

De Ontwikkeling in het Mechatronisch Ontwerpen

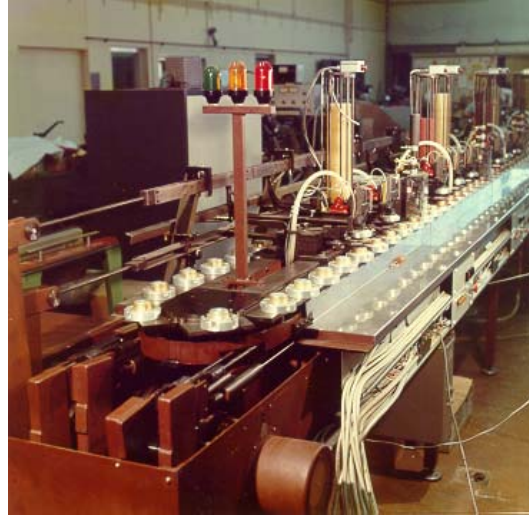
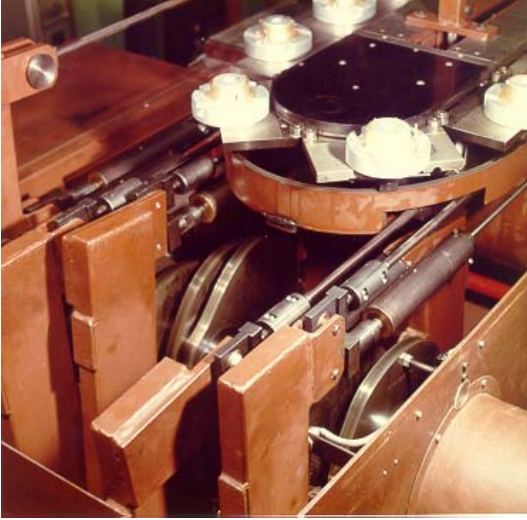
Mijnheer de Rector Magnificus, geachte toehoorders

“Mechatronica” en alles wat het impliceert staat voor een aanpak die tegenwoordig gebruikelijk is bij het ontwerpen van moderne machines en apparaten. Voorbeelden hiervan zijn: kopieerapparaten, CD/DVD spelers, hard disc drives, robots, elektronenmicroscopen en machines ten behoeve van de fabricage van halfgeleiders. Een aanpak die in zich de belofte draagt dat inter-disciplinair samenwerken en samen ontwerpen een vooruitgang mogelijk maken die binnen de afzonderlijke disciplines nooit bereikt had kunnen worden. Als een direct gevolg van het industriële succes van Mechatronica zijn de meeste hogere technische opleidingen doende het “vak” te integreren in hun studieprogramma’s.

Ik zal een beeld proberen te schetsen van de ontwikkeling die de mechatronica heeft doorgemaakt vanaf de tijd dat men het woord nog niet eens kende, maar wel al de eerste aarzelende stappen zette. In dit verband sta ik ook stil bij de drijvende krachten achter die ontwikkeling. Vervolgens beschrijf ik een aantal fasen uit de ontwikkeling van willekeurige, niet bij name genoemde, mechatronische machines en de vele complexe factoren die elke ontwikkeling in zekere zin tot een avontuur maken. Als laatste komt de vraag aan bod hoe we verder kunnen komen, via Mechatronica, of moeten we wellicht weer verder, breder denken. Hier zal ik aangeven wat mijn plannen zijn voor de komende jaren. Ik zal de Mechatronica benaderen vanuit een voor mij bekend perspectief: de wereld van het ontwerp van “high-end” productie machines, waarin nauwkeurigheid en snelheid de leidende factoren zijn.

Hoe de Mechatronica tot ontwikkeling kwam

Om te begrijpen hoe “Mechatronica” is ontstaan kan het helpen te kijken naar de recente geschiedenis van het ontwerp van machines voor de fabricage van discrete producten. Tot in de jaren 80 was het ontwerp en de bouw van machines een zeer mechanische aangelegenheid. De vele bewegingen die zo kenmerkend zijn voor dat type machines werden gegenereerd via nokken en stangenmechanismen aangedreven door één enkele forse, met een constant toerental draaiende elektromotor. En zo werden alle bewegingen automatisch gesynchroniseerd. De elektromotor, de PLC die de machinefuncties stuurde, aansturing van kleppen en meer van dat soort zaken, behoorden alle tot het domein van de elektronica. De mechanici waren ondergebracht in de afdeling Mechanica. De elektronici in de afdeling Elektronica. Keurig zoals het hoorde, zeker hier in het toen nog sterk verzuilde Nederland.



Figuur 1 Mechanisatie systeem voor de assemblage van videokoppen. Philips CFT, midden jaren 80.

In de hierboven geschetste organisatie was het vooral het mechanisch ontwerp dat de machineprestatie bepaalde. De prestatie werd bijvoorbeeld uitgedrukt in goede producten per uur. Het was dus ook aan de (mechanisch) hoofdconstructeur om de machineconcepten te genereren en daar verder samen met zijn team vorm aan te geven. De elektrische kant van het hele ontwerp was weliswaar van invloed op de snelheid, maar “nauwkeurigheid” behoorde tot het exclusieve domein van de mechanici. De elektrische en mechanische ontwerpers werkten aan dezelfde machines, maar voelden zich zeker geen deel van hetzelfde team en hadden slechts een beperkt begrip voor het werk van de collega van de andere afdeling.

De kentering kwam toen er machines moesten komen zodanig nauwkeurig dat de mechanicus het niet langer uitsluitend binnen zijn domein kon oplossen. De bewegingen of positioneringen moesten bijvoorbeeld nauwkeuriger dan de tot dan toe gebruikelijke methodes toelieten (die waren veelal gebaseerd op vormnauwkeurigheid van onderdelen en van de constructie en snelheid afhankelijke trillingen). Meten van een grootheid representatief voor de positienauwkeurigheid en op basis hiervan de positie automatisch aanpassen, werd steeds vaker noodzakelijk. De servo technologie deed zijn intrede. Goede voorbeelden hiervan zijn de eerste “Silicon Repeaters”, machines bedoeld om seriematig patronen te belichten op wafers. Deze machines, ontworpen, gemaakt en getest op het Philips Nat.Lab. waren al in staat om met toendertijd snelle servo's nauwkeurigheden te halen in de orde van 1 μm .



Figuur 2 Links: De SIRE T3, een van de eerste wafersteppers, ontworpen begin jaren 80 bij het Philips Nat.Lab: 1.5 μm applicatie, 6" wafers, 20 wafers/uur. Rechts: de mini variant van het Philips CFT Variabel Robot Systeem (VRS). Ontworpen begin jaren 80 en nog steeds (!) in gebruik. Nauwkeurigheid ca. 0,02 mm, maximale versnelling 10 m/s^2 , maximale snelheid 1m/s.

In de zelfde periode (begin jaren 80) was er nóg een belangrijke ontwikkeling aan de gang. Onder druk van het productmanagement dat probeerde in te spelen op de steeds veeleisender consumenten werd het nodig om makkelijk en goedkoop allerlei productvarianten te maken. Per variant meestal in veel kleinere series dan efficiënt mogelijk was op het tot dan toe gebruikelijk type machines. De flexibilisering van de productie, met name via de introductie van robots en programmeerbare manipulators, deed zijn intrede. Dit alles werd in belangrijke mate mogelijk gemaakt door de opkomende digitalisering van de elektronica en de daarmee verkregen vrijheid om bewegingen, volgordes, beslissingen e.d. vrij te programmeren. Philips CFT speelde in op deze trend door zelf een modulair (cartesisch) robotsysteem te ontwikkelen: het Variabel Robot Systeem (VRS). Het was de tijd dat robotsystemen slechts mondjesmaat commercieel verkrijgbaar waren en dan ook nog niet pasten bij de fabricageproblematiek van een bedrijf als Philips.

