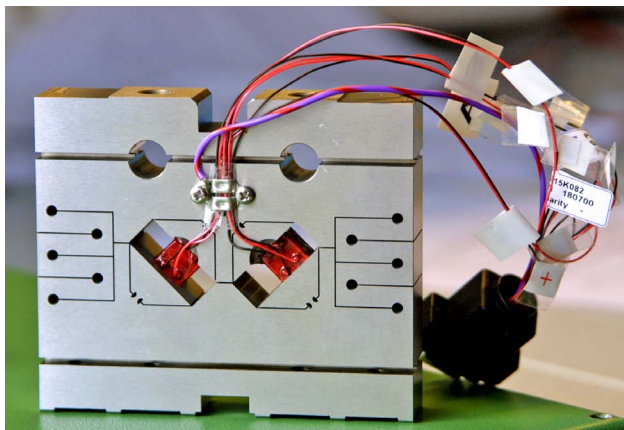
Realisatie van een regelaar gebeurt tegenwoordig bijna altijd in computer hardware. Aan het eind van de jaren '80 was het lab onder leiding van André Bakkers pionier op het gebied van transputers: parallelle computers [18, 51, 57]. Dezelfde ontwerpfilosofie wordt nog steeds gehanteerd in het onderzoek naar embedded control systems onder leiding van Jan Broenink [69, 71, 73].

Mechatronische toepassingen waren er vooral in het kader van projecten met bedrijven, zoals bijvoorbeeld met Van Rietschoten en Houwens, Unilever en Philips. Verder in STW, IOP en EU projecten. Diverse projecten hadden betrekking op het dempen van trillingen [28, 63, 33, 46, 59, 61, 63], bijvoorbeeld in de Wafer Steppers van ASML [65]. Het resultaat van het IOP Smart Disc project is hier een voorbeeld van (figuur 24).

Onderwijs

Onderwijs is altijd belangrijk geweest voor de groep Control Engineering. De groep was populair bij studenten, die vaak na hun afstuderen een baan vonden die direct op de studie aansloot. Met 400+ afgestudeerde ingenieurs en 33 gepromoveerden is daarmee een belangrijke bijdrage geleverd aan de Nederlandse economie, in het bijzonder de mechatronica industrie.

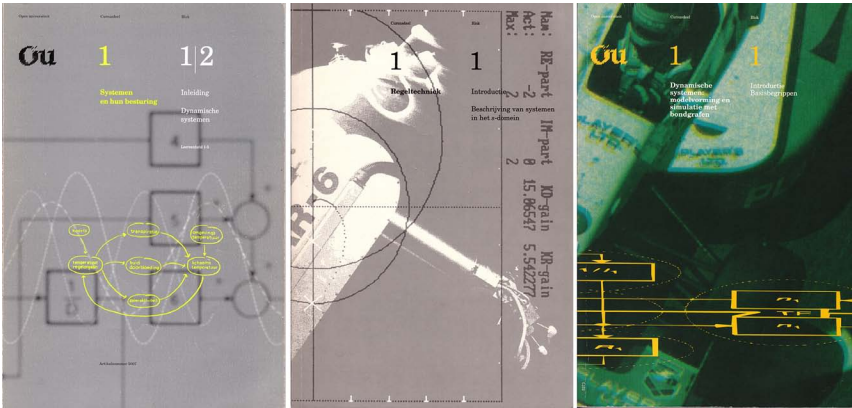
FIGUUR 24
Smart Disc



Ik ben al die jaren 'in' geweest voor experimenten op onderwijsgebied. Ik was betrokken bij een drietal cursussen van de Open universiteit, waaronder de allereerste cursus die in 1984 gereed kwam: '*Systemen en hun besturing*' [7]. Later zijn hier de cursussen '*Regeltechniek*' [20] en, samen met Peter Breedveld, '*Dynamische Systemen*' [27] bij gekomen (figuur 25). De laatste twee zijn sindsdien gebruikt bij het onderwijs aan de UT en diverse andere onderwijsinstellingen. Alle colleges van het basiscollege Regeltechniek staan op het internet, zodat studenten die een college hebben gemist, alsnog het college kunnen beluisteren en bekijken [80].

BIJDRAGEN AAN DE BV NEDERLAND

Naast afstudeerhoogleraar van 400–500 ingenieurs was ik ook promotor of co-promotor van 33 promovendi (figuur 26) [44]–[76]. De promotieprojecten bestreken een breed scala van onderwerpen, uiteenlopend van adaptive control en scheepsbesturing uit de Delftse tijd tot allerlei aan mechatronica gerelateerde onderwerpen (modelvorming, intelligent control, mechatronic design, real-time computer control).



FIGUUR 25 Cursussen in samenwerking met de Open universiteit: Systemen en hun Besturing, Regeltechniek en Dynamische Systemen



FIGUUR 26 33 Proefschriften als (co)promotor [44]-[76]

Van de meeste van deze gepromoveerden heb ik kunnen vinden wat ze op dit moment doen. Wat opvalt is dat ze met hun werk vrijwel allemaal heel dicht bij het onderzoek van de groep zijn gebleven: uiteenlopend van precisie mechatronica, automobiel industrie, scheeps- en offshore automatisering, operatie robots, tot verschillende software functies:

- Sr. Director Systems Engineering at Medtronic CRDM, Greater Minneapolis-St. Paul Area, USA
- Manager Software Development at Assembleon, Eindhoven
- Associate Professor of Embedded Control Systems at University of Twente
- Fellow at ASML, Veldhoven
- Technical Leader - Active Safety - Volvo Cars, Zweden / Adjunct Professor Mechatronics at Chalmers University of Technology
- Director and Owner, imotec b.v., Hengelo
- Manager Product Development at MPS Red Meat Slaughtering B.V.
- Project manager at TNO
- Systems Analyst at Intuitive Surgical, Sunnyvale (CA), USA
- Project Manager Platform Integration at SKF, Nieuwegein
- Advanced process control consultant at Shell Global Solutions
- Technical Consultant at Imtech ICT TS
- Hoofd Informatisering & Automatisering at Raad van State
- Senior requirements engineer at MeteoVista
- Software Architect at Esprit ICT Group
- Product Marketing Manager at ASML
- Senior Consultant Knowledge Management & Innovation at Imtech Marine & Offshore
- Director at ASML
- System Engineering Manager at Thales
- VP Technology (Principal Architect) at Acision

Uit het werk van de afgelopen 24 jaar zijn 3 spin-off bedrijven voortgekomen:

- Demcon, een high-tech mechatronisch ingenieursbureau
- Controllab Products, ontwikkelaar en verkoper van 20-sim en mechatronische consultancy
- imotec, een high-tech mechatronisch ingenieursbureau

CREATIVE TECHNOLOGY

Toen de decaan mij een paar jaar geleden vroeg om mee te gaan werken aan het opzetten van de nieuwe Engelstalige opleiding Creative Technology, kortweg CreaTe, heb ik zonder aarzelen ja gezegd. Daar gebeurt eigenlijk alles wat ik leuk vind: nieuwe technische dingen, die er ook nog mooi uitzien, van web design en leuke gadgets tot aan nuttige ontwerpen voor de 'aging society', waar ik nu zelf ook naar op weg ben. De basisgedachte is dat heel veel technologie gewoon te koop is. Je moet alleen nog het goede idee krijgen om deze componenten creatief te combineren tot leuke, mooie en nuttige systemen. Kennis van dynamische systemen, zoals mijn vak in het curriculum heet, is daarbij belangrijk, maar het gebied is veel breder en het was een uitdaging en ontzettend leuk om daar de afgelopen jaren aan mee te werken en daarbij samen te werken met collega's met een geheel andere achtergrond: Angelika, Zsofia, Anton, Gerrit, Chris, Edwin en Hans.

