



Prof.dr.ir. Jo Geraedts

Mechatronica, vrijheid in design

Intreerede 29 januari 2010



Faculteit
Industrieel Ontwerpen

 **TU Delft**

Delft
University of
Technology

Challenge the future

J.M.P. Geraedts
"Mechatronica: Vrijheid in Design"
Intreerede Technische Universiteit Delft
In verkorte vorm uitgesproken op 29 januari 2010

Ontwerp: Westerhoff Ontwerp
Druk: Thieme Media Services, Delft



Mixed Sources

Productgroep uit goed beheerde
bossen, gecontroleerde bronnen
en gerecycled materiaal

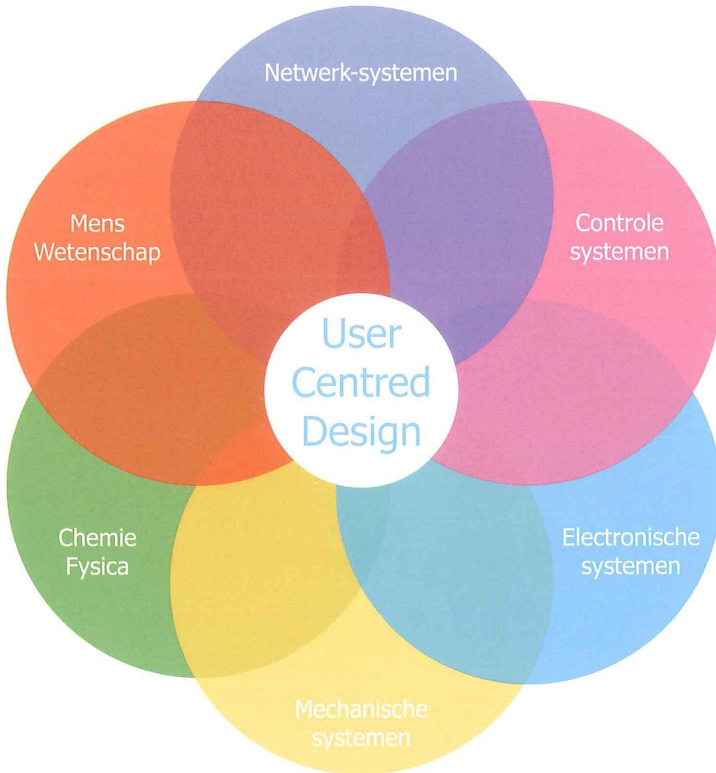
www.fsc.org Cert no. CU-COC-809914
© 1996 Forest Stewardship Council

ISBN 978-90-5155-064-1

© 2010 Jo Geraedts

Dit werk is auteursrechtelijk beschermd

Mechatronica: Vrijheid in Design



“The vast majority of human beings dislike and even actually dread all notions with which they are not familiar... Hence it comes about that at their first appearance innovators have generally been persecuted, and always derided as fools and madmen.”

Aldous Huxley, 1894 – 1963

Intreerede,

Uitgesproken op 29 januari 2010
aan de Technische Universiteit Delft
Mechatronica: Vrijheid in Design

door

prof.dr.ir Jo Geraedts



introdunctie

Mijnheer de Rector Magnificus,
Leden van het college van Bestuur,
Collegae hoogleraren en andere leden van de universitaire gemeenschap,
Zeer gewaardeerde toehoorders,
Dames en heren,

Het is een groot voorrecht om hier te staan als hoogleraar van de faculteit Industrieel Ontwerpen. Dit is de eerste keer dat op deze Universiteit een hoogleraar uit de Océ gemeenschap is benoemd. Een hoogleraar die zijn ervaring in de printerindustrie heeft opgedaan.

Na studie en promotie heb ik 25 jaar gewerkt tussen technici en ervaren, geleerd en toegepast hoe producten voor het kopiëren en printen van informatie worden ontwikkeld. De printers die Océ tegenwoordig maakt zijn bedoeld voor productieve en industriële omgevingen.

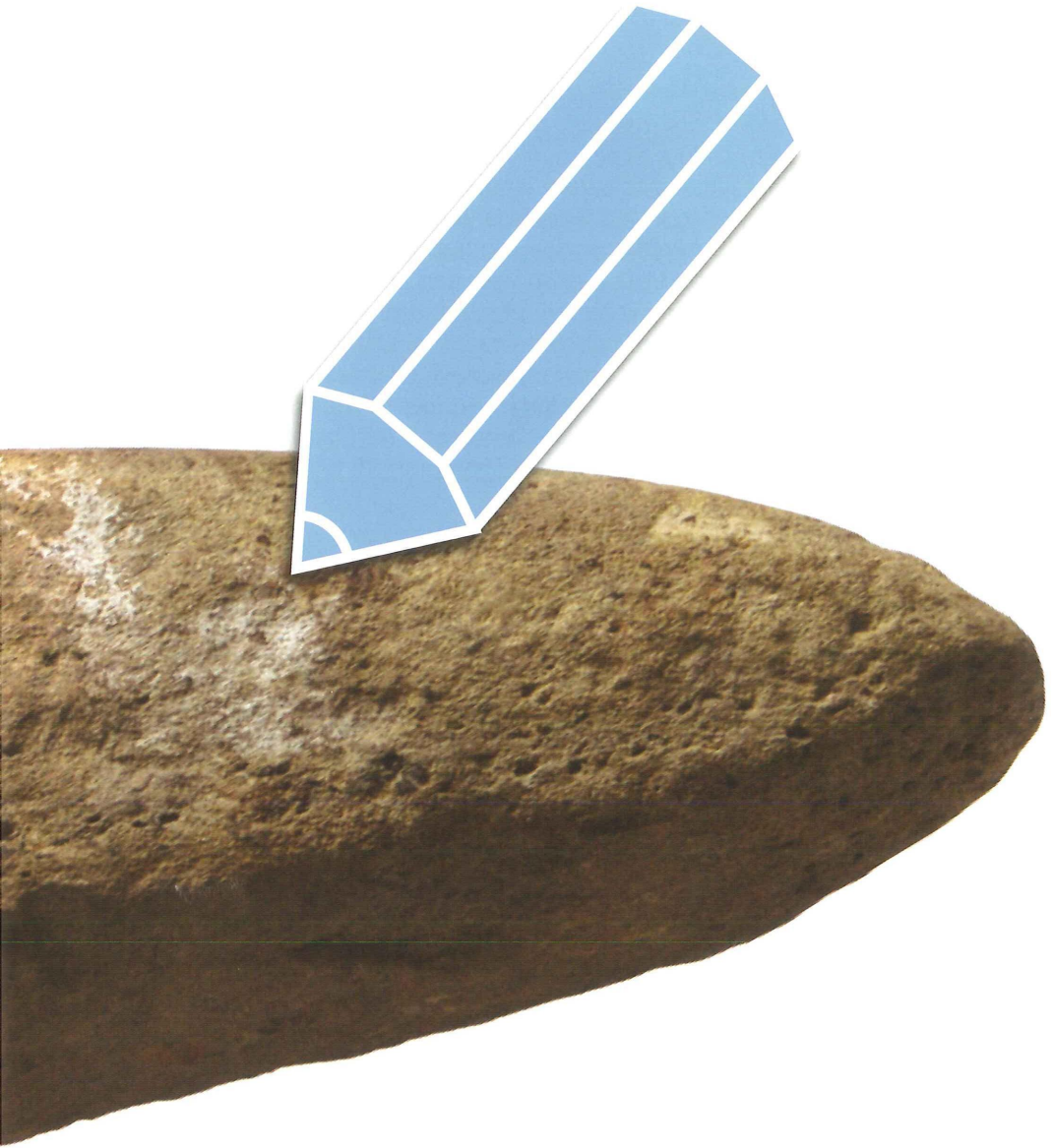
Hoewel een intreerede op de toekomst gericht hoort te zijn zal ik toch in het verleden beginnen. Ik wil in deze intreerede de verandering van ontwerpen gedurende de industriële revolutie, de ontwikkeling van mechatronica en de maatschappelijke impact van deze ontwikkelingen duidelijk maken.

Daarnaast zal ik natuurlijk laten zien hoe een bedrijf als Océ deze ontwikkelingen heeft ervaren en versterkt. Dit was natuurlijk geen toeval met de grote conculega Philips en zijn spin-offs ASML en Assemblion in de buurt.

Ik zal mij in het verdere verhaal richten op mijn zienswijze op het verbeteren van producten en productietechnieken zonder het welzijn van de gebruiker uit het oog te verliezen. Ik zal dat doen door eerst helder te maken wat ik onder ontwerpen versta, het geleerde proces van productontwikkeling uit te leggen en vervolgens deze kennis te spiegelen met mijn ideeën op het gebied van samenleving, onderwijs en onderzoek.

1. ontwerpen





“Design is not just what it looks like and feels like. Design is how it works.”

Steve Jobs (1955-)

Wetenschap bestudeert systematisch onze natuurlijke wereld door middel van waarneming, modelvorming, experimenten, meten en verifiëren. Ontwerpen houdt zich bezig met nieuwe of betere dingen maken. Ontwerpers zijn op zoek naar mogelijkheden om door een ingenieus gebruik van onze natuurlijke hulpbronnen waargenomen tekortkomingen van het product op te heffen (Ruwe, 1993) of het product geschikt te maken voor een andere toepassing. In deze tijd is wetenschappelijke kennis hierbij onontbeerlijk geworden.

Het begon anders. De eerste producten werden al bedacht in de ijstijd. Ze zijn waarschijnlijk door de gebruikers zelf ontworpen. Het oudste product is de stenen bijl en bestaat al meer dan 2.5 miljoen jaar (Henke & Tattersall, 2007). Deze stenen bijlen werden steeds weer verbeterd. De Chinezen gebruikten ca. 2500 BC diamanten om het oppervlak van ceremoniële bijlen gemaakt van het



Figuur 1.1 – Bronze Axe Head, Santa Maria

mineraal saffier te polijsten (LU, et al., 2005). Zij bedachten dus een polijst-techniek zonder wetenschappelijke kennis. Volgens onze historici duurde het daarna nog 2000 jaar voordat diamant ergens anders voor werd gebruikt. Een volgende innovatie was het gebruik van metalen. In Figuur 1.1 is een metalen 'design' bijl van de Inca's van ca. 1500 AC te zien.