De toegenomen nauwkeurigheden en de flexibilisering maakten dat servo technologie, regeltechniek, aandrijftechnologie maar zeker ook softwaretechnologie sterk aan belangrijkheid wonnen. Deze gebieden vormden uitbreidingen op de bestaande disciplines, maar dwongen ook samenwerking af. De samenwerking leverde een wereld van nieuwe mogelijkheden op die anders nooit had bestaan.

Begin jaren 80 werd in de consumenten elektronica een enorme stap voorwaarts gezet door de introductie van de CD speler (overigens ook ontsproten aan het Philips Nat.Lab).

Een zeer intelligente combinatie van optiek, mechanica, software en elektronica maakte het mogelijk een grote verbetering op het gebied van de geluidsreproductie te bereiken. De veranderingen in de ontwerpaanpak en bijbehorende mogelijkheden werden herkend en erkend en in Japan de naam “Mechatronics” gegeven.



De belofte van de “Mechatronics” was dat samenwerking tussen de ontwikkeldisciplines mechanica, software en elektronica door een juiste synthese meer moest opleveren dan dezelfde hoeveelheid inspanning toegepast op meer conventionele, meer mono-disciplinaire wijze. Dit kon echter alleen wanneer ook de ontwikkeldoelen anders werden gesteld. De ontwikkeldoelen moesten een resultaat zijn van een interdisciplinair ontwerp. Het conceptontwerp zou veelomvattender moeten zijn dan tot dan toe gebruikelijk. Momenteel zouden we het willen duiden als “systeemontwerp”. Hiervan afgeleid pas de sub-ontwerpdoelen op disciplinair niveau.

Het bovenstaande is echter niet zonder slag of stoot bereikt en het is zelfs nu nog een aanpak die lang niet altijd gepraktiseerd wordt, ook al is ze van toepassing. De eerste multi-disciplinaire “samenwerkingen” waren vooral kennismakingen met elkaars denkwerelden, jargon en natuurlijk ook persoonlijk, want men had altijd deel uitgemaakt van heel “verschillende” afdelingen. Een onmisbaar basiselement voor samenwerking is onderlinge communicatie. En onderlinge communicatie is alleen mogelijk met een overlap in begrippenwereld. Juist daar schortte het vaak aan en dat maakte in aanvang de mechatronische aanpak veel minder effectief dan door de goeroe’s beloofd. De mechatronische aanpak begon met min of meer gedwongen multi-disciplinaire teams, waarbij de tot dan toe gebruikelijke houdingen ten opzichte van elkaar niet zomaar overboord werden gezet. Hooguit werd er wat dichter “langs elkaar heen gewerkt”. Langzaam kwam het proces van samenwerken op gang en de toegenomen kennis van de mogelijkheden en moeilijkheden van elkanders vakgebieden maakte dat het bereikte inter-disciplinair samenwerken zover intensiverde dat er sprake was van “samen ontwerpen”, kortom: mechatronica. Dit uitte zich o.a. in oplossingen waarbij de elementen van een mechatronisch systeem veel verder waren geïntegreerd dan gebruikelijk.

De opkomst van de mechatronica is vooral mogelijk gemaakt door de digitalisering van de elektronica en de daarmee geïntroduceerde extra software component. Ten opzichte van een door een PLC bestuurd conventionele machine was ineens veel meer software nodig. In aanvang diende de software alleen voor het direct kunnen bedienen van de digitale elektronica. Computers werden sneller, zonder dat overigens het prijspeil veel veranderde, goede programmeeromgevingen en ontwikkelmethodieken kwamen ter beschikking en steeds meer functionaliteit werd via software “benaderbaar”. Dat alles maakte dat de softwarecomponent een enorme vlucht heeft genomen in mechatronische systemen. Software wordt bijvoorbeeld gebruikt bij het callibreren, foutdiagnose, zeer veelzijdige gebruikersinterfaces en ga zo maar door. De invloed van de mogelijkheden die besturingsssoftware biedt zijn zo verstrekkend dat men zich gerust kan afvragen of “mechatronica” wel de goede kreet is voor het vakgebied waar ik het hier over heb.

De belangrijkste trends in productiemachines zijn hierboven al min of meer gesuggereerd: hogere nauwkeurigheden, hogere snelheden en meer mogelijkheden. Deze trends worden echter in belangrijke mate gevoed door trends in consumentenmarkten die tegenwoordig hun vertaling vinden in producten die met steeds grotere datastromen kunnen omgaan en die ook steeds beter informatie kunnen weergeven. Het merkwaardige is echter dat, met uitzondering van een eerste introductieperiode, niet geaccepteerd wordt dat dit leidt tot grotere of duurdere producten.

De trends op het gebied van productie machines met een hoog mechatronica gehalte laten zich heel goed illustreren aan de hand van een voorbeeld uit de wereld van de halfgeleiderindustrie. Het voorbeeld toont twee (niet opeenvolgende) generaties wafersteppers van het Velhovense ASML. De PAS 2500/5000 die als eerste ASML generatie beschouwd kan worden (introductie 1985) en de AT Twinscan (2001) die het meest recent geïntroduceerd is.

Platform:	PAS 2500/5000 	AT Twinscan 
Max. waferafm.:	≤ 150 mm	200 & 300 mm
Applicatie:	1,0 – 0,45 μm	0,15 – 0,07 μm
Max. output:	50 wafers/uur	140 wafers/uur
Typ. machine prijs:	1,5 MValuta	9 MValuta
Introductie:	1985	2001

Figuur 3 Enkele karakteristieken van de eerste generatie (links) en de meest recente generatie wafersteppers/scanners van ASML

Het is interessant de machines te vergelijken op een aantal kentallen

Platform:		PAS 2500/5000	AT Twinscan
	eenheid		
Waferoppervlak per uur (opbrengst):	m ² /uur	0,9	9,9
Opbrengst/machineprijs:	(m ² /uur)/MValuta	0,6	1,0
Opbrengst/nauwkeurigheid:	(m ² /uur)/μm	0,9 – 2,0	65 - 141

Tabel 1 Kentallen ter illustratie van de toegenomen prestatie van de ASML wafersteppers/scanners

De machineopbrengst van de latere generaties is verhoogd door o.a. een intelligenter machineconcept te kiezen, hogere snelheden en versnellingen van de manipulators, maar vooral door grotere wafers te gebruiken. Echter, een aantal van de hier gehanteerde

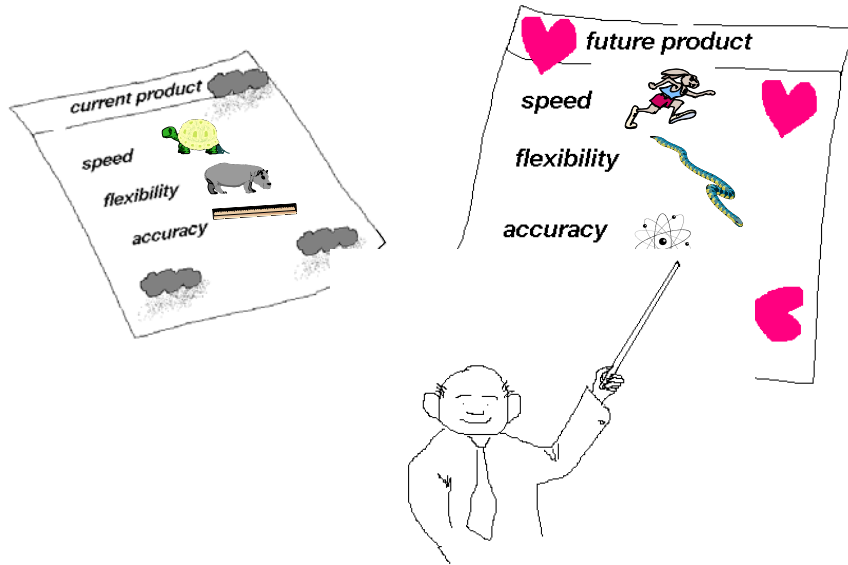
manieren om de opbrengst te verhogen zouden, zonder meer toegepast, onvermijdbaar een negatieve invloed op de nauwkeurigheid gehad hebben. Denk bijvoorbeeld aan hogere stoorkrachtniveaus door hogere versnellingen op te dringen aan grotere (en veelal zwaardere) structuren. Desondanks blijkt dat de machine juist *nauwkeuriger* is geworden. Een andere opmerkelijke conclusie die aan de hand van bovenstaande tabel getrokken kan worden, is dat de opbrengst gedeeld door de machineprijs slechts weinig is veranderd. Dit is des te opmerkelijker omdat de nauwkeurigheid van de machine sterk is verbeterd. De strijd om machineopbrengst te verhogen wordt dus vooral gevoed door de wens om de toenemende machinekosten per producteenheid te beheersen. Het bovenstaande (extreme) voorbeeld toont overduidelijk wat de trends zijn in de mechatronische equipment industrie.