Het leuke van dit werk is, dat ik vind dat je zelf ook zoveel mogelijk van deze nieuwe technologie moet testen. En dat heb ik al die jaren dan ook gedaan. Ik acht mezelf een early adopter en een prosumer. Dat je dan ook wel eens wat onhandigheden voor lief moet nemen, hoort daarbij. Gerda heeft daar af en toe wel onder geleden, al moet ik zeggen dat ze in veel gevallen daarna ook een enthousiast gebruiker werd van deze nieuwigheden. Ik kan niet nalaten een paar voorbeelden te noemen. Ook omdat er in een aantal gevallen nog een schone taak ligt voor Creative Technology.

Video

In 1984 kocht ik mijn eerste video camera. Geen camcorder maar een camera met losse recorder, verbonden met een dikke kabel (figuur 27). Alleen de accu's voor die twee apparaten waren al zwaarder en volumineuzer dan een moderne HD camcorder. Er moest op vakantie een extra koffer mee om dit spul te vervoeren. Maar ik heb nog wel films uit die tijd.

We hadden op het lab ook al heel snel een videomontage systeem op de computer. Onze oudste videofilms zijn daarmee door Roger Bruis en mij in de avonduren geproduceerd. Veelvuldig het resultaat wegschrijven was belangrijk om niet alles door de regelmatig optredende crashes kwijt te raken. Geluid was nauwelijks synchroon te krijgen, en een simpele overvloeier van 1 seconde duurde minstens een minuut om uit te rekenen. Nu doe je dit soort zaken in real time en in HD kwaliteit op je iPhone.



FIGUUR 27 Early adopter: video systeem met losse componenten



FIGUUR 28 Early adopter: ons GPS systeem in Australië

Navigatie

Toen we in 1999 op sabbatical naar Australië gingen, moest de TomTom nog worden uitgevonden en had ook de Aldi nog geen organisers met navigatie in de aanbieding. Er waren al wel losse GPS-ontvangers. Ik was daar toch wel door gefascineerd en wist Gerda te overtuigen dat we zonder zo'n ding beslist zouden verdwalen in de Outback. Met behulp van een Garmin GPS die met een veter aan de spiegel was geknoopt en ingescande kaarten op de Libretto mini laptop bij Gerda op schoot, hebben we zo ons eigen navigatiesysteem gemaakt (figuur 28):

Dankzij de TomTom of een ingebouwd navigatiesysteem is dat natuurlijk allemaal handiger tegenwoordig. Maar ja, als je ook nog aan 'geotagging' [81] wilt doen en wilt kijken of je iPhone met TomTom kaarten dezelfde navigatieprestatie levert, ziet je auto er toch al snel weer hetzelfde uit (figuur 29). Er valt hier nog wel wat ontwikkelingswerk te doen. Gelukkig heeft Gerda zich er al lang bij neergelegd dat ik nu eenmaal gek ben van deze moderne vorm van kaart en kompas.



FIGUUR 29 10 jaar later, geotagging [81] en iPhone versus TomTom

Home automation

Home automation is een onderwerp waar we vast nog wel veel over zullen horen de komende jaren. Wasautomaten en vaatwassers zijn zo langzamerhand volwassen producten, maar op het gebied van volautomatisch bedienen van de verlichting of huishoudrobots is nog wel wat vooruitgang nodig. En als early adopters, spreken we uit ervaring. Automatische schakelklokken, die op vaste tijden het licht aan- en uitschakelen is natuurlijk technologie uit de vorige eeuw. Daarom heb ik me een paar jaar geleden in de vakantie op een slimmer systeem van Marmitek gestort. Het werkt met signalen via het lichtnet volgens het zogenaamde X-10 protocol. Het systeem bestaat uit een vanuit de PC programmeerbare unit (figuur 30), die signalen kan uitzenden naar stopcontact units, lampunits of inbouw elementen die achter een gewone schakelaar kunnen. Als het potje in de muur tenminste diep genoeg is, anders geeft dat een hoop gemopper. Je kunt het licht met zonsondergang aan laten gaan en bijvoorbeeld tussen 23:00 en 24:00 uur op een willekeurig moment uit laten gaan. Alle units zijn onafhankelijk van elkaar te programmeren. Ideaal om inbrekers te misleiden als je op vakantie bent. Zelfs aan de eis van Gerda dat alles ook nog handmatig te bedienen moet zijn, voldoet het systeem. Helaas is het ook gevoelig

voor signalen die niet uit de centrale unit komen. Bij voorkeur als we op vakantie gaan. De burens klagen dat op de meest vreemde tijden midden in de nacht of overdag ons licht aangaat. Het probleem is min of meer opgelost door in het programma op tijden dat het licht in ieder geval niet moet branden, ieder uur alle verlichting uit schakelen. Sindsdien horen we geen klachten meer, maar ook hier is nog het nodige te verbeteren.



FIGUUR 30 Home automation: programma voor de verlichting

Huishoudrobots

Tenslotte nog een voorbeeld dat laat zien dat een goed mechatronisch ontwerp niet per se wordt verkregen door veel elektronica en software toe te voegen aan de mechanica. Toen enige tijd geleden de Roomba stofzuigrobot (figuur 31) beschikbaar kwam, wilden we natuurlijk, in navolging van onze dochter, ook zo'n apparaat testen. Het is inderdaad een geweldige robot. Vanaf het laadstation beweegt hij zich al rolvend en stofzuigend door de kamer, daarbij met detectoren obstakels vermijdend en rondjes draaiend als er ernstige vervuiling wordt geconstateerd. Als hij het genoeg

vindt en het laadstation is in zicht, gaat hij zelfs vanzelf weer terug naar de basis om zich weer op te laden voor de volgende ronde. Ideaal om als je er niet bent de kamer te laten zuigen. Maar ook hier zijn we misschien weer een te early adopter. Snoeren vindt hij heerlijk die probeert hij in zijn stofmagazijn te proppen. Onze radiator hangt een heel klein beetje scheef. Rechts kan de Roomba er precies onder, maar links kan hij er niet meer onderuit. Dus vergeet dat onbewaakt stofzuigen maar, tenzij je de kamer helemaal verbouwt. En dan vergeet ik nog maar dat verhaal van een kat, die zo schrok van de Roomba dat ze op het tapijt poeptte. De poep werd vervolgens door de Roomba keurig over het tapijt uitgesmeerd.



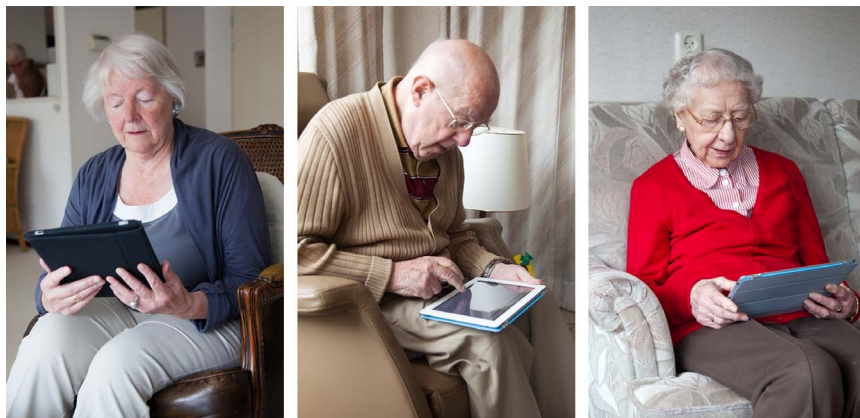
FIGUUR 31 Robotstofzuiger Roomba en Robomop
Snoeren en roosters van de radiatorput leveren nog problemen op