Als u de volgende keer een bijl gebruikt is het goed te beseffen dat dit waarschijnlijk het product is waarbij de langste ontwikkeltijd hoort. Een product met de meeste (punt)releases en toegepast in vele marktsegmenten:



Fig. 1.2 - Berimbau

jacht, hout kappen, oorlog voeren, ... Pijl en boog zijn twee andere producten die veel innovaties hebben gekend en al meer dan 60.000 jaar op de markt zijn. Recent gevonden pijlpunten uit het stenen tijdperk in Zuid Afrika geven aan dat daar 60.000 BC al een industrie voor de productie van kleine series was (Backwella, d'Erricob, & Wadleyd, 2008). Deze pijlpunten van botten werden met pigmenten behandeld, gepolijst en voorzien van een soort superlijm om ze stevig op de pijl te bevestigen. Recent onderzoek laat zien dat de gebruikte lijm op basis van Arabische gom was die gewonnen werd uit de Acacia boom. Deze lijm blijkt de juiste eigenschappen te hebben, mits aangebracht bij de goede temperatuur en vochtigheid en gemengd met het pigment (Wadley, Hodgskiss, & Grant, 2009). Onze voorouders maakten dus al zeer goede lijmen zonder wetenschappelijke kennis.

Pijl en boog zijn uiteindelijk ook in zeer veel marktsegmenten terecht gekomen. De meest bekende spin-off is het snaarinstrument (Kinseher, 2004). De eerste versie was een boog met een kalebas: de Berimbau, zie Figuur 1.2. Door de uitvinding van deze producten leerde de mens te overleven, anderen te onderdrukken (oorlog voeren) en vooral hoe hij zijn omgeving en dus ook zijn evolutie kon beïnvloeden.

Bovenstaande voorbeelden laten zien dat de eerste producten al te beschrijven zijn met de volgende ontwerpaspecten:

Gebruiksdoel (utility)

Het product moet gemaakt zijn om een behoefte van de gebruiker te vervullen.

Ik wil stukken vlees om te eten. Met pijl en boog kan ik ook snellere dieren schieten. Met de vuistbijl kan ik het dier gemakkelijk in kleine porties verdelen.

Functionaliteit (functionality)

Het product moet technisch de goede eigenschappen hebben.

Een vuistbijl moet een bepaald gewicht hebben, scherp zijn en van een hard materiaal zijn gemaakt. Door de eeuwen heen kwam hier nog een steel bij om met nog grotere kracht te kunnen hakken.

Gebruikersgemak (usability)

Het product moet intuïtief en ergonomisch zijn.

Het product moet de goede afmetingen en gewicht hebben en prettig in de hand liggen. Je moet intuïtief aanvoelen hoe je de bijl moet vasthouden.

Gevoelservaring (experience)

Het product moet esthetisch en plezierig in gebruik zijn.

Het ontwerp moet je raken, verbazen, ontroeren, want een goed design is ook ... emotie, het wow-gevoel.

Bij bovenstaande "Santa Maria" bijl heeft ook dit aspect een rol gespeeld. Culturele grafiek versterkt het ontwerp.



Een goed ontwerp is dus het vinden van een evenwicht tussen functionaliteit en gebruikersgemak zodat het product succesvol kan zijn in de markt. Het is duidelijk dat dit besef groeit. Steeds meer wetenschappelijk en toegepast onderzoek richt zich op user-centred design. Ook in de grote R&D's is de laatste 10 jaar een langzaam groeiende belangstelling om de gevoelservaring van het product meer prioriteit te geven.

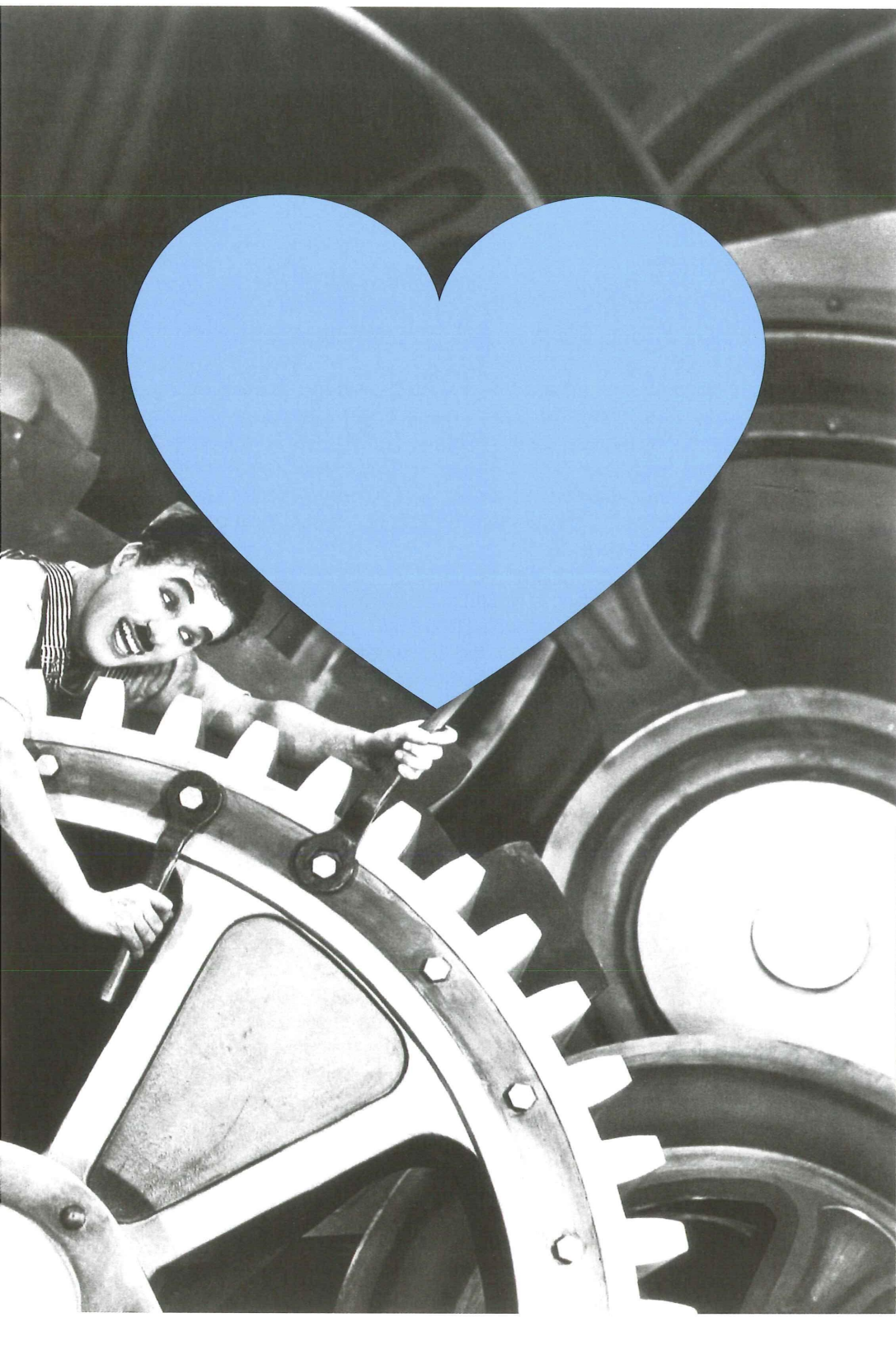
Tijdens mijn promotietijd was ik in dienst van De Stichting voor Fundamenteel Onderzoek der Materie (FOM). Fundamenteel onderzoek naar de bouwstenen van onze natuur betekent dat er nog geen standaard meetapparatuur beschikbaar is. Ik was dus genoodzaakt zelf de ontwerper van mijn eigen meetapparatuur te zijn. Omdat het onderzoek gericht was op het meten van nog onbekende fysische verschijnselen maakte ik gebruik van de zich snel ontwikkelende lasertechnieken waar ik nieuwe functionaliteit aan toevoegde om nog gevoeliger en sneller te kunnen meten dan mijn voorgangers (Geraedts, 1983). Dit resulteerde in de bouw van meetapparatuur die voldeed aan aspect 1 en 2. Gebruikersgemak was niet relevant want de promovendus kost relatief weinig en de gevoelservaring was in het geheel niet relevant.

Anno 2010 zijn veel nieuwe producten complex geworden. Door de verkleining van onderdelen valt dat vaak niet zo op. Eenvoud in ontwerp lijkt het uiteindelijke doel, maar kan niet altijd het resultaat zijn voor ieder product. Want er moet een evenwicht zijn tussen de eenvoud en de bruikbaarheid van een product. Dieter Rams, ontwerper bij de firma Braun, verwoordde dit extreem in zijn designfilosofie: "minder maar beter". Een eigenzinnige variant op "less is more". Zijn doel was het overbodige weg te laten, zodat de essentie zo goed mogelijk wordt getoond. Rams wist op deze manier nieuwe technologieën, zoals de radio of de platenspeler, zo functioneel te maken dat het gebruikersgemak en de gevoelservaring op basis van de uiterlijke vormgeving werd geoptimaliseerd.

Ik zal in deze intreerede de aandacht richten op de ontwerpaspecten van producten met veel functionaliteit en vaak een hoge automatiseringsgraad zoals printers.



2. Gevoelservaring van de massa bij de technologie tijdens de industriële revolutie



Playing a robot is possibly the most difficult role you can have as an actor, because you have to take all your innate emotional responses and completely suppress them. Even the way you walk is affected.

Kristanna Loken, actrice (1979 -)

In de 19de eeuw heeft de ontwikkeling van de wetenschap tot gevolg dat het menselijke leven door de uitbreiding van de technische mogelijkheden steeds meer gemechaniseerd wordt. Dit leidt tot een industriële revolutie, die vanuit Engeland het Europese vasteland en de Verenigde Staten zou overspoelen. Mens en machine hebben sinds de industriële revolutie al een hele geschiedenis samen. Ford Motor Company boekte begin 20ste eeuw een opmerkelijk succes met de introductie van de Model T (1908), een compacte auto voor een lage prijs, waardoor het mogelijk werd dat ook de eigen arbeiders zo'n auto kochten. Tegelijkertijd introduceerde Ford een systeem van standaardisering, synchronisering en specialisering bij de productie, in de praktijk omschreven als de lopende band.