De poging om de steeds hogere nauwkeurigheid betaalbaar te houden is een van de belangrijke drijvende krachten achter de ontwikkelingen in de mechatronica en andersom is het ook de mechatronica die deze ontwikkelingen mogelijk heeft gemaakt. Met name de halfgeleiderindustrie speelt hierin een cruciale rol. De uiterst agressieve roadmaps vormen zeer uitdagende doelstellingen waar de hele halfgeleidergemeenschap zich het afgelopen decennium naar heeft gericht. Het is echter gevaarlijk te concluderen dat *deze race* (gericht op verder miniaturiseren en daarmee hogere processorsnelheden mogelijk makend) steeds maar doorgaat. Voorspellen door extrapoleren gaat er impliciet van uit dat de doelstellingen van de ontwikkeling hetzelfde blijven, randvoorwaarden niet spectaculair wijzigen en dat er nog geen zicht lijkt op het einde van de technische mogelijkheden. In een beperkte tijdspanne is dit zeker mogelijk, maar op termijn zal er wel een verandering *moeten* optreden. Er moet voortdurend nagedacht worden over wat er zou gebeuren als processorsnelheid niet langer meer de drijfveer zou zijn, maar bijvoorbeeld communicatiesnelheid of minimaal energieverbruik, laat staan dat een heel andere technologie voor de patroondefinitie levensvatbaar zou blijken te zijn.

Er is echter zoveel momentum in de wereld van de halfgeleiderindustrie en geavanceerde producten, dat er weinig anders op lijkt te zitten dan mee te gaan en hierop in te spelen. Verbeteringen in nauwkeurigheid bij toename van snelheden lijken nog mogelijk, alhoewel de winsten gaandeweg minder spectaculair zullen worden.

Het ontwikkelproces van mechatronische producten

Het nieuw te ontwikkelen product moet een succes worden. Ten opzichte van de voorgaande generatie zal het uitblinken door snelheid, nauwkeurigheid, en, niet te vergeten, flexibiliteit. Daarnaast bestaan wensen ten aanzien van de kostprijs, vereiste service niveau, levensduur, enzovoort. Op de achtergrond speelt vaak nog een ander type doelstellingen gericht op de verbetering van het ontwikkelproces zelf en de hiermee gemoeide resources.



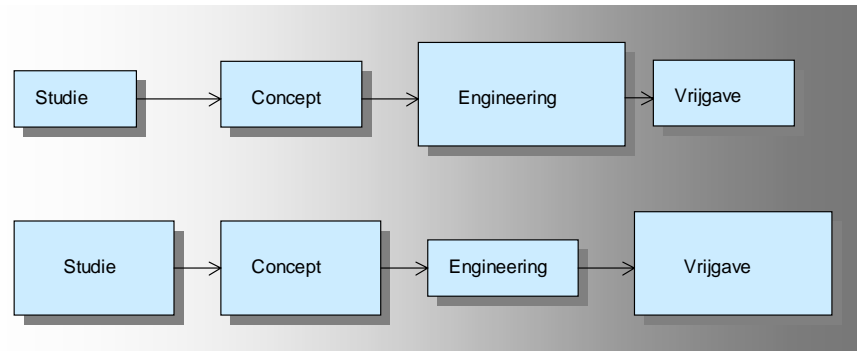
Figuur 4 De ontwikkeling van nieuw
zeer grote uitdagingen.

het algemeen gepaard met

Om een succesvol speler te zijn en te blijven wordt een ontwikkelorganisatie verwacht die niet alleen technisch hoogstaande oplossingen kan genereren, maar tevens een ontwikkelmethodiek hanteert die complexe oplossingen in relatief korte tijd tot volwassenheid kan brengen. Een methodiek als onderdeel van de Mechatronica zoals begrepen en toegepast in industriële ondernemingen.

Ik wil hier in gaan op een aantal aspecten die spelen in de verschillende fasen van een mechatronisch ontwikkelproces. Allereerst moet duidelijk zijn dat weinig ontwikkelprocessen verlopen “volgens het boekje”. Dit heeft meer te maken met het feit dat ontwikkelen mensenwerk is en dat de omgeving waarin het ontwikkelproces zich afspeelt op zijn minst turbulent te noemen is, dan met een gebrek aan dergelijke boekjes!

Er zijn fasen te onderkennen die op zijn minst doorlopen moeten worden wanneer gemikt wordt op een betrouwbaar productontwerp. De fasen zijn: studie, concept, engineering en tenslotte vrijgave. Overslaan van fasen betekent: ze niet benoemen, of accepteren dat de oplossing niet het uiterst haalbare is. Dat laatste komt nog al eens voor. Denk bijvoorbeeld aan een machine die eenmalig gemaakt wordt, waarbij een korte ontwikkeltijd (en dus lage ontwikkelkosten!) en een grote betrouwbaarheid veel belangrijker zijn dan een lage realisatie prijs.



Figuur 5 De relatieve omvang van de fasen in het ontwikkelproces is afhankelijk van het type product

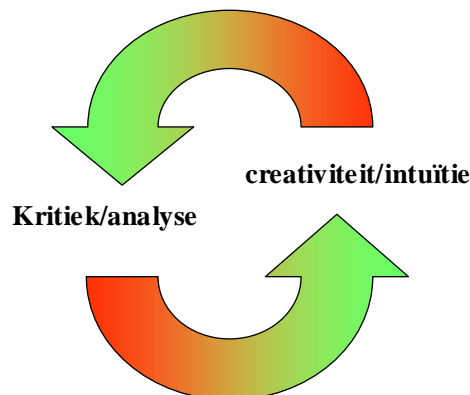
Doorlooptijdverkorting van het ontwikkelingstraject gaat niet altijd gepaard met doorlooptijdverkorting van het hieraan voorafgaande beslissingsproces. De enorme investeringen, de snel veranderende markt en de daarmee gepaard gaande risico's maken het niet makkelijk "het goede" product te definiëren en de daarvoor benodigde middelen vrij te maken. Een andere factor die het startmoment beïnvloedt is de beschikbaarheid van resources, zoals geld en menskracht. Het bovenstaande staat vaak op gespannen voet met de prijs die betaald moet worden voor het te laat de ontwikkeling opstarten of door de ontwikkeling in tijd uit te laten lopen. In dat laatste geval worden niet alleen extra kosten gemaakt, maar worden verwachte opbrengsten gemist en zal het niet mee vallen de beoogde marktpositie te verwerven. Het omgekeerde kan echter ook voorkomen: de marktontwikkelingen gaan niet zo snel als verwacht met als resultaat dat inkomsten uitblijven, ontwikkelkosten doorgaan en onzekerheid over de toekomst. Een voorbeeld van dit laatste uit de halfgeleiderindustrie is de trage introductie van 300 mm wafers als beoogde vervanger van 200 mm wafers.