Dan is de Robomop, een soort robot stofdoek, een veel simpeler –en voor glatte vloeren minstens zo effectief– ontwerp. Bovendien werkt hij vrijwel geruisloos. De Robomop bestaat uit een bal met daarin een motor die de

bal doet rollen binnen een kooi waaraan een soort 'Swiffer' is bevestigd. Het ding gaat met een snelheid die een stuk hoger is dan de Roomba via een willekeurig patroon door de kamer. Hij heeft nauwelijks sensoren, maar verzamelt prima het stof. Hoe simpeler hoe beter, al zal de Robomop geen stukjes papier of koekkrumels verwijderen. Ook hier is nog de nodige verbetering mogelijk.

iPads

Een prachtig voorbeeld van Creative Technology is de iPad. De iPad combineert geavanceerde technologie met een buitengewone gebruiksvriendelijkheid door een innovatieve interface. Het is een uitdaging om dit soort technologische oplossingen te ontwikkelen op allerlei gebieden. Ik heb altijd het standpunt verdedigd dat apparaten waarvan je de handleiding moet lezen eigenlijk niet goed zijn ontworpen. Mijn omgeving is altijd een test terrein geweest voor dit soort innovaties. Het is opvallend om te zien hoe mijn (schoon)ouders in de leeftijd van 88-93 zonder veel moeite de iPad weten te gebruiken, ook al had mijn schoonmoeder nog nooit eerder een computer aangeraakt. Nu geniet ze van het ontvangen en versturen van e-mailtjes, googelen en radio luisteren via de iPad. En voor kleine kinderen is het al niet anders. Ook onze kleindochter van 2 jaar weet probleemloos met het touch screen om te gaan. Dat is nog eens high tech, human touch!



FIGUUR 32 Voor oud ...

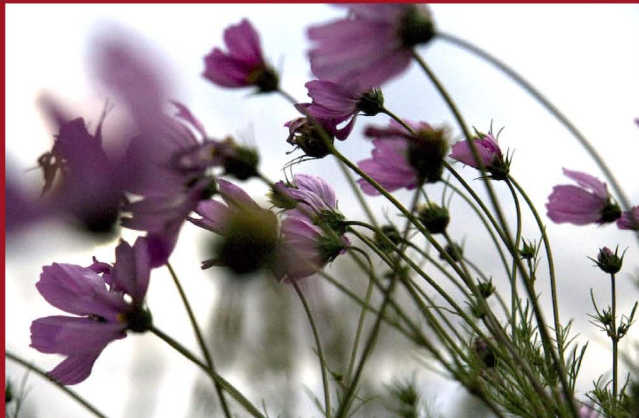
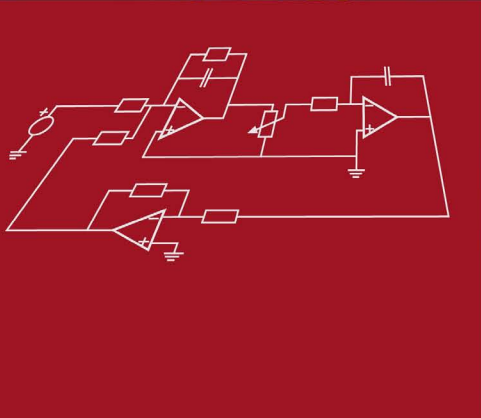
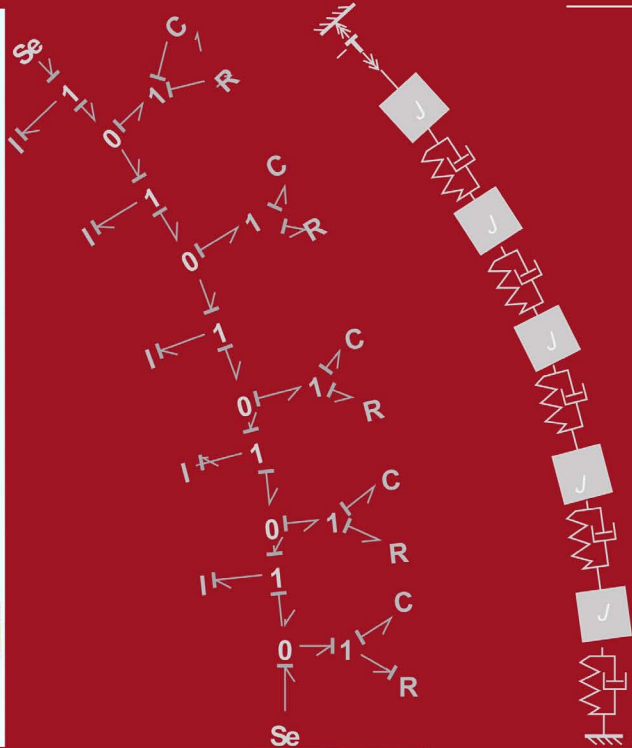
FIGUUR 33
... en jong

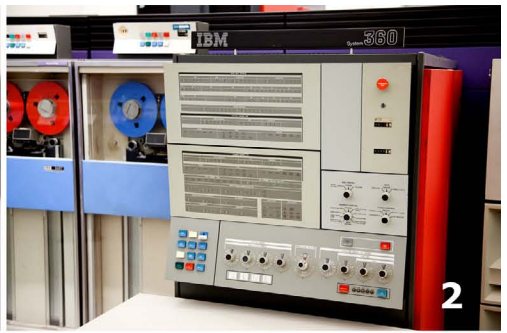
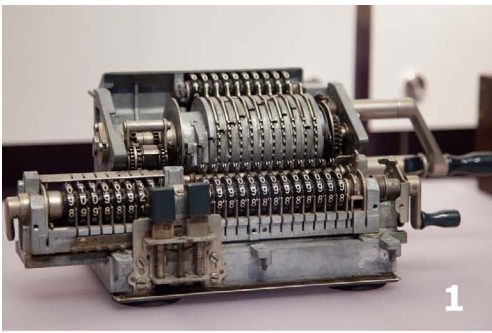
Dynamical Systems

Mijn vakinhoudelijke bijdrage aan de opleiding Creative Technology is het eerstejaarscollege 'Dynamical Systems'. De uitdaging is hier om een technisch vak zodanig aan te bieden dat het ook voor studenten zonder bèta-achtergrond van het VWO te begrijpen is. De voorpagina van het boek 'Dynamical Systems' dat ik hiervoor heb geschreven (zie figuur op bladzijde 41) vat veel van mijn werk van de afgelopen jaren samen [41]. Deze voorpagina laat zien hoe de poort-gebaseerde modelvorming een verrassende kijk geeft op systemen van totaal verschillende aard. Voor het programmeer onderwijs van Creative Technology wilde Angelika Mader wat bloemen laten programmeren en ze vroeg mij hoe ik het zou aanpakken om die natuurlijk te laten bewegen. Als je daar over nadenkt, dan kun je die bloemen beschrijven als een aantal massa's die via veren met elkaar zijn verbonden. Dat is in de figuur helemaal rechts weergegeven. Als je aan dit systeem wilt rekenen of formules wilt vinden, is het handig een, nog wat abstractere, bondgraaf te tekenen, die in het midden is aangegeven. Maar bijna dezelfde bondgraaf kan ook worden gebruikt om het veergedrag van de MART robot te beschrijven (figuur 22). Tenslotte kunnen we het gedrag van al die systemen ook nog simuleren met de elektrische schakeling links onder.