In de Verenigde Staten bedoelt men met "fordisme" het systeem van massaproductie en massaconsumptie, dat karakteristiek is voor de economische groei van de periode 1940-1970. Henry Ford was een populair symbool van de overgang van de landbouweconomie naar een industriële economie. Van hem komt ook de gedachte om voor de arbeiders te zorgen, een familiementaliteit in het bedrijf, die zowel vriendelijk als streng kon zijn. Deze trend werd in Nederland overgenomen door bedrijven zoals Philips.

Toen de gevolgen van de industriële revolutie in de maatschappij zichtbaar werden vertaalden schrijvers en producers dit in kritische beelden die de verbeelding van publiek prikkelden. Ik noem Fritz Lang met zijn film "Metropolis" (Lang, 1927) en Charlie Chaplin met zijn film "Modern Times" (Chaplin, 1936).

Metropolis gaat over een futuristische stad in het jaar 2026, waarin de mensen zijn opgedeeld in twee groepen: de 'denkers' die in luxe boven de grond leven en de 'werkers' die zwoegen in de mijnen. Een vrouw, genaamd Maria, komt op voor de rechten van de werkers. De denkers sluiten Maria op en laten een robot haar vorm aannemen; deze robot speelt vervolgens de werkers tegen elkaar uit en organiseert een opstand welke resulteert in chaos. Wanneer de robot Maria, die verantwoordelijk wordt gehouden voor de chaos, levend wordt verbrand ontdekt men dat het geen echt mens is.

Modern Times heeft de vorm van een satire, waarin de werkomstandigheden van de massa (de werkers) op de korrel worden genomen. In de getoonde fabriek staan absurdistische machines die bediend moeten worden en de werkers worden bewaakt door middel van camera's en beeldschermen. Charlie Chaplin werkt aan een lopende band en is voortdurend aan het

schreeven. Zie figuur 2.1. De film geeft kritiek op "het fordisme" en het door de voortschrijdende industrialisatie veroorzaakte verlies aan individualiteit als gevolg van anonimiteit en mechanische monotonie. De werknemers worden uitgebeeld als afgestompte wezens en Charlie Chaplin speelt de werknemer met een burn-out.

In deze film wordt ook de "Billows Feeding Machine" ten tonele gevoerd, zie Figuur 2.2. Via een virtuele verkoper, die is opgenomen op een langspeelplaat, worden de voordelen van een voedsel automaat aangeprezen. Het grootste voordeel is dat de gebruiker geen pauze meer hoeft te nemen. Het verkooppraatje gaat niet over bedieningsvriendelijkheid maar over functionaliteit en uitvoeringsvorm: "... its beautiful, aerodynamic, streamlined body, its smoothness of action, made silent by our electro-porous metal ball bearings ... Notice the revolving plate with the automatic food pusher.

Figuur 2.2 – Charlie Chaplin en "Billows Feeding Machine" in Modern Times.



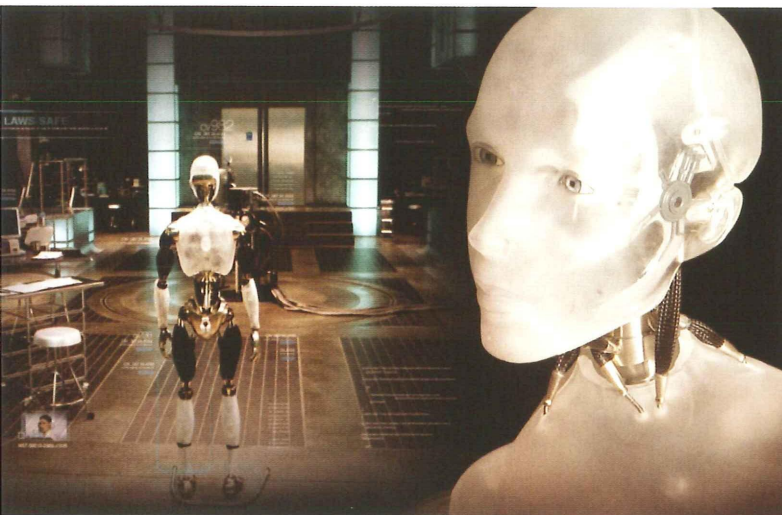
Figuur 2.1 – Charlie Chaplin als werknemer in Modern Times.

Observe our counter-shaft, double-knee-action corn feeder, with its synchro-mesh transmission ... Then there is the hydro-compressed, sterilized mouth wiper: its factors of control ensure against spots on the shirt front ... Remember, if you wish to keep ahead of your competitor, you cannot afford to ignore the importance of the Billows Feeding Machine."

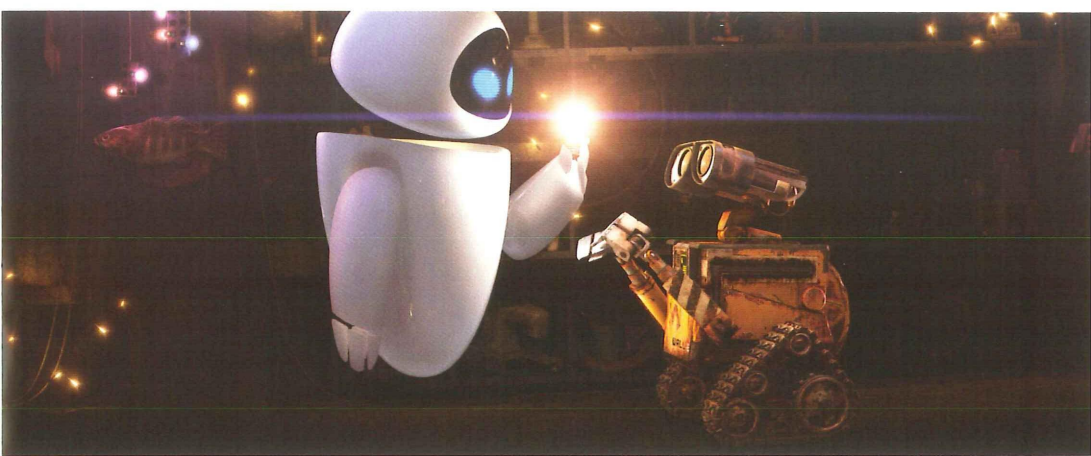
De test op de werkvloer wijst dan ook uit dat "Billows Feeding Machine" nog geen bruikbaar product is. Opvallend is de op feature en technologie gebaseerde beschrijving. Een staaltje van technologiepush van de bovenste plank. Op dit moment wordt wereldwijd, veelal in het kader van de vergrijzing, serieus aan dit soort robots gewerkt.

Het absurde is het feit dat door de globalisering de ontwikkelde gebieden steeds duidelijker worden gedreven door consumentisme en de minder ontwikkelde gebieden door “het fordisme”. Ik haal deze zaken niet aan om de huidige wereld zwart af te schilderen maar om verderop aan te geven waar de uitdaging voor Industrieel Ontwerpers ligt om hier verbetering in aan te brengen.

Als we naar de films van deze tijd kijken zien we dat robots nog steeds tot de verbeelding spreken en vaak een toonbeeld worden van smetteloze technologie. De film “I, Robot” (Proyas, 2004) gaat over de integratie van robots in onze maatschappij en speelt zich af in Chicago in het jaar 2035. De film laat een overtuigend portret zien van een wereld waarin robots geïntegreerd zijn in het dagelijks leven van de mens. De robots zijn allemaal identiek en vertonen alle kenmerken van de ideale mens qua lichaamsbouw en uiterlijk, zie Figuur 2.3. Deze film is gebaseerd op de 3 wetten van de robotica, opgeschreven door Isaac Asimov (Asimov, 1942). Ondanks dat deze logisch in elkaar lijken te zitten blijkt dat de grote supercomputer, die alle robots van nieuwe informatie voorziet, de opdracht geeft aan elke nieuwe robot om in opstand te komen en de wereld te beheersen. De supercomputer VIKI is namelijk van mening dat de mens, door criminaliteit en milieuvervuiling, een vijand voor zichzelf is, en daardoor ziet hij zich genoodzaakt om in te grijpen in het lot van de mensheid. Wall-E (Stanton, 2008) gaat over een zelfbewust robotje dat afval samenperst op een verder door alles en iedereen verlaten Aarde. De mens is van de planeet gevlucht omdat deze door zijn luiheid vervuild raakte en onleefbaar werd. De luiheid werd veroorzaakt door een onafzienbare rij innovaties om het leven steeds aangenamer te maken. De film speelt 700 jaar nadat de mensheid in een ruimteschip het universum ingevlucht is. Terwijl er geen mensen meer op Aarde zijn, gaat robot Wall-E (Waste Allocation Load Lifter Earth Type) door



Figuur 2.3 – I, Robot



Figuur 2.4 – EVE en Wall-E

met datgene waarvoor hij gebouwd is: opruimen. Op een dag komt er een smetteloze en geavanceerde robot genaamd EVE met een ruimtesonde op aarde. EVE gaat op Aarde op zoek naar een teken van leven, zie Figuur 2.4. Wanneer Wall-E haar zijn door de jaren heen verzamelde collectie spulletjes toont, laat hij haar onder meer een levend plantje zien. Dit is wat EVE volgens haar instructies zocht en ze wordt vervolgens weer opgehaald door de ruimtesonde. Aan boord van het ruimteschip bevindt zich wat er nog over is van de mensheid. De mannen en vrouwen spannen zich er zelf totaal niet meer in, maar liggen de hele dag plat op zwevende bedden waar hen alles gebracht wordt wat ze verlangen en/of hun opgedrongen wordt door een door robots in stand gehouden commercie. De robots voeren alle werkzaamheden aan boord uit, zoals productie, onderhoud en schoonmaken. De mensheid is zodoende dik en nog amper zelfstandig mobiel geworden. Ook in deze film probeert de supercomputer aan boord van het ruimteschip op basis van logica te voorkomen dat de mensheid terugkeert op aarde.