Het vertrekpunt van een ontwikkeling is een wensenplaatje m.b.t. de belangrijkste karakteristieken van het product (gebruikersspecificatie), de aanwezige of in te kopen technologie, inschattingen van de kosten en opbrengsten en een beeld over de ontwikkeling van de markt. De ontwerpers die uitgaande van deze "droom" een (technisch) antwoord moeten formuleren, zullen in aanvang vooral in "concepten" denken. Voordat gedacht kan worden aan ontwerpen, moet eerst een vertaling gemaakt worden van eisen die op de prestatie van het gehele product slaan (voorbeelden: de machine moet zoveel opbrengst per uur hebben, het apparaat moet die en die plaatjes kunnen lezen, het apparaat mag maximaal zoveel energie gebruiken) naar voor de ontwerper hanteerbare eisen (voorbeelden: de maximale snelheid van de manipulator moet minimaal zo groot zijn, de bandbreedte moet minimaal zoveel Herz zijn en het werkgebied moet minimaal zo groot zijn).

Voor de ervaren ontwerper is het, na enige studie, meestal wel uit te maken "wat waarschijnlijk wel kan" en "wat waarschijnlijk onmogelijk is". Dit is bij uitstek het moment dat iemand met snelle afschattende berekeningen en ervaring de goede wegen aangeeft en daarmee voorkomt dat er nodeloze energie gestopt wordt in oplossingen die op den duur toch niet levensvatbaar zouden blijken te zijn. Dit proces van inschattingen,

genereren en vervolgens weer verwerpen van ideeën, wordt gekenmerkt door een grote inventiviteit, divergentie en veel discussie tussen de technische disciplines. En dat laatste moedigt de inventiviteit alleen nog maar verder aan. Ook begint langzaam duidelijk te worden wat de consequenties van de specificaties zijn, alhoewel meestal pas na verdere uitwerking de mogelijkheden en onmogelijkheden tevoorschijn komen. Ontwikkelen is dus óók werken aan het verbeteren en completeren van de specificaties.

Divergerende processen, zoals hierboven beschreven, hebben niet de neiging spontaan te convergeren en er zal dus na verloop van tijd enige bezinning nodig zijn. Dit kan door bijvoorbeeld een aantal van de beste ideeën (per deelstuk) naast elkaar te zetten en er eens door een andere, kritische bril naar te kijken. M.a.w. de overstap te maken van een creatieve fase naar een meer analytische. Deze afwisseling is kenmerkend voor het ontwerpersvak en die cyclus wordt doorlopen in zeer variërende tijden. Soms binnen minuten (een ontwerper die zijn eigen ideetje beoordeelt). Soms dagen (tussen collega ontwerpers). En meer geformaliseerd in review bijeenkomsten of na uitgebreide analyse kan de cyclus van idee naar kritiek wel eens weken duren. Het is belangrijk dat de ontwerpers zichzelf van deze processen bewust zijn. Ontwerpen bestaat dus niet uit altijd maar creatief zijn. Een goede balans tussen kritiek en creatie is een kenmerk van een goed ontwikkelproces. Des te opvallender is het dat een dergelijke balans niet te vinden is in onderwijsprogramma's van technische opleidingen.



Figuur 6 De ontwerpcyclus: van creativiteit en intuïtie naar kritiek en analyse

Er zijn mensen, vooral te vinden in research omgevingen, die vinden dat “onder druk” en “creativiteit” niet samengaan. Dit is slechts gedeeltelijk waar. Zeer snelle ontwikkelingen, vaak vergezeld van vele creatieve oplossingen zijn juist onder druk geboren. Een treffend voorbeeld is de enorme vermogenstoename van Engelse vliegtuigmotoren gedurende de tweede wereldoorlog. Kijken we echter wat gedetailleerder naar het proces van creativiteit dan blijkt dat ideeën worden geboren gedurende momenten van ontspanning die volgen op intense periodes van concentratie en wilskracht om tot een oplossing te komen. Kennelijk werpen we gedurende de inspannende periodes juist blokkades op die verhinderen dat we toegang krijgen tot onze innerlijke ideeënbron. Het is dus geen goed idee om een lange aaneengesloten tijd te

proberen iets te bedenken. Ga eens met je collega praten, loop eens rond of doe iets anders dat de aandacht afleidt.

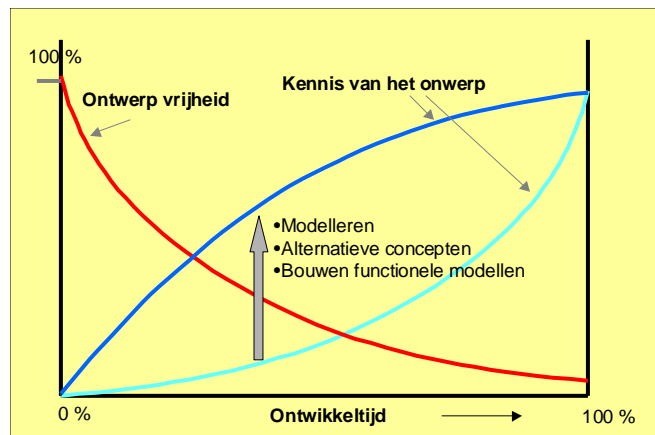
Als we teruggaan naar de conceptuele fase, dan zal het divergerende ontwerproces gefocuseerd worden wanneer degene die op dat moment de rol van projectleider vervult, besluit de alternatieve ontwerpen te (laten) beoordelen op een aantal belangrijke aspecten. De meest populaire zijn: prestatie, prijs, maakbaarheid, ontwikkelingsspanning en risico. Vaak worden er dan ook nog rapportcijfers uitgedeeld voor de verschillende concurrerende alternatieven. Ik zou willen aanbevelen de uitkomsten van die beoordelingen niet uitsluitend rekenkundig te interpreteren. Het gaat meer om het proces van het beoordelen zelf. Het gaat erom dat zo veel mogelijk argumenten, ten voordele of ten nadele van het onderhavige alternatief, op tafel komen. Het gaat er ook om de verschillende alternatieven een gelijke hoeveelheid aandacht te geven. Het beeld over de kwaliteit van de verschillende deeloplossingen wordt daarmee vollediger dan in het geval een ontwerper uitsluitend zijn eigen ideeën presenteert zonder een gerichte discussie daar om heen.

Meestal dikt het aantal oplossingen in, maar het is ook zeer wel mogelijk dat als resultaat nieuwe alternatieven worden toegevoegd. Dat zal dan zeker niet de laatste keer zijn dat het nodig is een iteratie slag in te passen in het ontwikkeltraject. Het is echter zaak zo weinig mogelijk alternatieven over te laten. Het weloverwogen schrappen van alternatieven eist vakmanschap, een goede intuïtie, maar ook grote eerlijkheid van de betrokkenen. Een niet zo'n goed idee van een bijzonder goed en aimabel vakman is moeilijker te verwerpen dan het zelfde idee van een nieuwkomer. Emoties spelen een grote rol. Aan de buitenkant mogen technici in het algemeen zeer gelijkmatig overkomen, als het om hun ontwerpkindjes gaat, kunnen ze zich gedragen als moederdieren die hun jongen beschermen. Alternatieve concepten door verschillende teams in concurrentie uit laten werken, is vragen om problemen.

Als de oplossingsruimte wat ingekrompen is, is het zaak de beperkte set overgebleven alternatieven (bijvoorbeeld 2 stuks) verder uit te werken. Verder uitwerken wil zeggen dat elk idee een behandeling krijgt alsof het even dé oplossing zou zijn. Er komt een layout-tekening waarin bijvoorbeeld goed te zien is hoe het ruimtebeslag eruit ziet. Want één ding is zeker: ruimte is altijd schaars. De concept-tekeningen leveren vaak voldoende gegevens voor wat gedetailleerdere berekeningen. Er is een beeld ontstaan van de fysische grootheden die een rol zullen spelen, zoals massa's, afmetingen, stijfheden e.d. Daarmee kunnen de modellen (meestal heel eenvoudige) die in aanvang gediend hebben ter verkenning verder worden gedetailleerd. De modellen gemaakt tijdens het ontwerp zijn ten dienste van het ontwerp en moeten dus de diverse, vaak moeilijke keuzes ondersteunen. Dat betekent dat het modelleren snel gedaan moet worden en met een passende hoeveelheid detail. Om keuzes goed te kunnen maken is het bovendien belangrijk dat er verschillende soorten modellen komen. Naast het dynamisch model, denk ik aan een thermisch model (de eisen ten aanzien van precisie nemen even snel toe als het gebruik van actuatoren), een model dat aangeeft hoe de opbrengst of snelheid afhangt van de verschillende keuzes en een foutenmodel. Alle modellen zijn bedoeld om inzicht te verwerven en daarmee ontwerpkeuzes te ondersteunen.