Dynamical Systems for Creative Technology

Job van Amerongen





FIGUUR 35 1) telmachine bij de ETV, 2) afstuderen: IBM-360 met
3) ponskaarten, 4) PDP-9, 5) eerste IBM-PC,
6) tijdens promotie: PDP-11, 7) 'laptop', 8) iMac

TERUGBLIK

Tijdens mijn hele loopbaan heeft de computer een belangrijke rol gespeeld. Veel van het werk zou niet mogelijk geweest zijn zonder de enorme ontwikkelingen op het gebied van computers. In het **Computer History Museum** (figure 36) in Mountain View in California, waar we de laatste tijd regelmatig op bezoek gingen bij Renée, staan eigenlijk alle computers die ik tijdens mijn loopbaan heb gebruikt (figuur 35). Een bezoek aan dit museum is beslist aan te raden. Behalve de toegenomen rekenkracht is ook de prijsdaling cruciaal geweest. Het ringkern werkgeheugen van de PDP-9 computer (in de manshoge kast rechts in figuur 35-4) waar ik tijdens mijn afstuderen op werkte, kostte ongeveer € 50 000 voor 16 kB. Dat is 3 miljard € voor 1 GB. 1 GB werkgeheugen kost nu in de orde van € 50, een factor 60 miljoen goedkoper. De mogelijkheden om met deze intelligentie wat te doen, zijn tegenwoordig bijna oneindig. Wat nodig is, is de creativiteit en de kennis om hier zinvolle, nuttige en leuke dingen mee te doen.



FIGUUR 36 **Computer History Museum** [79]

Ik heb er zelf al die jaren veel plezier aan beleefd om zowel op het gebied van hardware als software vooraan te lopen. Ik denk dat het ook hoort bij de nieuwsgierigheid van een wetenschapper om te experimenteren met de nieuwste mogelijkheden op je vakgebied. Dit leeft op gespannen voet met standaardisering die bestuurders of 'ambtenaren' vaak nastreven. Een standaard is altijd gebaseerd op techniek uit het verleden en remt de 'vooruit-

gang'. En die is niet tegen te houden. Uiteraard is standaardisering in veel gevallen nodig, maar initiatieven om nieuwe mogelijkheden te onderzoeken moeten aan een universiteit gestimuleerd en niet onderdrukt worden. Het world wide web is daar het beste voorbeeld van. Het is een bron voor creative technology. Als decaan heb ik ooit nog eens een brief geschreven dat de faculteit Elektrotechniek zich niets zou aantrekken van de verordening dat Gopher de internet standaard zou moeten zijn voor de UT. Het world wide web was toen al in opmars en Gopher was binnen een jaar na die verordening totaal obscuur geworden.

Smart Grids

Het is interessant om te zien hoe sommige onderwerpen waar ik me in het verleden mee heb beziggehouden weer heel actueel worden. Als we op grote schaal alternatieve vormen van elektriciteitsopwekking gaan realiseren, met behulp van windmolens, zonnecellen, of CV-ketels met warmtekracht koppeling, en dat ook nog eens gaan combineren met een toenemend verbruik, bijvoorbeeld van elektrische auto's, dan hebben we soortgelijke technieken nodig als ik bij mijn afstuderen gebruikte. Meer dan tot nu toe, zullen we moeten zorgen dat het verbruik is aangepast aan de productiemogelijkheden op een bepaald moment. Misschien kan het laden van die accu's van de elektrische auto of het koelen van de vriezer wel even wachten als er te weinig productiecapaciteit is. Die auto kan zelfs energie terugleveren aan het net, als er te weinig productiecapaciteit of een stroomstoring is. Nissan meldde recent experimenten waarbij de Nissan Leaf in zo'n geval het huis twee dagen van stroom kan voorzien. Ook hier speelt de dynamica, dat wil zeggen wat er in het verleden is gebeurd en wat we voor de nabije toekomst verwachten een belangrijke rol. Als we een betrouwbare elektriciteitsvoorziening willen handhaven, met allerlei van die niet altijd betrouwbare bronnen, dan speelt naast economische factoren een goede technische infrastructuur van het totale *systeem* een belangrijke rol. Elektriciteitsnetwerken die hier toe in staat zijn, noemen we Smart Grids. Het probleem van het optimaliseren van de elektriciteitsproductie en van de frequentie-vermogensregeling, waar ik tijdens mijn afstuderen aan werkte, komt weer helemaal terug bij het optimaliseren van Smart Grids. Het probleem is complexer dan toen, maar omdat in de loop der jaren de rekenkracht en flexibiliteit van computers enorm is toegenomen, zijn we nu in staat om dit soort systemen ook te realiseren.

Er is een echte systeemaanpak nodig om kleinschalige opwekking bij particulieren, via warmte-kracht installaties en zonnecellen en via windmolens optimaal te combineren met waterkrachtcentrales in Noorwegen, zodat de betrouwbaarheid en kwaliteit van de energievoorziening daarbij wordt gehandhaafd.

DE TOEKOMST

Net als bij de automatische snelweg, waarbij de automobilist met zijn auto onderdeel wordt van een systeem waarbij anderen of computers de snelheid bepalen, zal ook bij Smart Grids centraal worden beslist tot welke temperatuur en wanneer de vriezer moet koelen, wanneer de (elektrische) auto mag laden of misschien zelfs lading terug moet leveren aan het net. Om die apparatuur bij gebruikers te kunnen schakelen, zal deze apparatuur verbonden moeten zijn met het internet. In de toekomst zullen veel meer apparaten en 'dingen' met het internet zijn verbonden. We spreken dan van het 'internet of things'. En daarmee is de cirkel rond: het 'internet of things' is Creative Technology.

Mechatronica zal de komende jaren een belangrijk vakgebied blijven. Toenemende rekenkracht, energiezuinige en kleine elektronica zullen meer en meer een rol spelen als aanvulling op mechanische constructies of die zelfs geheel vervangen. Solid-state geheugens zullen tapes en harde schijven vervangen net zoals de mechanische typemachine vervangen kan worden door een (virtueel) toetsenbord. Drukwerk zal worden vervangen door e-paper. Als je er aan gewend bent, leest de krant of een tijdschrift prettiger op een iPad dan op papier. Daarom is er uiteraard ook een elektronische versie van dit boekje beschikbaar, met extra mogelijkheden, zoals het direct bekijken van (een deel van) de referenties, [colleges](#) en [videos](#) [80, 81].

Voor Creative Technology ligt er een uitdaging om de technische mogelijkheden die er al zijn en nog zullen komen, te gebruiken in systemen die vooral rekening houden met de gebruikers. Technologie zal meer en meer onzichtbaar worden, omdat systemen vanuit een gebruikersperspectief worden ontworpen. ICT systemen zullen naast robotachtige systemen een belangrijke bijdrage gaan leveren om ouderen langer zelfstandig te laten wonen.

Bij het testen van de adaptieve stuurautomaat is indertijd veel aandacht besteed aan de user interface van het bedieningspaneel. Ik ben van mening dat dit heel belangrijk is. Als het noodzakelijk is om de handleiding van een apparaat vaker dan een keer of zelfs überhaupt te bestuderen, kun je zeggen dat het apparaat eigenlijk fout is ontworpen. Creative Technology en slimme schermen kunnen hier nog veel betekenen. Interfaces voor computers kunnen een totaal ander uiterlijk krijgen, zoals bijvoorbeeld bij de Nabaztag.

FIGUUR 37
Nabaztag

De Nabaztag is een Nijntje-achtig konijn dat met soortgenoten (en daarmee met hun eigenaren) waar dan ook ter wereld kan communiceren door de stand van de oren door te geven. Verder kan de Nabaztag e-mails of e-books voorlezen of internet radio stations en doorgestuurde boodschappen ten gehore brengen. De Nabaztag is een voorbeeld van het internet of things, waarbij de meest onwaarschijnlijke voorwerpen straks met het internet verbonden zullen zijn.