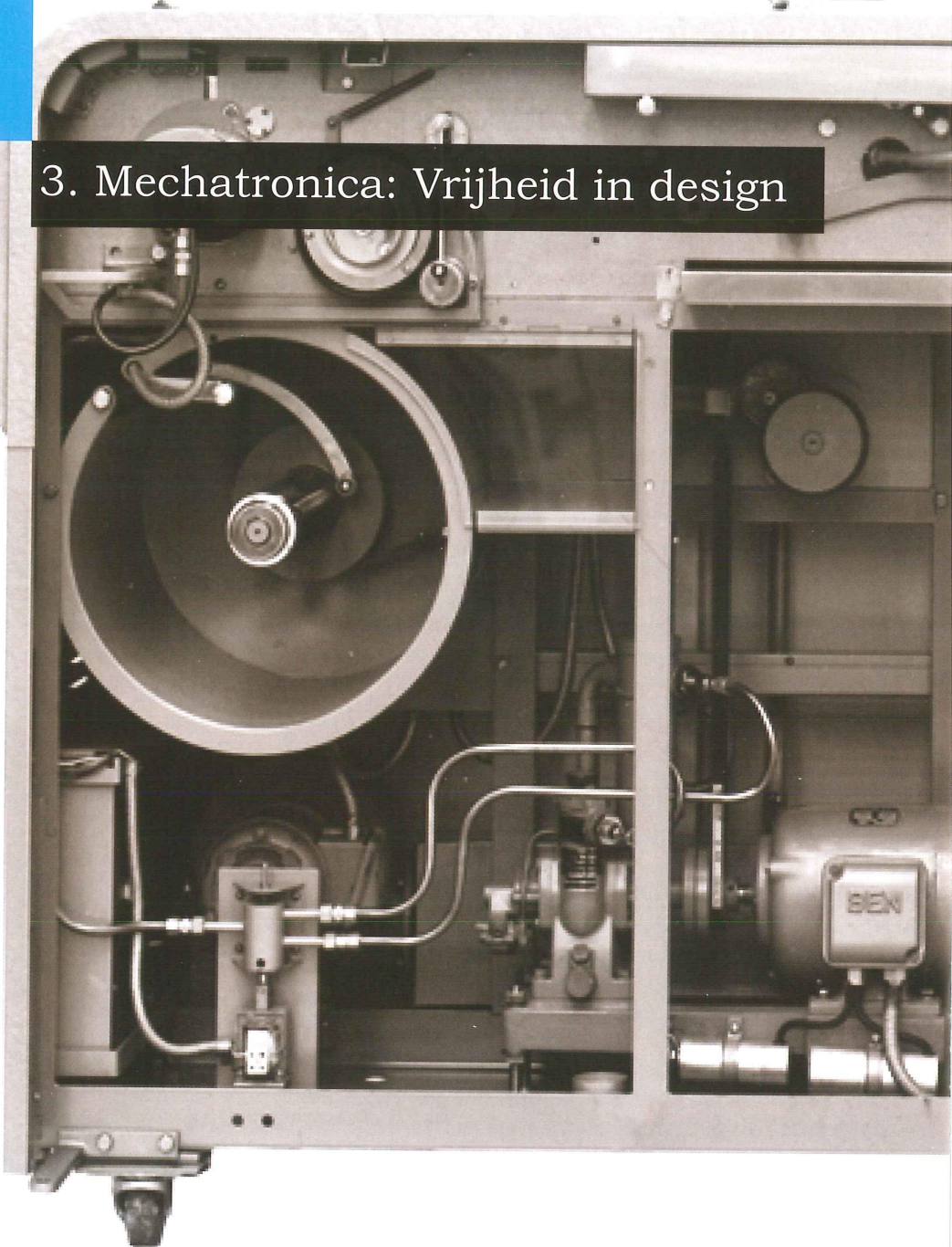
Uit deze science fiction verhalen kunnen we leren dat de mens een dualistische benadering heeft over automaten (robots):

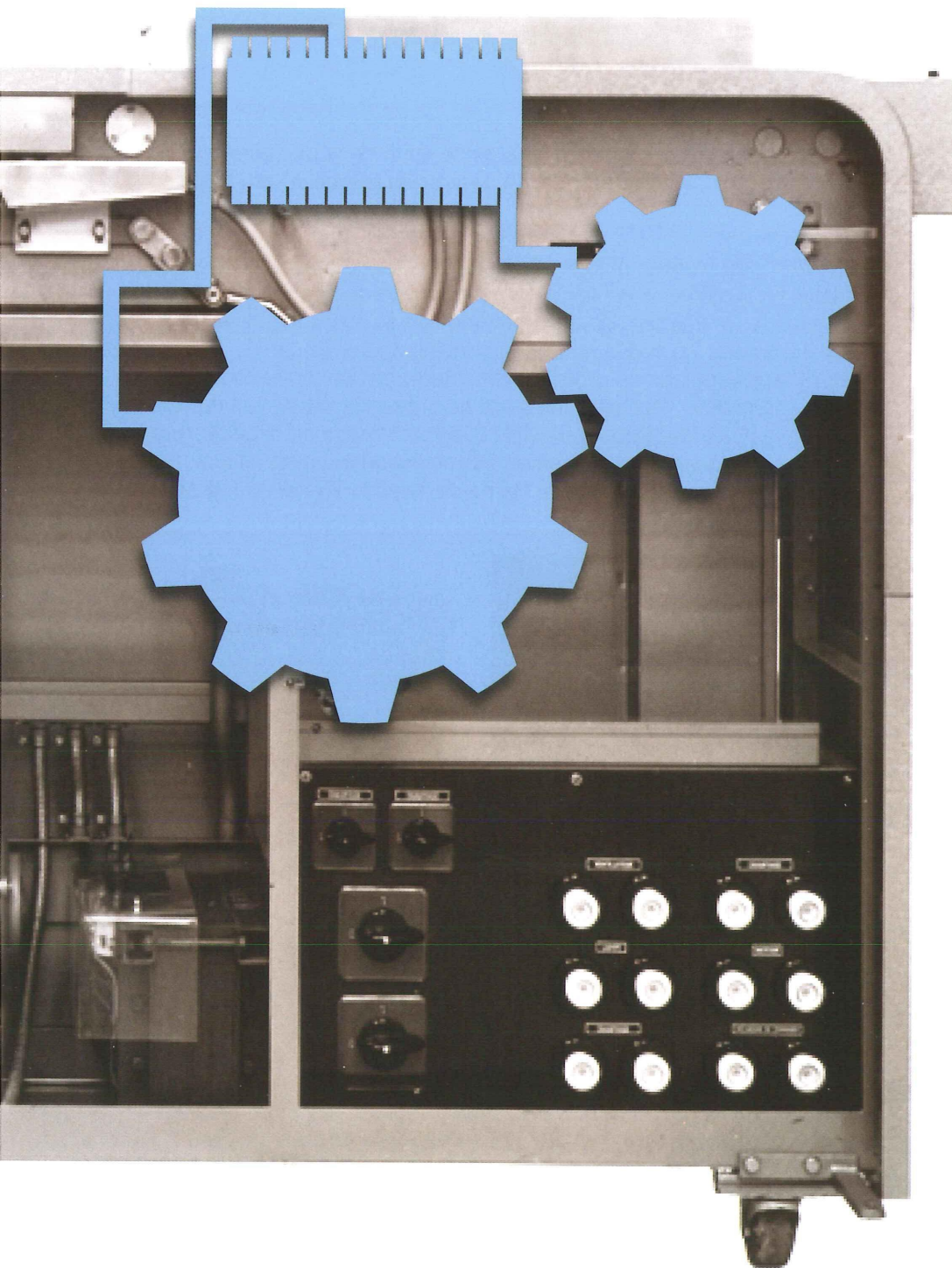
Ja, we willen graag dat ze ons helpen het leven gemakkelijker te maken. Maar moeten ze wel op ons lijken? Vandaag nog gadgets, morgen werkelijkheid?

Nee, we willen niet dat ze het echte denken van ons overnemen.

Maar door de industriële revolutie zijn de huidige technische ontwikkelingen een feit en wordt er wereldwijd gewerkt aan automaten/robots die steeds 'intelligenter' worden. Ze lijken meestal niet op deze robots uit de film maar zijn praktische hulpmiddelen gericht op een beperkt applicatiegebied. Ik kom hier later nog op terug bij Robotica.

3. Mechatronica: Vrijheid in design



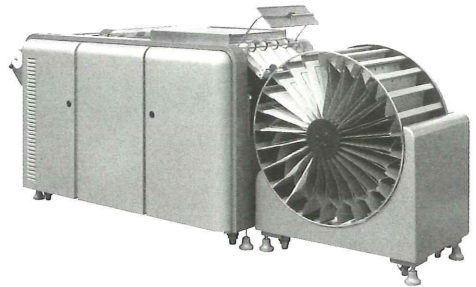
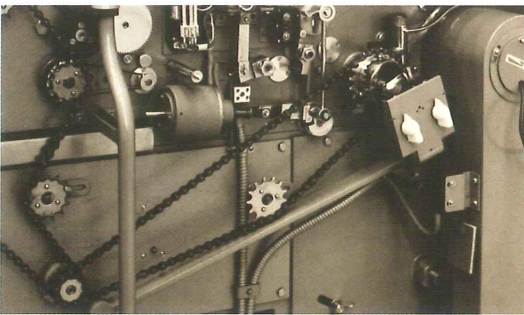


“Experience teaches only the teachable.”

Aldous Huxley, Engelse criticus en schrijver (1894 - 1963)

In de middeleeuwen kwam seriereproductie op in de werkplaatsen of ateliers met een deskundige meester en zijn leerlingen (gezellen) om het werk te doen.

Stap voor stap werden ook de wiskundige, fysische en chemische wetten ontdekt en werd het mogelijk deze wetten actief toe te passen bij het ontwerp van producten. Na de uitvinding van de stoommachine (in 1698), de elektromotor (in 1837) en de verbrandingsmotor (in 1876) werden deze aandrijftechnologieën op grote schaal ingezet om de productieprocessen efficiënt te maken. Mechanisatie werd de drijvende kracht van de (eerste) industriële revolutie. Deze werkwijze leidde tot zware en degelijke producten uit metaal die daardoor kwaliteit en betrouwbaarheid uitstraalden. Een product kocht je voor het leven. Tot na de Tweede Wereldoorlog zette deze trend zich voort.