Het is belangrijk dat de alternatieven tot een vergelijkbaar niveau van gedetailleerdheid uitgewerkt worden. Het zou niet de eerste keer zijn dat op moeilijkheden met een bepaald ontwerp gereageerd wordt met een geheel nieuw ontwerp (dat op dat moment natuurlijk veel minder gedetailleerd is en er daardoor ook minder problematisch uitziet).

Het ontwikkelproces starten met modelvorming en het genereren (en tot een zeker niveau uitwerken) van alternatieven vergroot de kennis over het ontwerpprobleem en de parameters die daar een rol in spelen. Het is ook zeer verstandig “snel iets te bouwen”. Dit geeft, indien niet de fout gemaakt wordt te veel en te mooi te bouwen, zeer snel informatie over de kwaliteit van het idee. Zo kan maximaal gebruik gemaakt worden van de verkregen kennis in een fase dat er nog een grote ontwerp vrijheid is, waarmee de wijzigingskosten tot een minimum beperkt worden. (De kosten van wijzigingen nemen immers hand over hand toe naarmate het ontwikkelproces verder gevorderd is.)

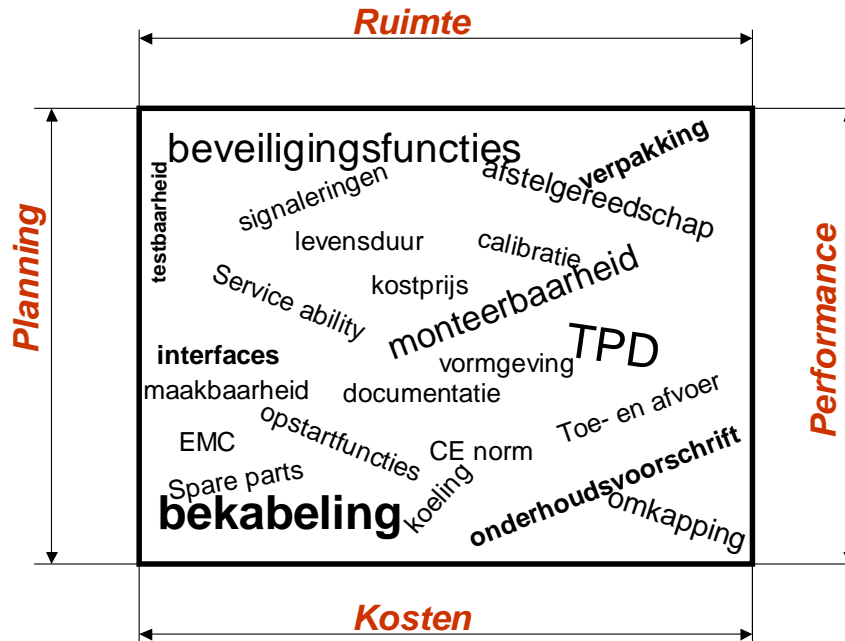


Figuur 7 De kwaliteit en de kosten van het ontwerp worden positief beïnvloed door een juist gebruik van modelleren, genereren van alternatieve concepten en bouwen van functionele modellen van modules.

Iteraties in het ontwikkelproces zijn eerder regel dan uitzondering. Het zou heel wel mogelijk zijn dat men in een (vervelende) situatie raakt dat men niet tevreden is met de alternatieven gegenereerd tot dan toe. Het lijkt te complex te worden, het vraagt te veel tijd om te ontwikkelen of het risico is veel te groot dat het mis gaat binnen het beschikbare budget aan tijd en geld. De reactie op dit soort situaties is vaak tweeledig. Allereerst bestaat de neiging om zich niet direct over te geven. De specialisten, wellicht aangevuld met anderen waarvan je kunt verwachten dat ze de uitdaging met frisse ogen aankijken, worden aangezet een uiterste poging te leveren om realistische concepten te bedenken die wél voldoen. Een volgende mogelijkheid die overwogen kan worden, is nog eens nauwkeurig te kijken naar het oorspronkelijke eisenpakket. Is het mogelijk om, indien hier en daar wat water in de wijn gedaan wordt t.a.v. de 'hinderlijke' specificatiepunten, wél met een goed concept te komen. M.a.w. er ontstaat een antwoord van de ontwerpers op de oorspronkelijke vraagstelling. Dit is een moeilijk proces. Elke

tegemoetkoming aan de technici lijkt een potentieel minder interessant product op te leveren. De kans dat het een betrouwbaar product wordt waarvan het ontwerp op tijd klaar is, neemt aan de andere kant weer toe. Iteraties kunnen ook veroorzaakt worden door externe oorzaken. Ze betreffen bijvoorbeeld aanvullende eisen. Deze kunnen veroorzaakt worden door verschuivingen op de markt of zaken die naar voren komen als gevolg van het intensief bezig zijn met de materie. Het kan hier bijvoorbeeld gaan om extra vormen van flexibiliteit. Het ontwerp wordt daardoor meestal niet eenvoudiger of goedkoper met gevolg dat er een extra spanning (irritatie) ontstaat tussen de vragende partij (de opdrachtgever) en de uitvoerende partij (ontwerpers). Niet zelden is het zo dat een extra vraag zeker niet ten koste mag gaan van de overige eisen, inclusief de doorlooptijd van de ontwikkeling.

Het ontwerpen als vervolg op de conceptuele fase heeft als basis het favoriete concept, maar wordt nu zo opgezet dat ook alle, niet primaire, maar desondanks onmisbare functies toegevoegd worden. Bijvoorbeeld bekabeling, toe- en afvoersystemen, beveiligingen, onderhoudsvoorzieningen en zo verder. Dit stuit nog al eens op moeilijkheden. Niet alleen ruimte-technisch, maar ook blijkt het vaak uiterst lastig om alle oorspronkelijke uitgangspunten vast te houden. Berucht in dit verband is de totale bewegende massa, die ondanks verwoede pogingen om het laag te houden, toch het budget overschrijdt. Of aangrijpingspunten van krachten die in plaats van netjes in een zwaartepunt noodgedwongen moeten verschuiven naar een minder goede plek. Verschuiving t.o.v. de uitgangspunten zijn maar al te vaak onontkoombaar. Dit beseffende, moet het een bewust proces zijn. Dat lijkt logisch, maar in de praktijk is het zo zijn dat belangrijke uitgangspunten voor het ontwerp door *andere* mensen geformuleerd worden dan degenen die op dat moment bezig zijn met de definitieve uitvoering. De bewaking van de uitgangspunten is niet altijd goed geregeld! Overigens kunnen goede rekenmodellen bijzonder bijdragen aan het “beheerst” zondigen tegen uitgangspunten!



Figuur 8 De engineeringfase: uitgangspunten vasthouden, ondanks de enorme druk van het moeten voldoen aan “alle” eisen

De engineeringfase is niet altijd populair bij de conceptdenkers. Dit heeft te maken met de beperkte invloed die dit type ontwerpers dan nog kan uitoefenen, maar ook met de ruime kans dat gezondigd moet worden tegen belangrijke conceptuele uitgangspunten. Praktische problemen oplossen en tegelijkertijd belangrijke uitgangspunten vasthouden is delicaat werk. Een goed voorbeeld van een praktisch probleem is het onderbrengen van vaak gigantische hoeveelheden kabels en slangen. Onderzoek binnen het gebied van het werktuigbouwkundig ontwerp (en hier schaar ik elektronica ook onder) om deze problematiek aan te pakken, heeft weinig academische interesse. Met de komst van snelle seriële bussen is met betrekking tot de bekabelingsproblematiek overigens wel vooruitgang geboekt. Er is echter nog veel meer nodig. Denk aan draadloze powertransmissie, betrouwbare draadloze gegevensoverdracht en nog mooier: effectieve koeling zonder slangen.