Dichter bij de computer, maar ook een apparaat dat zonder handleiding direct is te gebruiken en bedienen, is de iPad. Met de juiste apps is de iPad een universele user interface. De iPad of iPhone is net zo gemakkelijk een remote voor audio- en video apparatuur [84], als voor de **besturing van een 'quadrikopter', zoals de Parrot Drone** [85].

Veel van deze ontwikkelingen zal ik aan mijn opvolgers en aan de opgeleide promovendi en afgestudeerden moeten overlaten, maar ik hoop daar zelf ook nog actief aan bij te dragen.

Uit de opsomming van de 'bijna' werkende innovatieve zaken bij ons in huis zal het duidelijk zijn dat ik in ieder geval daarmee de komende tijd nog bezig kan zijn. Daarnaast hoop ik nog een paar promovendi tot de doctorstitel te begeleiden en zal ik nog actief blijven bij het CreaTe onderwijs. Op de een of andere manier hoop ik ook nog een poosje van de input van studenten gebruik te kunnen maken. Dat zijn allemaal slimme mensen. En ik heb altijd geprobeerd net zo veel van de studenten te leren als zij van

mij. Daarnaast wil ik me nog gaan bezighouden met het schrijven van een of meer boeken die 20-sim ondersteunen in samenwerking met Controllab Products. Reizen hebben we samen regelmatig gedaan, dus dat zal ook wel een activiteit blijven. Voor mijn hobby fotograferen hoop ik ook wat meer tijd te krijgen. Er liggen ook nog een paar ongelezen boeken te wachten over het ontwikkelen van apps voor de iPhone en iPad om gelezen en in de praktijk gebracht te worden. Ik realiseer me dat dit eigenlijk alweer te veel is.

Er is nog genoeg om naar uit te kijken. En hoe kan ik dat beter illustreren dan met het weidse uitzicht van mijn oude kamer op vloer 8 van de Hogekamp in herfstkleuren (figuur 38). De bibliotheek geeft aan dat ik geen afscheid neem van de wetenschap, het bos maakt duidelijk dat er ook nog heel veel andere mooie en nog onbekende dingen zijn om naar uit kijken.



FIGUUR 38 Uitzicht vanaf vloer 8 van de Hogekamp:
nog veel moois om naar uit te kijken

DANKWOORD

Als ik nog eens terugkijk op al die jaren is er veel gebeurd en best wel veel gepresteerd. Maar zoiets doe je niet alleen. Ik heb altijd de Nederlandse constructie van een vakgroep met een groepsbelang zeer gewaardeerd. In het bijzonder wil ik hier noemen Peter Breedveld, Jan Broenink, Edwin Dertien, Angelika Mader, Gerben te Riet o.g. Scholten, Marcel Schwartz, Theo de Vries en Alfred de Vries. En ook de oud collega's, André Bakkers, Peter Löhnberg, Gerrit Strecker, Rien Koster, Herman Soemers en de veel te jong overleden Roger Bruis. Jullie waren allemaal heel anders en dat maakte de samenwerking juist zo interessant. Uiteraard ook mijn dank aan

de promovendi [44]–[76], die ik hier niet allemaal bij naam kan noemen. Control Engineering was altijd populair bij studenten. Dat komt natuurlijk omdat het een fascinerend vakgebied is, maar ook omdat het gewoon een heel gezellige groep is. En daarin speelt het secretariaat een belangrijke rol. Jolanda Boelema en vooral Carla Gouw die bijna 10 jaar mijn secretaresse was: hartelijk dank voor deze bijdragen aan de sfeer en voor de geweldige ondersteuning die ik altijd heb gekregen.

Stefano, jij hebt twee jaar geleden de voorzittershamer van mij overgenomen. Het onderzoek gaat daarmee een iets andere richting op en dat is maar goed ook. Het zou niet best zijn als alles bij het oude zou blijven. Jij hebt al twee enthousiaste nieuwe medewerkers aangenomen, Raffaella Carloni en Sarthak Misra, die mee zullen helpen bij het robotica en medische robotica onderzoek. Stefano en ook alle anderen, ik kom graag de komende tijd nog regelmatig langs en jullie kunnen altijd nog een beroep op mij doen. Als ik het leuk vind, zeg ik misschien wel ja. Maar ik beloof dat ik jullie niet voor de voeten zal lopen.

Ik dank ook alle collega's van Elektrotechniek die mijn werk, indertijd als decaan en meer recent als afdelingsvoorzitter, zo aangenaam hebben gemaakt. Het was een genot om eens per maand met jullie tijdens de lunch het wel en wee van Elektrotechniek te bespreken. De samenwerking met alle mensen van het faculteitsbureau en met de collega's in het MT, in het bijzonder met Ton Mouthaan, eerst als onderwijsdecaan en later als decaan is altijd heel plezierig geweest. Allemaal bedankt daarvoor.

Mijn ouders die hier niet aanwezig zijn omdat dat allemaal te vermoeiend zou zijn, dank ik voor de steun die ze me altijd hebben gegeven.

Mijn dochters, Renée en Shoshanna bedank ik voor het delen in de lusten en lasten van mijn werk. Onze vakantiebestemmingen werden vaak bepaald door de congressen die ik moest bezoeken, maar die brachten ons wel in Amerika, Australië en Japan. Zo erg was het dus ook weer niet. De pittige discussies die we vaak hadden tijdens de maaltijden (en nu nog vaak via Skype of FaceTime), hielden ons allemaal scherp. Bedankt daarvoor.

Duobaan

Ik heb altijd gezegd dat ik samen met Gerda een duobaan had. Met je hobby 'koken' zorgde je er niet alleen voor dat ik iedere dag met plezier naar huis ging om van een **vaak nieuw gerecht te genieten** [86]. Ook veel buitenlandse bezoekers van het lab hebben daarvan genoten.

Je hebt mij altijd bij *alles* geholpen. Er zijn weinig stukken van mijn hand de deur uitgegaan die jij niet minstens een keer hebt gelezen. Dat gold voor papers of visitatierapporten, maar ook voor bijvoorbeeld de Ou cursussen, waar jij vaak de formules tikte. Als de secretaresse ziek was, tijdens de organisatie van een congres, sprong jij in, zodat je vervolgens, als je tijdens het congres als fotograaf optrad, alle sprekers als geen ander al bij naam kende. Zonder jou had ik dit allemaal niet kunnen doen.

Hartelijk dank daarvoor!



FIGUUR 39 Duobaan: Gerda helpt mee bij de organisatie van het Mechatronics 2002 Congress



FIGUUR 40 Duobaan

Index

- 20-sim, 20, 28, 47
- Adapterende regelsystemen, 28
- Adaptieve StuurAutomaat (ASA), 13, 14
- Adaptive cruise control (ACC), 25
- Afdelingsvoorzitter, 6
- Agent-based controllers, 28
- apps, 47
- Balancerende staaf, 22
- Ballen van Watt, 11
- Bedieningspaneel, 16, 46
- Brandstofbesparing, 14
- car-to-car communicatie, 26
- Centrale Hemweg, 2
- COCUREL, 5
- Computer History Museum, 43
- Controllab Products, 20, 28, 31, 47
- CreaTe, 6, 32
- Creative Technology, 6, 32, 40, 46
- Cruise control, 25
 - adaptive, 25
- Decaan, 5
- DECLAB, 14
- Demcon, 27, 31
- Drebbel Institute for Mechatronics, 6
- Duobaan, 49
- Dynamical Systems, 40, 41
- Dynamische Systemen, 22, 29, 30
- Embedded control systems , 28
- ETV, 1
- FIRST®, 23
- Frequentie-vermogensregeling, 11
- Geotagging, 34, 35
- GPS, 34
- High tech, human touch, 38
- Home automation, 35
- Huishoudrobots , 36
- IBM-PC, 42
- IBM360, 42
- iMac, 42
- Imagoprobleem, 23
- Imotec, 31
- Internet of things, 45
- iPad, 18, 38
- KIM, 13
- KM, 12, 13, 17
- Koninklijke Marine, 2, 12
- Lerende regelsystemen, 28
- Libretto, 34
- Loodsboot Capella, 12
- LSI-11 DECLAB, 14
- M-fregatten, 17
- MARIN, 14
- Marmitek, 35
- MART, 26, 27, 40
- Mechatronica, 4
- Mechatronica (definitie), 18
- Mechatronica Research Centrum Twente, 4
- Mechatronicaproject, 22
- Mechatronisch Ontwerper, 5
- Medische robotica, 48
- Militaire dienst, 2, 12
- Modelvormen, 2-4