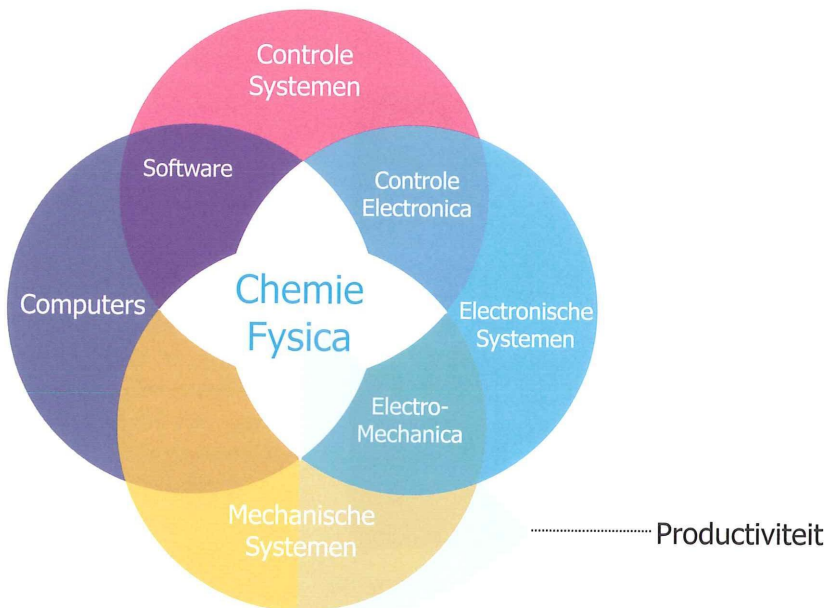
Figuur 3.1 – Océ Combine 150 uit 1956. De centrale aandrijving is een fietsketting.

Eenzelfde ontwikkeling maakte het familiebedrijf Océ - van der Grinten mee. Eerst als producent van chemicaliën (kleurstoffen, 1890). Vervolgens als producent van een chemisch product (lichtdrukpapier, 1919) wat in 1930 leidde tot de revolutionaire uitvinding van het ‘semi-droge diazo-procédé’ dat onder de naam Océ op de markt werd gebracht. Net voor de tweede wereldoorlog (Rétocé lijn, 1936) start Océ ook als ontwerper en bouwer van productieve kopieermachines. In Figuur 3.1 is een van de laatste Océ producten uit deze periode te zien. Zowel het gecoat papier, de ontwikkelvloeistof en de machine werden zelf ontworpen, geproduceerd en geserviced (Velden, 2007).

Het procedé, de fysisch-chemische processen van het product, waren het hart van een product. Deze moesten beheerst worden. Dat gebeurde in eerste instantie door de goede procedé keuzes te maken. De nauwkeurigheid werd voor 100% door de mechanische constructie bepaald. Bewegingen werden gegenereerd via nokken, stangenmechanismen en kettingen, aangedreven door één enkele forse, meestal met een constant toerental draaiende elektromotor. En zo werden alle bewegingen automatisch gesynchroniseerd. Met deze machines werden manuele processen nagebootst met als resultaat een productiviteitsverhoging ten opzichte van het met de hand uitvoeren van het proces. De kwaliteit was een zaak voor de operator die een opleiding kreeg in calibratie, optimalisatie en vaak ook onderhoud.

Voor een schematische weergave van de ontwikkeling in de tijd kies ik de weergave in Figuur 3.2. Dit schema is gebaseerd op de ideeën van Tetsuro Mori and Jiveshwar Sharma uit 1969, senior engineers bij de Japanse firma Yaskawa Electric Corp. We zullen dit schema stap voor stap opbouwen. De vlaaienvoet geeft aan dat voor dit tijdperk de architectuur vooral werd bepaald door het procedé en de mechanica, geholpen door analoge elektronica: elektromechanica.

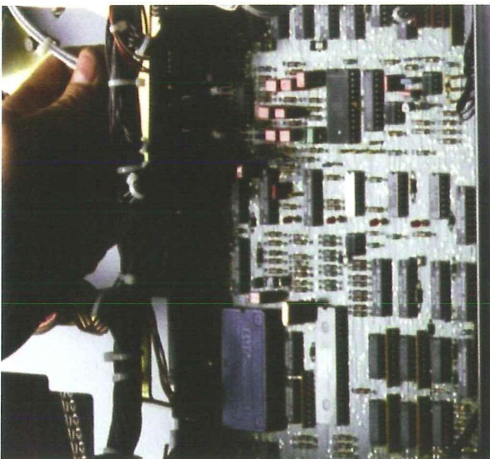
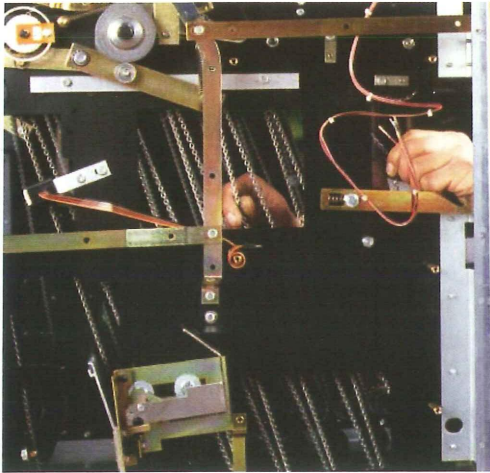
De volgende stap in de ontwikkeling werd gevormd door analoge elek-



Figuur 3.2 – Schematische weergave elektromechanisch product (1980)

tronische meet- en regelsystemen. Eenvoudige sensoren namen de omgeving waar, het analoge regelcircuit bepaalde de actie en stuurde vervolgens de actuatoren, zoals een hefboom, motor of wissel aan.

Voor een schematische weergave zie Figuur 3.5. Hierin staan de fysisch-chemische processen van het product nog steeds in het centrum. Deze moeten

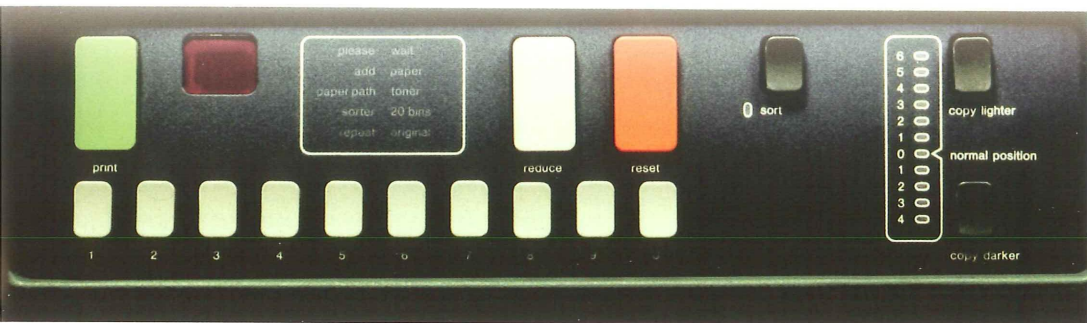


Figuur 3.3 – Océ 1900 uit 1979. De centrale aandrijving is nog steeds een fietsketting. Toepassing van meet- en regelcircuit.

Mechanisch meten en regelen gebeurde natuurlijk al heel lang. In 270 BC vond de Griek Ktesibios een vloeistofregelaar voor de waterklok uit (Lewis, 1992). Op de stoommachine van James Watt zat al een mechanische regelaar om het toerental te regelen.

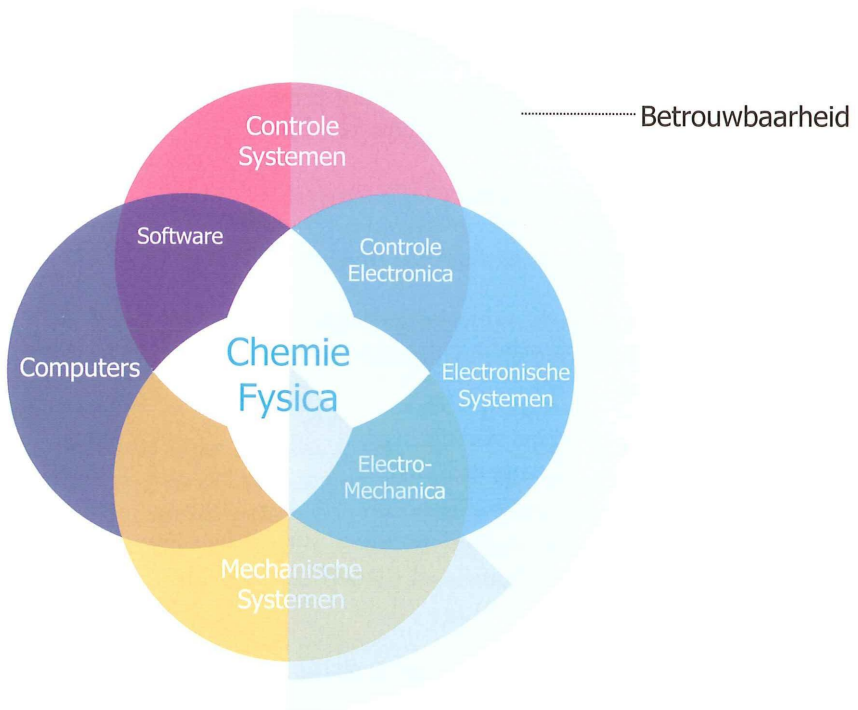
Deze stap is bij Océ natuurlijk ook gemaakt. Een mooi voorbeeld is de aandrijving van de Océ 1900 die nog steeds werd aangedreven door een centrale motor met een fietsketting, maar via het centrale meet- en regelsysteem wel betrouwbaarder was en meer functionaliteit (papiersoorten, verkleinen) aankon. De intrinsieke betrouwbaarheid van het procédé is echter nog steeds op basis van de fysische en chemische keuzes. Zie Figuur 3.3.

Daarnaast moest geleerd worden hoe om te gaan met een toenemende functionaliteit. Producten voor 1980 waren vnl. elektromechanisch en de bediening was een één-op-één afbeelding van functionaliteit en interactie. In de praktijk betekende dit een knop voor iedere functionaliteit. Zie fig. 3.4. Door een goed en ergonomisch product design en goede ordening van de functionaliteit werd de bediening en het gebruik als gemakkelijk ervaren.



Figuur 3.4 – Bedieningspaneel Océ 1900 uit 1979.

namelijk beheerst en gecontroleerd worden. Dat gebeurde door mechanica en analoge elektronica: elektromechanica met meet- en regel (controle) systeem. Hierdoor werden de fysisch-chemische processen in een machine ook gecontroleerd met als resultaat een betrouwbaarheidsverhoging. Rond 1980 werden de processoren voldoende klein en goedkoop om in producten te stoppen. Zo ontstonden de ingebedde systemen op basis van



Figuur 3.5 – Schematische weergave elektromechanisch product met controle systeem (1980)

digitale elektronica. Het hardware regelcircuit is nu vervangen door een ingebouwde computer met een informatie verwerkingsgedeelte (processor, geheugen) en communicatiegedeelte. Het bijzondere is nu dat deze ingebouwde computer draait op software die de interne werking van het product bepaalt (in plaats van de fietsketting) en dus ook het gedrag van het apparaat. Dit is wezenlijk want dit gedrag en de vormgeving bepalen de gevoelswaarde van een product.