Wanneer we het bovenstaande beschouwen, kunnen we ons afvragen of de rol van de ontwerper anders is dan in het pré-machatronische tijdperk. De moderne mechatronische ontwerper (óf mechanisch constructeur óf elektronica ontwerper óf software engineer) is zich bewust van het feit dat het eind-gedrag een systeemgedrag is en dat verbetering alleen mogelijk is door een multi-disciplinaire aanpak. Onafhankelijk van zijn specialisme heeft hij inzicht hoe de kwaliteit van de verschillende subsystemen doorwerkt in het eindresultaat. De mechatronisch ontwerper is niet iemand die in alle disciplines behorende tot het domein van de mechatronica even goed thuis is. Hij is geen duizendpoot, maar heeft wel degelijk zijn specialisme. Hij is constructeur, software designer of wat dan ook. Hij kan echter goed communiceren met zijn collega's uit andere disciplines. En dat eist dat hij voldoende inzicht moet hebben in hun moeilijkheden en mogelijkheden.

Mechatronisch ontwerpen is een term voor het typeren van een veranderd ontwerpproces, dat beter past bij de eisen en mogelijkheden van deze tijd. Een mechatronisch product is het *gevolg*. Het mechatronisch ontwerpen is een proces dat veel lastiger te beheersen is dan het conventionele ontwerpen. De interacties zijn vele; overzicht en inzicht zijn moeilijk. Leidinggevend hebben al snel een achterstand voor wat betreft hun kennisniveau en als extra uitdaging is er een sterke verzwaring van de eisen die gesteld worden aan de kwaliteit van het ontwikkelproces en de borging daarvan.

Mogelijke en nodige ontwikkelingen in de Mechatronica

Zoals eerder betoogd zullen veel mechatronische ontwikkelingen gericht zijn op verhoging van de “precisie”, maar wel op een intelligente manier. Dat wil zeggen dat veelal systemen met sensoren, actuatoren en terugkoppeling moeten bereiken wat anders onmogelijk of vanwege de hoge kosten praktisch onmogelijk zou zijn.

Nauwkeurigheid verbeteren kan alleen als toegenomen nauwkeurigheid ook waarneembaar wordt. Veel hangt hiermee af van ontwikkelingen op het gebied van sensoren. Wanneer we aannemen dat ook hier een gestage vooruitgang plaatsvindt, dan moeten de andere systeemcomponenten betere precisie óók mogelijk maken. Veelal vallen de voorgestelde maatregelen tot verbetering van de nauwkeurigheid in één van de volgende twee categorieën:

- 1) Het verminderen van versturende effecten op het systeem.
 - Het doorbreken van de massa-spiraal
 - Andere frame concepten
 - Beter actuatoren
 - (Aktieve) trillingsisolatie
 - Beter beheerste omgevingscondities

- 2) Het vergroten van de robuustheid van het systeem voor verstoringen
 - Het anticiperen op “voorspelbare” verstoringen
 - Statisch bepaald construeren
 - Toename van structurele demping
 - Materialen met lage thermische uitzettingscoëfficiënten
 - Geavanceerde meet- en regelstrategieën

Ik zal nu bovenstaande wegen tot verbetering tot verbetering van de nauwkeurigheid van een mechatronisch systeem kort toelichten.

Het doorbreken van de massa-spiraal

De massa-spiraal is een fenomeen waarbij toevoeging van een functie (uiteraard bedoeld voor een zeer legitiem doel) niet alleen lokaal de massa doet toenemen, maar als indirect gevolg het eerst volgende element richting “vaste wereld” ook stijver en dus vaak zwaarder moet worden. Dit herhaalt zich elke verdere stap richting “wereld” en zo ontstaat een zichzelf versterkend effect. Dit fenomeen is zeer bekend in de lucht- en de ruimtevaartindustrie en begint nu ook in de Mechatronica de noodzakelijke aandacht te

krijgen. Mogelijkheden tot verbetering liggen natuurlijk in andere concepten zoals bijvoorbeeld parallelle manipulatoren versus seriële manipulatoren. Zeer belangrijk is de opkomst van constructiematerialen anders dan staal en aluminium. De belofte van keramische en sommige vezelversterkte materialen: hoge specifiek stijfheid (bijna een factor 4 beter dan staal en aluminium) wordt steeds meer gezien als *het* antwoord op toenemende eisen in dit verband. Een specifieke weloverwogen massavermindering kan de spiraal omkeren en zo kan een relatief kleine wijziging erg gunstig uitpakken voor het geheel.

Andere frame concepten

De functies die men toekent aan een frame-structuur zijn veelal tweeledig, ten eerste: verbindend element dat relatieve posities van verschillende sub-systemen waarborgt én ten tweede het doorleiden van krachten die ontstaan als gevolg van de machinefunctie. Dit zijn functies die op gespannen voet met elkaar staan en nauwkeurigheden negatief beïnvloeden. Er is een trend dat steeds vaker concepten ontstaan waarbij de verschillende functies ook in aparte sub-frames ondergebracht worden; de fysieke verbinding hiertussen vraagt natuurlijk wel de nodige aandacht.

Betere actuatoren

Een ideale actuator in een mechatronisch systeem moet op zijn minst een aantal van de volgende eigenschappen hebben: kracht (koppel) of positie (hoek) uitsluitend afhankelijk van, en evenredig met de ingaande grootte (stroom, spanning, druk, etc.), geen begrenzingen aan het slagbereik en geen dissipatie. De praktijk is anders en de afwijkingen van de ideale karakteristiek kunnen, indien niet op de een of ander manier gecompenseerd, beschouwd worden als verstoringen. Een voorbeeld van een maatregel die wel eens genomen wordt vanwege het niet ideaal zijn van een actuator is het opdelen van het totale slagbereik van een manipulator in een fijne slag (met een zeer goede actuator, maar helaas niet geschikt voor grote slagen) en een grove slag. Een andere maatregel kan bestaan uit het compenseren van de actuator tekortkomingen.

(Actieve) trillingsisolatie

Het isoleren van nauwkeurige opstellingen voor vloertrillingen is bekend. Voor dit doel worden o.a. luchtveren gebruikt. Door parallel aan de luchtveren actuatoren te plaatsen en de positie of doorgeleide kracht van de af te veren massa te meten kan men via de tussenkomst van een regeling de karakteristiek van de luchtveer vervolmaken. Omgekeerd is het ook mogelijk de omgeving te isoleren voor (versnellings-) krachten die binnen de machine zelf gemaakt worden. Een extreem voorbeeld hiervan is het toepassen van balansmassa's. Is men echter tevreden met het isoleren voor wat hogere frequenties, dan kan men met behoud van statische stijfheid de trillingen isoleren via speciale regeltechniek en piëzo actuatoren. Onderzoek op dit gebied wordt o.a. verricht hier op de Universiteit Twente .

Beter beheerste omgevingscondities

Temperatuurfluctuaties, luchtdrukveranderingen (geluid!), vochtigheid hebben alle invloed op de nauwkeurigheid en het functioneren. Voor industriële systemen is dit vaak minder een probleem dan bij consumenten mechatronica of machines als

kopieerapparaten. In de halfgeleiderindustrie is steeds vaker sprake van processen die plaats moeten vinden in vacuümcondities. Niet altijd bedoeld voor nauwkeurighheidsverhoging, maar het kan wel helpen. Overigens vereist het construeren van vacuümapplicaties, gezien de vele beperkingen, een speciaal vakmanschap.