- MRCT, 4
- Nabaztag, 46
- Navigatiesysteem, 34
- Observator, 16
- Open universiteit, 29
 - Dynamische Systemen, 29, 30
 - Regeltechniek, 29, 30
 - Systemen en hun besturing, 29, 30
- Opening academisch jaar, 23
- Optimale productie van elektrische energie, 7
- Optimaliseren, 2–4
- Optimalisering, 3
- Parallele computers, 28
- PDP-11, 42
- PDP-9, 13, 42, 43
- Poolster, 14
- Port-based modelling, 20, 40
- Portefeuillehouder onderzoek, 3
- Promotie, 3
- Promovendi, 29
- Quadrikooper, 46
- Regelen, 2–4
- Regeling, 3
- Regeltechniek, 22, 29, 30
- Replenishment At Sea (RAS), 16
- Robomop, 37
- Robotica, 48
- Roomba, 36
- Rudder Roll Stabilisation (RRS), 3, 17
- Sabbatical, 6
- Segway, 22
- Smart Disc, 28, 29
- Smart Grids, 44, 45
- Spin-off bedrijf, 20, 31
- Stofzuigrobot, 36
- Stoommachine, 11
- Systemen en hun besturing, 29, 30
- THD, 2, 3
- Transputers, 28
- Trein
 - koppelen, 24
- TUD, 3
- TUTSIM, 27
- Tydeman, 14
- User interface, 46
- UT, 3
- Van Rietschoten en Houwens, 3, 17
- Vernieuwingsgelden, 26
- Video, 33
- Virtueel toetsenbord, 20
- Virtuele veer, 24, 25
- Watt reguleur, 11
- Zeefakkel, 13

Bibliografie

- [1] Amerongen, J. van and A.J. Udink ten Cate, *Model reference adaptive autopilots for ships*. Automatica, vol. 11, Pergamon Press, pp. 441-449, 1975.
- [2] Amerongen, J. van, H.C. Nieuwenhuis and A.J. Udink ten Cate, *Gradient based model reference adaptive autopilots for ships*. Proceedings 6th IFAC World Congress, Boston/Cambridge, USA, 1975.
- [3] Amerongen, J. van, H.R. van Nauta Lemke and J.C.T. van der Veen, *An autopilot for ships designed with fuzzy sets*. Proceedings 5th IFAC/IFIP Conference on Digital Computer Applications to Process, Control, The Hague, The Netherlands, 1977.
- [4] Amerongen, J. van and G. Honderd, *Power Frequency Control in a System of Coupled Generating Units - Conventional versus Adaptive Approach*. Proceedings of the 19th IEEE Conference on Decision and Control, Albuquerque, New Mexico, USA, pp. 1208-1213, 1980.
- [5] Amerongen, J. van and J.C.L. van Cappelle, *Mathematical modelling for rudder roll stabilization*. 6th Ship Control Systems Symposium, Ottawa, Canada, 1981.
- [6] Amerongen, J. van, *A model reference adaptive autopilot for ships - Practical results*. Proceedings 8th Triennial IFAC World Congress, Kyoto, Japan, 1981.
- [7] Amerongen, J. van, W.F. de Goeij, J.M. Moraal, J.W. Ort and A. Postuma, *Measuring the steering performance of ships during full-scale trials and model tests*. International Shipbuilding Progress, vol. 28, no. 320, april, pp. 83-89, 1981.
- [8] Amerongen, J. van, *Adaptive steering of ships: a model-reference approach to improved manoeuvring and economical course keeping*. PhD thesis, Delft University of Technology, p. XII, 195, 1982.
- [9] Amerongen, J. van, G. Honderd, G.B.H. Jacobs and J. Wielart, *Economically optimizing the generation of electrical power on board ships*. Proceedings published by North Holland Elsevier, 4th ISSOA International Symposium on Ship Operation Automation, Genova, Italy, pp. 245-254, 1982.

- [10] Amerongen, J. van and G. Honderd, *Design of model-reference adaptive systems - a comparison of the stability and the sensitivity approach*. Proceedings published by Pergamon Press, IFAC Workshop on Adaptive Systems in Control and Signal Processing, San Francisco, CA., USA, 1983.
- [11] Amerongen, J. van, *Adaptive steering of ships - a model reference approach*. *Automatica*, vol. 20, no. 1, Pergamon Press, pp. 3-14, 1984.
- [12] Amerongen, J. van, *Adaptive steering of ships - a model reference approach*. in: A Volume in the IEEE Press, Selected Reprint Series, IEEE Press, pp. 367-378, 1986.
- [13] Amerongen, J. van, e.a., *Systemen en hun besturing, deel I, II, III en IV*. Cursus van de Open Universiteit, (ISBN 90 358 0011 7), Heerlen, p. 693, 1984.
- [14] Amerongen, J. van, H.W.M. Barends, P.J. Buys, and G. Honderd, *Modeling and control of a 180 MW power system*. IEEE Transactions on Automatic Control AC-31 (1986) no. 9, pp. 874-877, 1986.
- [15] Amerongen, J. van, H.R. van Nauta Lemke and P.G.M. van der Klugt, *Adaptive Control Aspects of a Rudder Roll Stabilization System*. Proceedings 10th IFAC World Congress, München, W.-Germany, July 27-31, 1987.
- [16] Amerongen, J. van, *Ship Steering, Model Reference Adaptive Control*. Systems and Control Encyclopedia, Vol. 6, Pergamon Press, pp. 4275-4277, 1987.
- [17] Amerongen, J. van, P.G.M. van der Klugt and H.R. van Nauta Lemke, *Rudder roll stabilization for ships*. *Automatica*, vol. 26 no. 4, pp. 679-690, 1990.
- [18] Bakkers, A.W.P. and J. van Amerongen, *Transputer based control of mechatronic systems*. Proceedings 11th IFAC world congress, Tallin, Estonia, USSR, 1990.
- [19] Butler, H., G. Honderd and J. van Amerongen, *Model reference adaptive control of gantry crane model*. IEEE Control Systems Magazine, 1990.
- [20] Amerongen, J. van, *Regeltechniek, Deel I, II, III en IV*. Open universiteit, Heerlen, p. 807, 1990.
- [21] Amerongen, J. van, *Ships: Rudder Roll Stabilization*. Systems and Control Encyclopedia, vol.1, Pergamon press, p 6, 1990.
- [22] Amerongen, J. van, *Ship Steering: model-reference adaptive control*. Concise Encyclopedia of Traffic and Transportation Systems, Pergamon Press, pp. 459-461, 1991.
- [23] Amerongen, J. van, *Ship rudder roll stabilization*. Concise Encyclopedia of Traffic and Transportation Systems, Pergamon Press, pp.448-454, 1991.
- [24] Amerongen J. van, R.A. Hilhorst, P. Löhnberg and H.J.A.F. Tulleken, *An intelligent supervisor for adaptive mode-switch control*. Proceedings 12th IFAC World Congress, Vol.5, Sydney, Australia, pp 839-842, 1993.