In 1991 vatte mijn voorganger, Klaas Robers, dit samen door te stellen dat goed ontworpen producten meer zijn dan mechanische producten met elektronische ondersteuning (Robers, 1991). Hij gaf voorbeelden uit de consumenten industrie waarbij duidelijk was dat de nieuwe oplossing ergonomische en gemakaspecten had. Hij noemde voorbeelden als de CD en de elektrische schrijfmachine. Maar productontwikkeling gaat snel, wie heeft er vandaag nog een elektrische schrijfmachine?

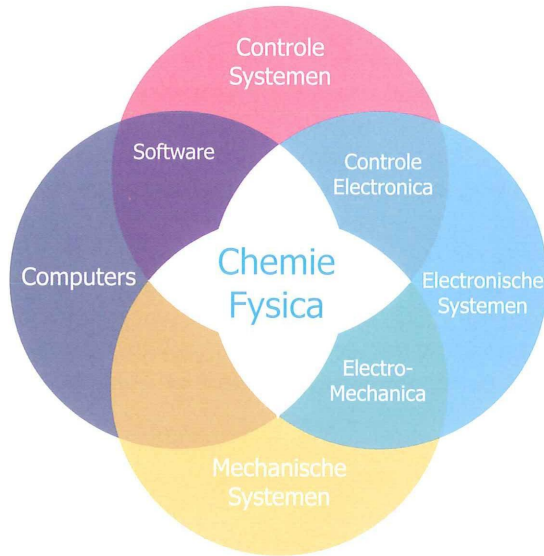
Meet- en regelsystemen zijn er om het product te controleren. Dit heeft voor een product twee betekenissen (Andrei, 2006):

Het testen of het product het goede gedrag vertoont (uitlezen sensoren en checken tegen de gewenste waarde). Dit betreft zowel het gedrag van de elektromechanische hardware als de fysisch-chemische processen.

Beslissingen nemen om te zorgen dat het product het goede gedrag blijft vertonen (als de gemeten waarde niet goed is de juiste actie definiëren en uitvoeren).

In het schema in Figuur 3.6 zijn alle genoemde aspecten van een mechatronisch product weergegeven. We noemen dit nu een mechatronisch product. Goed ontworpen mechatronische componenten bereiken hogere precisie, zijn stabiel, hebben een snellere respons, zijn minder gevoelig voor de omgeving en zijn kleiner/lichter. Daarnaast bieden ze meer controlemogelijkheid voor de gebruikers.

Echter een mechatronisch design is alleen effectiever als alle genoemde aspecten in balans in het basisontwerp worden meegenomen. Aan een elektromechanische constructie achteraf digitale elektronica en meet- en regeltechniek toevoegen om de moeilijk oplosbare zwakheden in het electro-mechanische domein te compenseren is alleen kostenverhogend en maakt zelden een beter product doordat de complexiteit alleen maar vergroot wordt.



Figuur 3.6 – Schematische weergave mechatronisch product (1995)

Multidisciplinaire aanpak is dus essentieel om de complexiteit voor alle aspecten (fysisch/chemisch, mechanisch, elektronisch, meet- en regel en software) integraal op te lossen. Dit vraagt dus projecten met een integratie van de engineeringdisciplines en tegelijkertijd een gemeenschappelijke fasering van het ontwikkel-, engineering- en industrialisatietraject.

Door in het basisontwerp alle mechatronische aspecten in balans mee te nemen wordt dit probleem opgelost. Dit betekent wel dat het product multidisciplinair ontworpen moet worden.

Bij Océ resulteerde dit in een aanpassing van de werkwijze en cultuur van de ontwerpers. In de jaren 80 hadden veel projectleiders een werktuigbouwkundige achtergrond, zij ontwierpen vanuit de constructie, wisten hoe het fabricagetraject eruit zag en konden aan de hand hiervan bepalen hoe de onderdelen ontworpen moesten worden. Zo bouwden we unieke producten met in ieder product een andere mix aan geoptimaliseerde deelconstructies. Vandaag werken we vanuit de integrale concepten en is de productontwikkeling op basis van een functionele decompositie waardoor het gedrag te beschrijven is en modulaire constructies in meerdere producten zijn te gebruiken. Dit resulteert in platform ontwikkeling waaruit meerdere producten zijn af te leiden.

Daarnaast is de (embedded) softwareontwikkeling (informatica) een discipline die nog sterk in ontwikkeling is (Dortmans & Hendriksen, 2006). In een mechatronisch systeem neemt het aantal processoren en totaal aantal regels software snel toe. Meer dan een miljoen regels code is intussen geen uitzondering meer. Er zijn nog nauwelijks standaarden afgesproken zodat iedere leverancier vandaag zijn eigen oplossingsroute kan kiezen. Door de toenemende software complexiteit is het ontwikkelen van foutloze software net zo belangrijk geworden als het ontwerpen van foutloze hardware. Door de toename van de functionaliteit in mechatronische producten ontstaan er steeds meer modules (deelsystemen). Deze modules moeten ieder voor zich foutloos werken maar ook de interactie tussen deze modules moet foutloos zijn. Dit leidt ertoe dat in een mechatronisch project procentueel steeds meer software engineers een taak hebben en dat de software ontwikkelmethoden nog sterk in ontwikkeling zijn.

Binnen de software voor een apparaat kunnen we drie lagen onderscheiden:

1. de embedded laag die onderdeel is van de machine; deze leest sensoren uit, voert het gekozen meet en regelsysteem uit en stuurt de actuatoren weer aan,
2. de embedded laag die communiceert met de gebruiker aan de machine, met andere machines en met het netwerk,
3. de remote software laag (bijvoorbeeld op de desktop computer of de mobiele telefoon van de operator) die op afstand communiceert met de machine.

Als u aan een printer denkt is het

- 1. de software die zorgt dat de machine werkt,*
- 2. de software die de data van het bedieningspaneel stuurt en*
- 3. de software op uw computer die u de mogelijkheid geeft om het gewenste output formaat achter uw bureau in te stellen en te controleren.*

Bovenstaande ontwikkeling van elektromechanische naar mechatronische producten wil ik nu confronteren met de in Hoofdstuk 1. genoemde ontwerp-aspecten:

Gebruiksdoel (utility):

Het product moet gemaakt zijn om een behoefte van de gebruiker te vervullen. Dit is nog steeds waar, producten die hier niet aan voldoen worden niet in voldoende mate verkocht om succesvol te zijn. De door Chriet Titulaer voor-

spelde printer voor kranten als extra onderdeel van de TV is er nooit gekomen.

Functionaliteit (functionality):

Het product moet technisch de goede eigenschappen hebben. Door de vele technologische mogelijkheden stromen de producten over met mogelijkheden die bij normaal gebruik niet worden ontdekt.

Gebruikersgemak (usability):

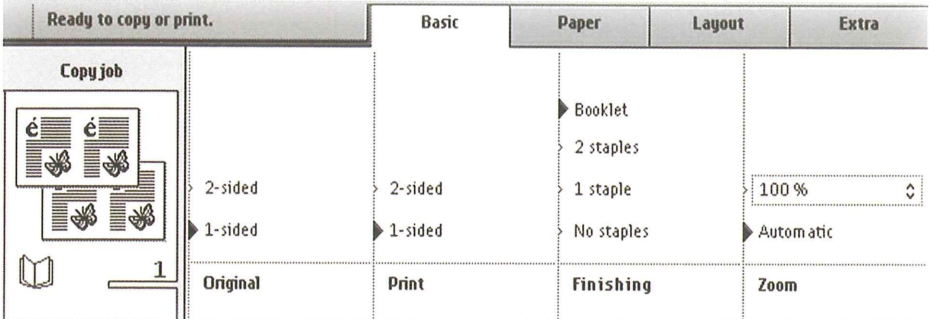
Het product moet intuïtief en ergonomisch zijn. Dit staat bij alle fabrikanten hoog in het vaandel maar betekent veelal niet meer dan het geordend weer-geven van alle mogelijkheden in vele verschillende schermen. Als de gebruiker niet precies weet wat hij wil verdwaalt hij, al of niet geholpen door de HELP-functie.

Gevoelservaring (experience):

Het product moet esthetisch en plezierig in gebruik zijn. Er moet een evenwicht zijn tussen de eenvoud en de bruikbaarheid van een product. Een vrije interpretatie op Dieter Rams "minder maar beter": minder knoppen maar meer intuïtieve automaten. De gebruiker wil in controle zijn, maar alleen als hij dit nodig vindt.

Een goed ontwerp is dus het vinden van een evenwicht tussen functionaliteit en gebruikersgemak. Bij de huidige producten betekent dit dat de technologie de complexiteit moet afschermen door de gebruiker via automaten de optimale kwaliteit te leveren. Dit betekent het ontwerpen van geautomatiseerde instellingen op basis van de kennis van de gebruiksdoelen. Door middel van sensoren die de feitelijke context vastleggen en een goede gebruiksanalyse moet het product adaptief zijn regelininstellingen aanpassen op het door de gebruiker gewenste eindresultaat.

Een voorbeeld is de Océ VarioPrint 2090 uit 2002 (Zie ook figuur 3.7). De eerste automaat is voor de kopieekwaliteit. Deze automaat is deel van de beeldbewerkingsoftware en bepaalt aan de hand van het ingescande beeld en op basis van fuzzy control wat de instellingen voor een optimale kopieekwaliteit zijn. Hierdoor kon de licht-donker knop op het eerste niveau van de bediening worden weggelaten. Dit is in Figuur 3.7 dus niet te zien.