Het anticiperen op “voorspelbare” verstoringen

Niet alle verstoringen hebben een random karakter. Sommige zijn te voorzien en vormen deel van de systeemeigenschappen. Denk hierbij aan oneenparigheden ten gevolge van overbrengingen of cogging krachten in reluctantie motoren. Op dit gebied kan het “lerend regelen” spectaculaire resultaatsverbeteringen geven, zoals onderzoek op deze universiteit al meermalen heeft laten zien. Andere verstoringen zijn misschien wel random, maar hebben wellicht een zodanig laagfrequent karakter dat er real time voor gecompenseerd kan worden.

Statisch bepaald construeren

Het denken in vrijheidsgraden en het vertalen hiervan in statisch bepaalde constructies wordt steeds belangrijker. De belangrijkste voordelen zijn de gedefinieerde belastingen, het niet overdragen van interne vervormingen, voorspelbaar thermisch en dynamisch gedrag en een minimum aan nauwkeurige onderdelen. Misschien zijn de principes hier niet vernieuwend, maar het correct toepassen blijkt toch elke keer weer van grote betekenis.

Toename van structurele demping

Vaak is het verhogen van eigenfrequenties van structuren de methode om het dynamisch gedrag te verbeteren. Aan het verhogen van de demping, wat in sommige gevallen misschien wel een beter antwoord zou zijn, wordt niet snel gedacht. Dit is heel verklaarbaar gezien de beperkte mogelijkheden die de ontwerper hier ter beschikking staan. Toch wordt de vraag naar meer demping groter: het alsmaar verhogen van eigenfrequenties houdt een keer op, statisch bepaald verbinden verkleint de hysteresis en de heel stijve materialen vertonen vaak minder inwendige demping. Een mogelijke uitweg kan gevonden worden door het toepassen van *actieve* demping, zoals o.a. getoond in recent onderzoek aan deze universiteit.

Materialen met lage thermische uitzettingscoëfficiënt

De materialen bekend onder de namen Invar, Zerodur, Ultra Low Expansion glass, hebben alle een relatief lage uitzettingscoëfficiënt, bedoeld voor vormstabiliteit ondanks temperatuurfluctuaties. Natuurlijk doen de warmtegeleiding en warmtecapaciteit er ook toe, maar vaak blijkt een (lage) uitzettingscoëfficiënt de doorslag te geven voor de uiteindelijke nauwkeurigheid.

Geavanceerde meet- en regelstrategieën

Ik zal hier kort over zijn, simpelweg omdat er zoveel over te vertellen valt en ik geen enkele pretentie heb hier ook maar een indicatie te kunnen geven van de mogelijkheden. Het woord: “actief” is meermalen gevallen. Het geeft aan dat via gerichte beïnvloeding bepaalde grootheden zoals een relatieve positie of dempingwaarde geoptimaliseerd worden. Het is echter goed mogelijk veel meer invloedsfactoren mee te nemen in de

regeling met als doel het eindresultaat verder te verbeteren. Men kan bijvoorbeeld denken aan positioneren op basis van een nauwkeurigheidmodel (met variabele parameters) van de machine.

Ten aanzien van het bovenstaande wil ik nog toevoegen dat “het verbeteren” vaak simpelweg kan bestaan door het bestaande eens een keer goed uit te voeren. En met “goed” bedoel ik dan een optimaal systeemontwerp dat ingevuld is met vakmanschap. Een filosofie die er bij voorbaat van uitgaat dat een belangrijk deel van het ontwerp slecht is uitgevoerd en dit vervolgens, indien mogelijk, tracht te compenseren met een overdaad aan regeltechniek en daarmee zogenaamd ‘mechatronisch’ is, zal nooit tot een goede totaal prestatie leiden. Een voorbeeld is de enorme energie die in het verleden is besteed aan het controleren van bewegingen van manipulators met zeer slappe structuren. Dit lijkt vooral zinvol in de beperkte wereld van ruimte-applicaties. Dezelfde energie besteed aan het correct construeren zou de Mechatronica heel wat verder hebben gebracht.

Al het bovenstaande is bedoeld om aan te geven hoe *geleidelijke* verbeteringen te bereiken zijn. Het geeft niet aan dat verbetering ook daadwerkelijk langs die lijnen bereikt zal gaan worden. Er is gelukkig altijd een reële waarschijnlijkheid dat volledig nieuwe concepten de kop op steken met geheel nieuwe mogelijkheden.

Mijn aandachtspunten als hoogleraar Mechatronisch Ontwerpen

Omdat mijn ervaring ligt op het gebied van het ontwerpen, zal ik via die weg ook verbeteringen ondersteunen of mogelijk maken.

Onderwijs

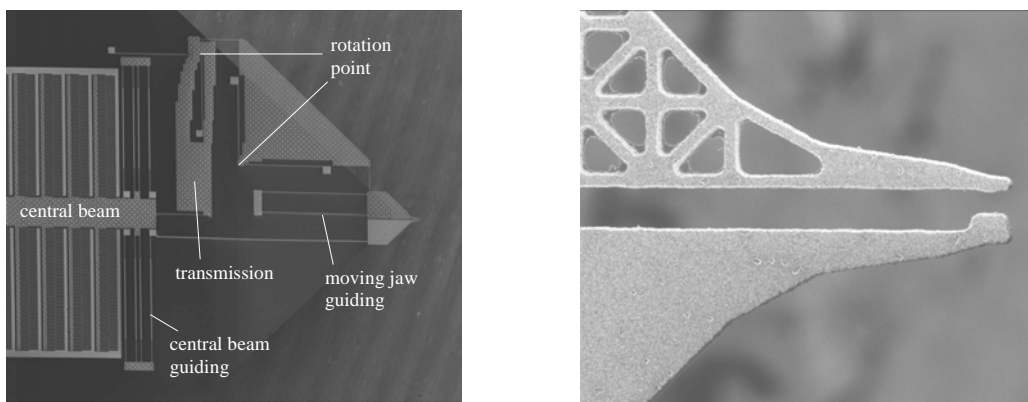
Ontwerponderwijs is altijd moeilijk gebleken, moeilijker zelfs dan het onderwijzen van meer analytisch gerichte vakken zoals stromings- en elasticiteitsleer. Het vak “Constructieprincipes” is één van de uitzonderlijke voorbeelden waarbij zeer effectief bijgedragen is aan de ontwerpvaardigheden van vele generaties studenten. Het vak kent een geschiedenis die teruggaat naar eind jaren zestig. Professor Wim van der Hoek schreef in 1967 een dictaat “Het voorspellen van Dynamisch Gedrag en Positioneringsnauwkeurigheid van constructies en mechanismen”. Behalve dat dit boek een enorme praktische bruikbaarheid had om snel voorspellingen te kunnen doen, gaf het ook daadwerkelijke aanwijzingen hoe het ontwerp te verbeteren, inclusief uitgewerkte constructieve voorbeelden gestoeld op een ruime dosis persoonlijke (Philips-) ervaring. Het boek veranderde van naam, en er volgden meer voorbeelden uit de wereld van de Technische Universiteit Eindhoven. De persoon van Wim van der Hoek en zijn boek met de unieke inzichten o.a. op het gebied van vrijheidsgraden en licht en stijf construeren werden grote voorbeelden in construerend Nederland. Mijn voorganger professor Rien Koster nam in 1986 het werk over van Wim van der Hoek. Hij verkeerde in dezelfde positie: een deeltijdhoogleraarschap gecombineerd met het werk bij Philips CFT. Deze combinatie bleek ook hier uitermate vruchtbaar. Dit uitte zich op dezelfde manier als bij zijn voorganger. Hij breidde het boek uit en het bleef zeer inspirerend, voortdurend voorzien van nieuwe leuke voorbeelden. Hij begeleidde vele enthousiaste studenten en leerde ze een wijze van construeren die de vaderlandse precisie industrie een

ontwerptechnische voorsprong heeft gegeven. Het boek (inmiddels getiteld “Constructieprincipes voor het nauwkeurig bewegen en positioneren”) is uniek en ik zal alles doen wat in mijn vermogen ligt om dit werk het op een vergelijkbare manier voort te zetten.