-
- [25] Oelen W. and J. van Amerongen, *Robust tracking control of two-degrees-of-freedom mobile robots*. Control Engineering Practice, no. 2-2, pp 333-340, 1994.
- [26] Hilhorst R.A., J. van Amerongen, P. Löhnberg and H.J.A.F. Tulleken, *Supervisory control of mode-switch processes*. Automatica, no.30, pp 1319-1331, 1994.
- [27] Breedveld P.C. and J. van Amerongen, *Dynamische Systemen: Modelvorming en Simulatie met Bondgrafen Delen 1-4*. Open Universiteit, Heerlen, 1994.
- [28] Velthuis W.J.R., T.J.A. de Vries and J. van Amerongen, *Learning feed forward control of a flexible beam*. Proceedings IEEE Int. Symp. on Intelligent Control ISIC '96, Dearborn, MI, USA, pp 103-108, 1996.
- [29] Starrenburg J.G., W.T.C. van Luenen, W.Oelen and J. van Amerongen, *Learning feedforward controller for a mobile robot vehicle*. Control Engineering Practice, Vol.14, no.9, pp 1221-1230, 1996.
- [30] Amerongen J. van, W. Jongkind, *Mechatronics in the Netherlands*. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, Vol. 1, no. 2, pp 106-110, 1996.
- [31] Otten G., T.J.A. de Vries, J. van Amerongen, A.M. Rankers and E.W. Gaal, *Linear Motor Motion Control Using a Learning Feedforward Controller*. IEEE/ASME Trans. Mechatronics, Vol. 2, no. 3, pp 179-187, 1997.
- [32] Coelingh H.J., T.J.A. de Vries and J. van Amerongen, *Design support for motion control systems*. 7th Mechatronics Forum International Conference, Mechatronics 2000, Atlanta, USA, 2000.
- [33] Amerongen J. van , H.J.Coelingh and T.J.A. de Vries, *Computer support for mechatronic control system design*. Robotics and Autonomous Systems, vol. 30, nr. 3, pp 249-260, 2000.
- [34] Schipper, D.A., *Mobile Autonomous Robot Twente, a mechatronics design approach*, PhD thesis University of Twente, pp 149, 2001.
- [35] Amerongen, J. van and P.C. Breedveld, *Modelling of physical systems for the design and control of mechatronic systems (IFAC Professional Brief)*. Annual Reviews in Control 27, Elsevier Ltd., pp 87-117, 2003.
- [36] Amerongen, J. van, *Mechatronic Design*. Journal of Mechatronics, Volume 13, Issue 10, december 2003, Elsevier, pp 1045-1066, 2003.
- [37] Amerongen, J. van, *Ship Steering*. Theme: Control Systems, Robotics and Automation, edited by Unbehauen, H.D., in Encyclopedia of Life Support Systems, (EOLSS), Developed under the Auspices of the UNESCO, EOLSS Publishers, Oxford, UK (<http://www.eolss.net>), 2003.
- [38] Amerongen, J. van, *Mechatronics Education and Research – 15 Years of Experience*. Invited plenary paper in: 3rd IFAC Symposium on Mechatronic Systems, September 6-8, 2004, Sydney, Australia, pp 595-607, 2004.

- [39] Amerongen, J. van, *A MRAS-based Learning Feed-forward Controller*. MECHATRONICS 2006 - 4th IFAC-Symposium on Mechatronic Systems Heidelberg, Germany, September 12th-14th, 2006, pp. 6, 2006.
- [40] Amerongen, J. van, *Mechatronics Education*. in: Mechatronics in Action - Case studies in Mechatronics - Applications and Education, edited by Bradley, D., Russell, D.W., Springer Verlag, London, pp. 219-233, 2010.
- [41] Amerongen, J. van, *Dynamical Systems for Creative Technology*. Controllab Products B.V., Enschede, pp. viii+239, 2010.

In Twente georganiseerde congressen

- [42] Amerongen J. van, J.B. Jonker and P.P.L. Regtien, editors, *Proceedings of the 3rd Workshop on European Scientific and Industrial Collaboration (WESIC 2001)*. Drebbel Institute for Mechatronics, University of Twente, Netherlands, pp XIII-508, 2001.
- [43] Amerongen J. van, J.B. Jonker, P.P.L. Regtien and S. Stramigioli, editors, *Mechatronics 2002 - Book of Abstracts, papers on CD*. 8th Mechatronics Forum International Conference, June 24-26, Drebbel Institute for Mechatronics, University of Twente, Netherlands, pp xxvii -162, 2002.

Proefschriften

- [44] Klugt, P.G.M. van der, *Rudder Roll Stabilization*. PhD thesis, supervised by H.R. van Nauta Lemke (TUD) and J. van Amerongen, Delft University of Technology, 1987.
- [45] Passenier, P.O., *An Adaptive Track Predictor of Ships*. PhD thesis, supervised by J. van Amerongen and P.P.J. van den Bosch (TUD), Delft University of Technology, 1989.
- [46] Kruijsse L., *Modelling and control of a flexible beam and robot arm*. PhD thesis, supervised by J. van Amerongen with P. Löhnberg, University of Twente, Enschede, Netherlands, p 171, 1990.
- [47] Butler, H., *Model Reference Adaptive Control – Bridging the gap between theory and practice*. PhD thesis, supervised by G. Honderd (TUD) and J. van Amerongen, Delft University of Technology, 1990.
- [48] Broenink J.F., *Computer-aided physical-systems modeling and simulation: a bond-graph approach*. PhD thesis, supervised by J. van Amerongen with P.C. Breedveld, University of Twente, Enschede, Netherlands, p 207, 1990.
- [49] Hilhorst R.A., *Supervisory control of mode-switch processes*. PhD thesis, supervised by J. van Amerongen with P. Löhnberg, University of Twente, Enschede, Netherlands, p 161, 1992.