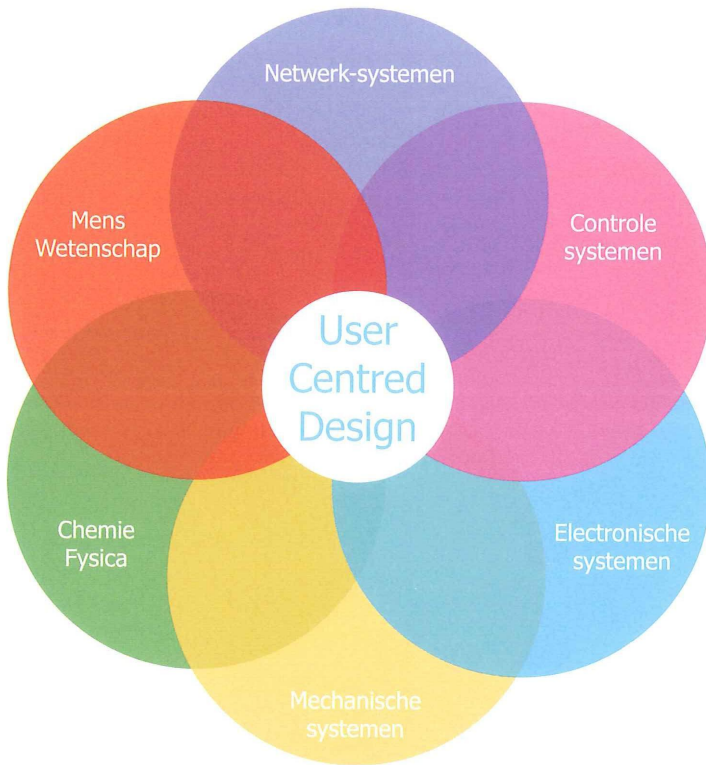
Figuur 3.7 – Bedieningspaneel Océ VarioPrint 2090.

De tweede automaat is voor het maken van boekjes. Deze automaat weet precies hoe een boekje automatisch gemaakt moet worden. Hij kiest dus voor het goede papierformaat, weergave van de beelden en de finishing. Hierdoor kon de boekjesknop op het eerste niveau van de bediening worden toegevoegd in het tabblad finishing. Deze automaten zijn duidelijk een onderdeel van de architectuur van het product en geen toegevoegd laagje software om de bediening op te leuken.

De titel van deze intreerede is: "Mechatronica: Vrijheid in Design". Uit dit hoofdstuk blijkt dat we steeds complexere en nauwkeuriger producten kunnen bouwen met steeds meer functionaliteit. Dankzij de Mechatronica en de snelle groei van de Informatica zijn er technologisch steeds meer mogelijkheden. Te veel bedrijven denken dat dit de wedstrijd is: meer functies in je product stoppen dan de concurrent. Maar de echte wedstrijd gaat uiteindelijk over de bedieningsvriendelijkheid en gevoelswaarde van de producten. Kort samengevat: producten ontwerpen op basis van user-centered design. Hier ligt de uitdaging voor de multidisciplinaire ontwikkelteams.

In Figuur 3.8 is schematisch weergegeven welke disciplines bij het ontwerp van een mechatronisch product een rol zouden moeten spelen. Bij het ontwerp moet duidelijk worden welke functionaliteit er nodig is om het werkelijke

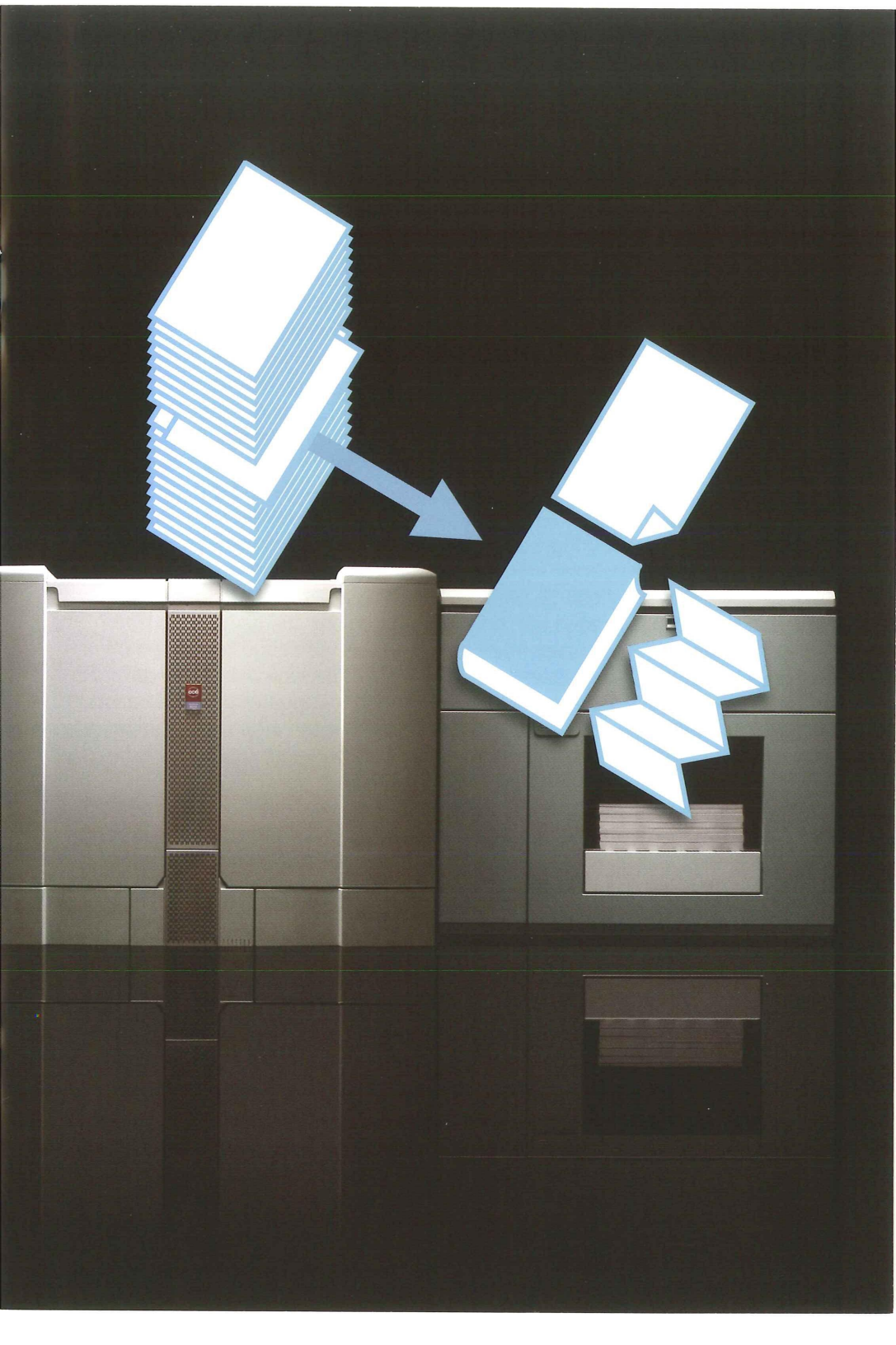
probleem van de gebruiker op te lossen en welke architectuur er nodig is om die automaten te kunnen realiseren waardoor het product "minder maar beter" wordt. Om hier binnen productontwikkeling aan te sleuren is een taak van de Industrial Designer. Hij zal dus gedurende alle projectfases lid moeten zijn van het multidisciplinaire project team om het product te realiseren.



Figuur 3.8 – Schematische weergave adaptieve mechatronische product ontwikkeling (2010)

4. Printen als een vorm van productie





“Vision / It reaches beyond the thing that is, into the conception of what can be. Imagination gives you the picture. Vision gives you the impulse to make the picture your own.”

Robert Collier, American motivational author, (1885-1950)

In Hoofdstuk 2. is beschreven hoe het bedrijf Océ de stap heeft gemaakt van diazotypie naar kopiëren en tenslotte printen. Gedurende al deze tijd ging het voornamelijk over het drukken op allerlei papersoorten: technische bouwtekeningen, kantoordocumenten, boeken en zelfs kranten. Door de digitalisering en mechatronische ontwikkelingen maakte Océ de stap naar steeds hogere beeldkwaliteit, kleur en 'Printing on Demand'. Deze laatste ontwikkeling is belangrijk om op het juiste moment het gevraagde document of boek in een oplage van desnoods één exemplaar te kunnen printen. De controlesystemen zorgen voor de beeld-papier registratie zodat de bladspiegel aan de voor en achterkant van het papier precies over elkaar heen vallen, de automatische verwerking van allerlei papierformaten en gewichten zodat er ook licht rijstpapier mee geprint kan worden, enzovoort. In de praktijk betekent dit alleen de basismaterialen (papier, toner) als voorraad en geen magazijnvoorraden aan boeken meer omdat alle gedrukte boeken vooraf besteld zijn. Daarnaast hoeft er geen boek vernietigd te worden bij tegenvallende verkoopresultaten (vandaag 20%). Bedenk dat er wereldwijd slechts 10 boektitels met een oplage van meer dan 1.000.000 worden gedrukt en ca. 1.000.000 boektitels met een oplage kleiner dan 100. Deze oplages zijn natuurlijk zeer geschikt voor digitaal 'Printing on Demand'.

In de begintijd van het kopiëren waren de kopieën vooral voor eigen gebruik van onze klanten. Maar stap voor stap maakte Océ ook productie engines waarmee onze commerciële klanten producten maakten voor hun klanten: cursusmateriaal, handleidingen, brochures, jaarverslagen, etc. Deze printers worden echte productie engines die daarom industriële printers worden genoemd.