Het optimaliseren van het dynamisch gedrag ligt aan de basis van veel voorbeelden uit het boek “Constructieprincipes”. Was het oorspronkelijk nog mogelijk binnen de context van één boek op zowel het dynamisch gedrag als het ontwerp in te gaan, later bleek dat onpractisch te worden en werden deze zaken gescheiden. Het ontwerp bleef echter centraal staan, ook al ging het over dynamica. De wereld van de machinedynamica is ondertussen breder geworden en is uitgebreid met mechanische systemen, waarbij via actuatoren, sensoren en terugkoppeling gepoogd wordt nauwkeurigheid te bereiken, mechatronische systemen dus. De interactie tussen regelsysteem en mechanica-ontwerp is een belangrijke en staat centraal in de Mechatronica. Rien Koster weidde hier een apart boek aan, “Mechatronica” geheten. Inmiddels ben ik, samen met dr. ir. Theo de Vries en dr. ir. Johannes van Dijk druk doende met een nieuwe versie van dit werk.

Onderzoek

Mijn veld van onderzoek sluit aan bij lopende programma's hier aan de Universiteit Twente via het Drebbel en het MESA+ instituut. Ik steun van harte het onderzoek naar actieve trillingsreductie. Hiernaast is, gesteund door het IOP programma Precisie Technologie, inmiddels een onderzoek gestart om te komen tot een geavanceerd micro-mechatronisch systeem.



Figuur 9 Voorbeeld van een micro systeem: een grijper voor micro substraten van enkele micrometers grootte (Rinze Haanstra, MESA+)

Het eerst genoemde onderzoek past binnen het kader van de min of meer geleidelijke innovaties. Het tweede is geheel anders van aard. Het is onderdeel van het werkgebied van de Micro System Technologie. Een relatief jong gebied dat zich in een enorme belangstelling mag verheugen en waarschijnlijk voor veel doorbraken zal zorgen op het gebied van uiterst kleine intelligente systemen. We zullen werken aan mechanismen die in staat zijn om in 6 graden van vrijheid te bewegen en zeer nauwkeurig te positioneren. Niets nieuws, behalve dat het hier zal gaan om structuren met typische afmetingen van

een paar milimeter! Het doel is om bijzonder kleine structuren (enkele micrometers groot) te bewegen zodat ze geïnspecteerd of gepositioneerd kunnen worden. Een zeer interessant aspect betreft het feit dat de kreet “multi-disciplinair” hier nog meer op zijn plaats is dan bij de Mechatronica zoals we het nu kennen. De discipline “fabricage”, in dit geval binnen het gebied van de IC fabricagetechnieken en geavanceerde precisiebewerkingen, is onmisbaar in het verder ontwikkelen van dit soort systemen. De multi-disciplinariteit uit zich onder andere doordat het project via 3 AIO’s gezamenlijk, echter elk met hun eigen nadruk, aangepakt wordt.

Onderwijs en onderzoek op het gebied van de mechatronica heeft aan de UT zijn plaats gevonden. Het Drebbel instituut voor Mechatronica en de vele afstudeerders en promovendi die inmiddels hun weg naar de vaderlandse mechatronica industrie hebben gevonden zijn hiervoor het overtuigende bewijs. Bovendien komt er in het nieuwe bachelor-master systeem een masters opleiding Mechatronica. Ik wil via mijn aanstelling als deeltijdhoogleraar graag verder bijdragen aan de verdere uitbouw van deze activiteiten die voor de vaderlandse industrie van groot belang zijn.

Dankwoord

Tot slot wil ik enkele welgemeende woorden van dank uitspreken. Allereerst wil ik dr. ir. Dennis Schipper bedanken. Zonder zijn inspanning stond ik hier niet. De opvolging van de positie van mijn voorganger (professor Rien Koster) bleek namelijk allerm minst vanzelfsprekend. Dat had niet zozeer iets te maken met de relevantie van het vakgebied “Mechatronica” alswel met een gebrek aan fondsen. Dennis Schipper, zelf oud afstudeerder en oud promovendus van Rien Koster (universiteit Twente), heeft vanuit zijn positie: directeur van het ontwerp bureau DEMCON, het initiatief genomen een aantal bedrijven hier in de regio te benaderen met het voorstel om gezamenlijk de hoogleraarstoel “Mechatronisch Ontwerpen” te financieren. De doelstelling is het ondersteunen van het academisch onderwijs in het ontwerpen en construeren van Mechatronische systemen. In deze richting afgestudeerden zijn zeer waardevol gebleken voor de mechatronische industrie in de regio, maar natuurlijk ook daarbuiten. Dennis Schipper is geslaagd in zijn opzet. Daarvoor hulde! De stichting “Mechatronics Valley Twente” werd hiertoe opgericht. Deelnemende partijen waren naast DEMCON: Thales, Urenco, OOM, IMS en Philips ETG, Almelo.

Verder wil ik professor Rien Koster, professor Job van Amerongen en professor Ben Jonker bedanken. Rien Koster is degene die ik opvolg aan deze universiteit en Job van Amerongen en Ben Jonker zijn de hoofden van respectievelijk de secties Regeltechniek (faculteit Elektrotechniek, Technische Wiskunde en Informatica) en Werktuigbouwkundige Automatisering (faculteit Construerende Technische Wetenschappen). Zij hebben alles in het werk gesteld om mij hier aangesteld te krijgen.

Terugkijkend op de wijze waarop ik mijn vak geleerd heb, herken ik drie grote leermeesters. Allereerst professor Wim van der Hoek, mijn afstudeerhoogleraar, maar ook groot inspirator voor het werktuigbouwkundig construeren. Hij heeft me mijn talenten laten ontdekken, mij de eerste beginselen van het construeren bijgebracht en de deur geopend naar het CFT, alwaar ik me verder kon ontplooien. Op het CFT kwam ik

onder de hoede van professor Rien Koster. Rien was toen nog net geen hoogleraar, maar vervulde al een min of meer vergelijkbare rol binnen de Philips gemeenschap. Rien heeft me vooral veel geleerd op het gebied van het dynamisch gedrag van mechanismen, maar ook hoe je die (vaak erg theoretische) kennis op een heel begrijpelijke manier kon overdragen. Een fantastische eigenschap! Eén die aan de basis ligt van succesvol industrieel innoveren. Ik kwam bij het CFT werken en ik werd kamergenoot van Jan van Eijk. Jan had net als Wim van der Hoek en Rien Koster de zo wenselijke combinatie van uitstekend inzicht en creatief vermogen. Jan (tegenwoordig deeltijdhoogleraar ‘Advanced Mechatronics’, Technische Universiteit Delft) was vooral bezig op het scheidsvlak van mechanisch ontwerp en regeltechniek en de vele interacties hiertussen. Hij hoorde daarmee tot de voorhoede van Mechatronica in Nederland en zo profiteerde ik van zijn inzichten. Alle drie de heren hadden gemeen dat ze er in slaagden een brug te slaan tussen theorie en toepassing. Dit had natuurlijk te maken met hun technisch talent, maar had zeker zoveel te maken met de respectvolle manier waarop ze in relatie stonden met het gemêleerde gezelschap van ontwerpers.

Mijn positie in Twente is die van deeltijdhoogleraar. De ‘deeltijd’ is twee lange dagen per week en daarbij opgeteld nog de uren lezen. Deze raken vooral de tijd die ik aan mijn gezin kan besteden. Zonder hun steun zou ik dit werk dan ook niet kunnen doen.

Mijnheer de Rector Magnificus, geachte toehoorders

Ik ben hiermee aanbeland bij het einde van mijn verhaal. Mijn ‘verhaal’ aan deze universiteit is echter nog maar nauwelijks begonnen. Toch voel ik me hier al op mijn plaats en heb vertrouwen samen met de collega’s er in te slagen het vak ‘Mechatronisch Ontwerpen’ te verdiepen, te onderwijzen en uit te dragen.

Dank u voor uw aandacht.