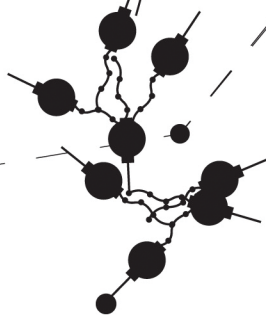
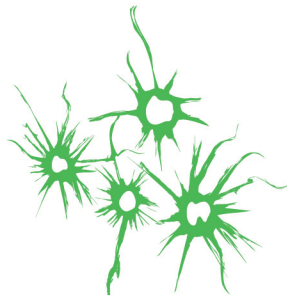
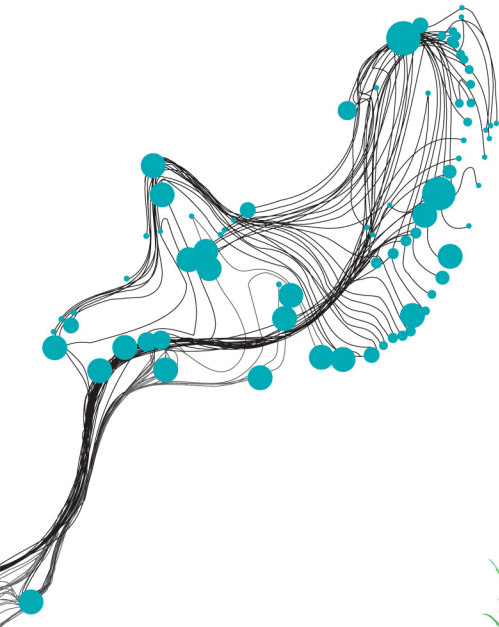
-
- [50] Lammerts, I.M.M., *Adaptive Computed Reference Computed Torque of Flexible Manipulators*. PhD thesis, supervised by J. Kok (TUE) and J. van Amerongen, Eindhoven University of Technology, 1993.
- [51] Wijbrans K.C.J., *Twente Hierarchical Embedded Systems Implementation by Simulation a structured method for controller realisation*. PhD thesis, supervised by J. van Amerongen with A.W.P. Bakkers and J.F. Broenink, University of Twente, Enschede, Netherlands, p 123, 1993.
- [52] Luenen W.T.C. van, *Neural networks for control*. PhD thesis, supervised by J. van Amerongen with P.C. Breedveld, University of Twente, Enschede, Netherlands, p 125, 1993.
- [53] Franke B., *Optimal combination of sequential identification and control*. PhD thesis, supervised by J. van Amerongen with P. Löhnberg, University of Twente, Enschede, Netherlands, p 145, 1993.
- [54] Berghuis H., *Model-based Robot Control: from Theory to Practice*. PhD thesis, supervised by J. van Amerongen with H. Kwakernaak, P. Löhnberg and H. Nijmeijer, University of Twente, Enschede, Netherlands, p 177, 1993.
- [55] Dijk J. van, *On the role of bond graph causality in modeling mechatronic systems*. PhD thesis, supervised by J. van Amerongen with P.C. Breedveld, University of Twente, Enschede, Netherlands, p 220, 1994.
- [56] Vries, T.J.A. de, *Conceptual design of controlled electro-mechanical systems – a modeling perspective*. PhD thesis, supervised by J. van Amerongen with P.C. Breedveld, University of Twente, Enschede, Netherlands, pp vii-169, 1994.
- [57] Sunter J.P.E., *Allocation, Scheduling & Interfacing*. PhD thesis, supervised by J. van Amerongen with A.W.P. Bakkers, University of Twente, Enschede, Netherlands, p 116, 1994.
- [58] Oelen W., *Modelling as a tool for design of mechatronic systems*. PhD thesis, supervised by M.P. Koster with J. van Amerongen, University of Twente, Enschede, Netherlands, p 200, 1995.
- [59] Krijger M.J. de, *Bond graph modelling and control of flexible robot arms*. PhD thesis, supervised by J. van Amerongen with P.C. Breedveld, University of Twente, Enschede, Netherlands, p 294, 1995.
- [60] Breunese A.P.J., *Automated support in mechatronic systems modeling*. PhD thesis, supervised by J. van Amerongen with P.C. Breedveld, University of Twente, Enschede, Netherlands, pp vi-268, 1996.
- [61] Steen L. van den, *Suppressing stick-slip-induced drillstring oscillations: a hyperstability approach*. PhD thesis, supervised by J. van Amerongen with P.C. Breedveld, University of Twente, Enschede, Netherlands, pp 313, 1997.

- [62] Velthuis W.J.R., *Learning feed-forward control - theory, design and applications*. PhD thesis, supervised by J. van Amerongen with T.J.A. de Vries, University of Twente, Enschede, The Netherlands, pp xii-200, 2000.
- [63] Coelingh H.J., *Design support for motion control systems*. PhD thesis, supervised by M.P. Koster with T.J.A. de Vries and J. van Amerongen, University of Twente, Enschede, The Netherlands, pp xii-218, 2000.
- [64] Breemen A.J.N. van, *Agent-Based Multi-Controller Systems - A design framework for complex control problems*. PhD thesis, supervised by J. van Amerongen with T.J.A. de Vries, PhD thesis, Twente University Press, University of Twente, Enschede, The Netherlands, p 238, 2001.
- [65] Holterman J., *Vibration Control of High-Precision Machines with Active Structural Elements, Ph.D. thesis*. PhD thesis, supervised by J. van Amerongen with T.J.A. de Vries, Twente University Press, University of Twente, Enschede, The Netherlands, pp iii-284, 2002.
- [66] Golo G., *Interconnection structures in port-based modelling: tools for analysis and simulation*. PhD thesis, supervised by A.J. van der Schaft and J. van Amerongen with P.C. Breedveld, University of Twente, Enschede, Netherlands, pp x-229, 2002.
- [67] Kruijf, B.J. de, *Function Approximation for Learning Control a key sample based approach*. PhD thesis, supervised by J. van Amerongen, with T.J.A. de Vries, University of Twente, Enschede, Netherlands, pp. xiv - 189, 2004.
- [68] Verwoerd, Mark, *Iterative Learning Control: A Critical Review*. Public Defence on January 13, 2005, PhD thesis, supervised by J. van Amerongen with T.J.A. de Vries and G. Meinsma, University of Twente, pp 1 - 159, 2005.
- [69] Hilderink, G.H., *Managing Complexity of Control Software through Concurrency*. Public Defence on May 19, 2005, PhD thesis, supervised by Amerongen, J. van and J.F. Broenink, University of Twente, pp ix - 352, 2005.
- [70] Feenstra P.H., *Modeling and Control Of Surface Acoustic Wave Motors*. Public Defence on September 22, 2005, PhD thesis, supervised by Amerongen, J. van and P.C. Breedveld, University of Twente, pp I - 172, 2005.
- [71] Jovanovic, D.S., *Designing dependable process-oriented software - a CSP-based approach*. PhD thesis, supervised by van Amerongen, J. and Broenink, J.F., p. vi+264, 2006.
- [72] Duindam V., *Port-Based Modeling and Control for Efficient Bipedal Walking Robots*. PhD thesis, supervised by S. Stramigioli and J. van Amerongen, University of Twente, pp i - 223, 2006.
- [73] Orlic, B., *SystemCSP: A graphical language for designing concurrent component-based embedded control systems*. PhD thesis, supervised by van Amerongen, J. and Broenink, J.F., p. xi+237, 2007.

-
- [74] Ligterink, N.E., *Functional System Dynamics*. PhD thesis, supervised by van der Schaft, A.J., van Amerongen, J. and Breedveld, P.C., University of Twente, p. X+271, 2007.
- [75] Nguyen Duy Cuong, *Advanced Controllers for Electromechanical Motion Systems*. PhD thesis, supervised by van Amerongen, J. and de Vries, T.J.A., University of Twente, pp. xii+115, 2008.
- [76] Dao Ba Phong, *Safe-Guarded Multi-Agent Control for Mechatronic Systems: Implementation Framework and Design Patterns*. PhD thesis, supervised by J. van Amerongen and T.J.A. de Vries, University of Twente, pp. xii+177, 2011.

Andere referenties en multimedia

- [77] <http://stoomwerkplaats.blogspot.com/p/stoommachines-3.html>
- [78] *FIRST*[®] (For Inspiration and Recognition of Science and Technology), <http://www.usfirst.org/>
- [79] Computer History Museum, Mountain View, CA
<http://vanamerongen.org/pictures/afscheid/>
- [80] Regeltechniek colleges met beeld en geluid,
<http://afscheid.vanamerongen.org/colleges/>
- [81] Overzicht van de video's, <http://afscheid.vanamerongen.org/video/>
- [82] <http://afscheid.vanamerongen.org/video/wattregulateur.php>
- [83] <http://afscheid.vanamerongen.org/video/segway.php>
- [84] <http://itunes.apple.com/nl/app/philips-myremote/id426883783?mt=8>
- [85] <http://afscheid.vanamerongen.org/video/drone.php>
- [86] Gerda's receptenverzameling: <http://recepten.vamerongen.nl/>



<http://afscheid.vanamerongen.org/>