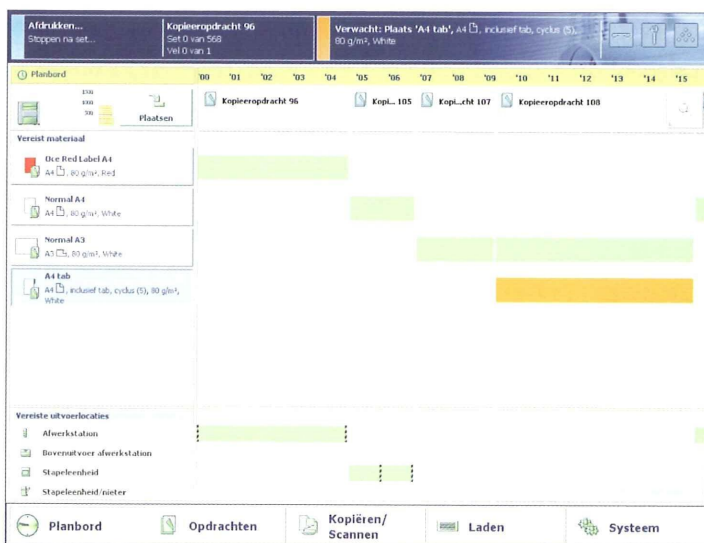
Voor een industriële printer geldt dat hij deel is van een productieproces. Dat betekent dat de printer zijn deeltaak in het proces optimaal moet invullen. Dat vereist technologisch een flexibele invulling van de functionaliteit. Dit wordt in de praktijk opgelost door de functionaliteit modulair aan te bieden. Iedere klant stelt zijn eigen configuratie vast. Een voorbeeld is de Océ VarioPrint 6000 familie. Zie Figuur 4.1. Een industriële printer betekent dat de integrale kosten zo laag mogelijk moeten zijn. Dus ook die van de operator. Het doel is dus een intuïtieve

bediening te realiseren voor iedereen zonder cursussen. De oplossing was uiteindelijk een apparaatgedrag en bijbehorende bediening



Figuur 4.1 – Océ VarioPrint 6000 print systeem

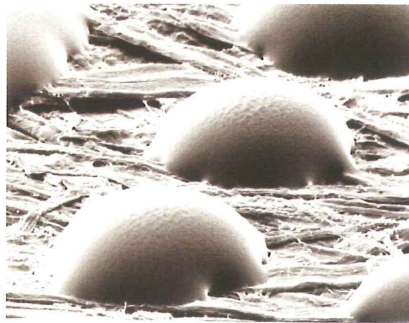
(Planbord) die de operator op ieder moment overzicht verschaft over de printjobs. De operator ziet in een oogopslag aan de gekleurde balken in het Planbord wanneer hij weer moet ingrijpen, zie Figuur 4.2. De operator heeft dus de vrijheid om zijn werk naar eigen inzicht in te delen omdat de machine niet steeds onverwacht stilvalt waarna hij direct moet handelen om de productiviteit niet te laten inzakken. Het Planbord is mogelijk doordat in het print engine extra sensoren zijn geplaatst en in de embedded software de toestand van de machine per opdracht wordt bijgehouden.



Figuur 4.2 – Operator paneel Océ VarioPrint 6000 print systeem: Planbord

Naast deze nieuwe productiviteitsstap is in de laatste jaren inkjet opgekomen als nieuwe printtechnologie. Veel mensen hebben thuis een kleine inkjet printer om documenten van hun PC uit te printen. Deze printers maken een beeld door kleine druppeltjes vloeistof of gesmolten materiaal (inkt) op het papier te spuiten. Ook binnen industrieel printen neemt inkjet een grote vlucht en worden hoge snelheden bereikt. Inkjet is een technologie die het mogelijk maakt om een grote variatie aan materialen te spuiten.

Ook Océ ontwikkelt inkjet technologie voor zijn kleurenproducten. Ook hier is een integrale mechatronische benadering gevolgd. Zowel de inkjet kop, de inkt en het apparaat worden in hetzelfde project ontwikkeld. De eerste producten, zoals de Océ ColorWave 600, zijn nog geoptimaliseerd voor het printen op papier en plastic.



Figuur 4.3 – Hotmelt inkjet druppel op papier

Bij een tweedimensionale print is het beeld opgebouwd uit vele dotjes (pixels) die met een resolutie van bijvoorbeeld 600 dots per inch (dpi) worden geplaatst. Dit betekent inktdruppeltjes van slechts 10 - 40 PicoLiter die met een nauwkeurigheid van 20-40 micrometer op papier worden geplaatst. Zie figuur 4.3.

Met de huidige technologie is het printen van spoortjes van 50-75 micrometer breed standaard. Deze breedte is vergelijkbaar met de breedte van een mensenhaar. Dit gebeurt met een frequentie van 5 – 75 kHz per spuitmondje (nozzle). Een inkjet printhead heeft op dit moment tussen de 128 en 512 nozzles. De bekende wet van Moore voor de microëlectronica is ook van toepassing op de inkjet technologie. De laatste 20 jaar is de printhead performance iedere 18 maanden verdubbeld. Met printhead performance wordt bedoeld het aantal druppeltjes per seconde per printhead. Om dit niveau te bereiken zijn er natuurlijk op mechatronicagebied al grote stappen gezet. Voor printen in een plat vlak op papier levert de huidige technologie al snelheden tot meer dan 2000 bladzijden A4 per minuut. Dit valt zeker in de categorie van industrieel printen.

Inmiddels werkt Mutrax, een spin-out van Océ, aan een printer die etspatronen op de koperlaag van printplaatjes (Printed Circuit Boards) kan printen (Hekkert, Vergeest, & Shauna, 2008). Hierdoor wordt het aantal processtappen teruggebracht van 15 naar 5. Deze printtechnologie heeft daardoor substantieel lagere integrale kosten en is door een lager energiegebruik en minder chemisch afval milieuvriendelijker.

Océ leidt in het High Tech Topproject, opgezet door Economische Zaken ter versterking van de innovatie infrastructuur, een consortium van 23 kennisinstellingen, universiteiten, MKB-bedrijven en multinationals om samen te werken aan geavanceerde nieuwe print toepassingen. Binnen het gezamenlijke onderzoeksproject PrintValley gaat Océ de ontwikkeling van nieuwe printerplatforms op basis van geavanceerde inkjet technologie versterken. Doel is een nieuwe kern binnen de Nederlandse High Tech Maakindustrie te creëren. Een randvoorwaarde is de ontwikkeling van 'groene print technologieën' door de energie consumptie en de belasting van het milieu te verlagen. Binnen PrintValley wordt in dit kader bijvoorbeeld gewerkt aan het printen van beeldschermen, zonnecellen, verpakkingen en veiligheidskenmerken.

Op basis van inkjet zijn vele nieuwe ontwikkelingen op het gebied van digitaal printen mogelijk. De totale omzet in digitaal printen (toner en inkt) is op dit moment minder dan 20% van de totale printmarkt van 650 miljard euro. Hierop voortbordurend liggen er nog veel mogelijkheden op het gebied van digitaal printen.

Als bijna logisch vervolg op het printen in een plat vlak (tweedimensionaal) staan we nu aan de vooravond van het driedimensionaal printen van alle mogelijke materialen. Dit wordt in de literatuur ook wel ruimtelijk of 3D printen (Romano, 2007) of 'Additive Manufacturing' genoemd (Bourell, Leu, & Rosen, 2009). 3D printen betekent dat het produceren van onderdelen niet meer hoeft te gebeuren via het verwijderen van materiaal (hakken, frezen, draaien, etc.) of het laten vollopen van een dure mal (spuitgieten van kunststoffen). Het wordt mogelijk om vanuit een 3D digitale tekening (3D Computer-aided Design file) met het goede materiaal rechtstreeks een product(onderdeel) fysiek op te bouwen. Dit gebeurt met de voordelen van Print on Demand, rechtstreeks uit het 3D CAD station, zonder tussenstappen en op het gewenste moment. Met een inkjet printer kan vandaag een volume van maximaal 1 Liter materiaal per uur worden gejet. Dat betekent dus dat er relatief kleine producten met lage productiesnelheid kunnen worden gefabriceerd. Daarom wordt de eerste generatie 3D printers voornamelijk voor prototypen ingezet. De verwachting is echter dat in 10 jaar tijd (Romano, 2007) de snelheid ook

een factor 10 zal toenemen. Het grootste probleem zal echter zijn om de juiste milieuvriendelijke materialen te vinden voor de 'inkt'.



Figuur 4.4 – Tray Rollercoaster – Designer: Janne Kyttänen 2006

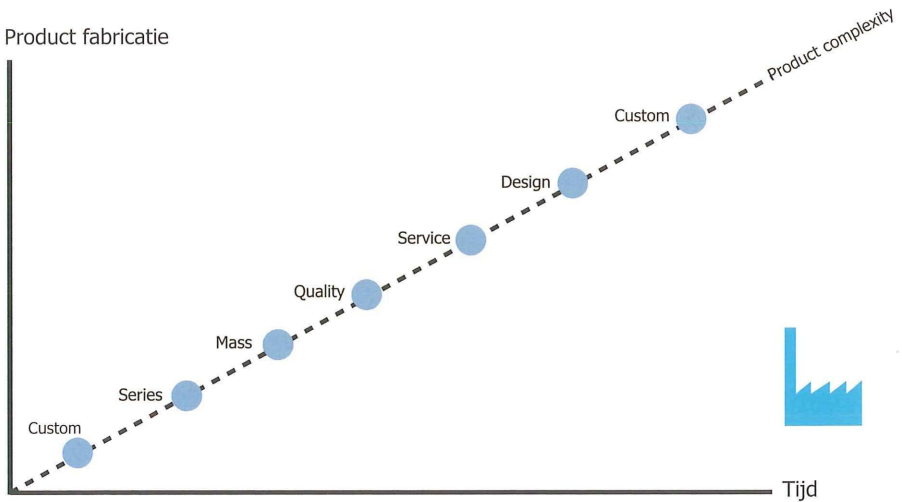
Een bijkomend voordeel van 3D printen is dat labels en coderingen direct mee worden meegeprint en dat alle vormen mogelijk zijn. Productdelen hoeven niet meer in delen gefabriceerd te worden. Zie als voorbeeld de 3D geprinte schaal in Figuur 4.4 die nu al in de winkel ligt. Ik wil dit gedeelte afsluiten met een toekomstscenario.

De 3D “gas, water en licht” printer bij de hobbymarkt.

Stel u voor dat er geen rekken meer zijn met pijpen, schakelaars, verloopstukken, bochten, beugels, etc. Er staat slechts een printer die zijn voorraad basismaterialen in enkele containers heeft zitten. Daarnaast nog pigmentoplossingen om kleur voor codering en/of decoratie te kunnen aanbrengen. De printer print alle benodigde materialen aan de hand van een gecertificeerde database en de maten die u aanlevert. U komt als klant naar de winkel met de maatvoering van uw nieuwe keuken en gaat weer naar huis met een volledige set onderdelen op maat. Er zijn dus minder opslagkosten, minder transportkosten en u hebt thuis geen afval meer.

In dit hoofdstuk heb ik uitgelegd dat printers geëvolueerd zijn naar industriële productiemachines en dat de printtechnologie midden in de overgang zit van het printen van documenten naar een productietechnologie die de potentie heeft 3D-product onderdelen te maken.

Bij producten ontwerpen hoort producten produceren. Door de industriële revolutie zijn we terechtgekomen in een maatschappij van massaconsumptie

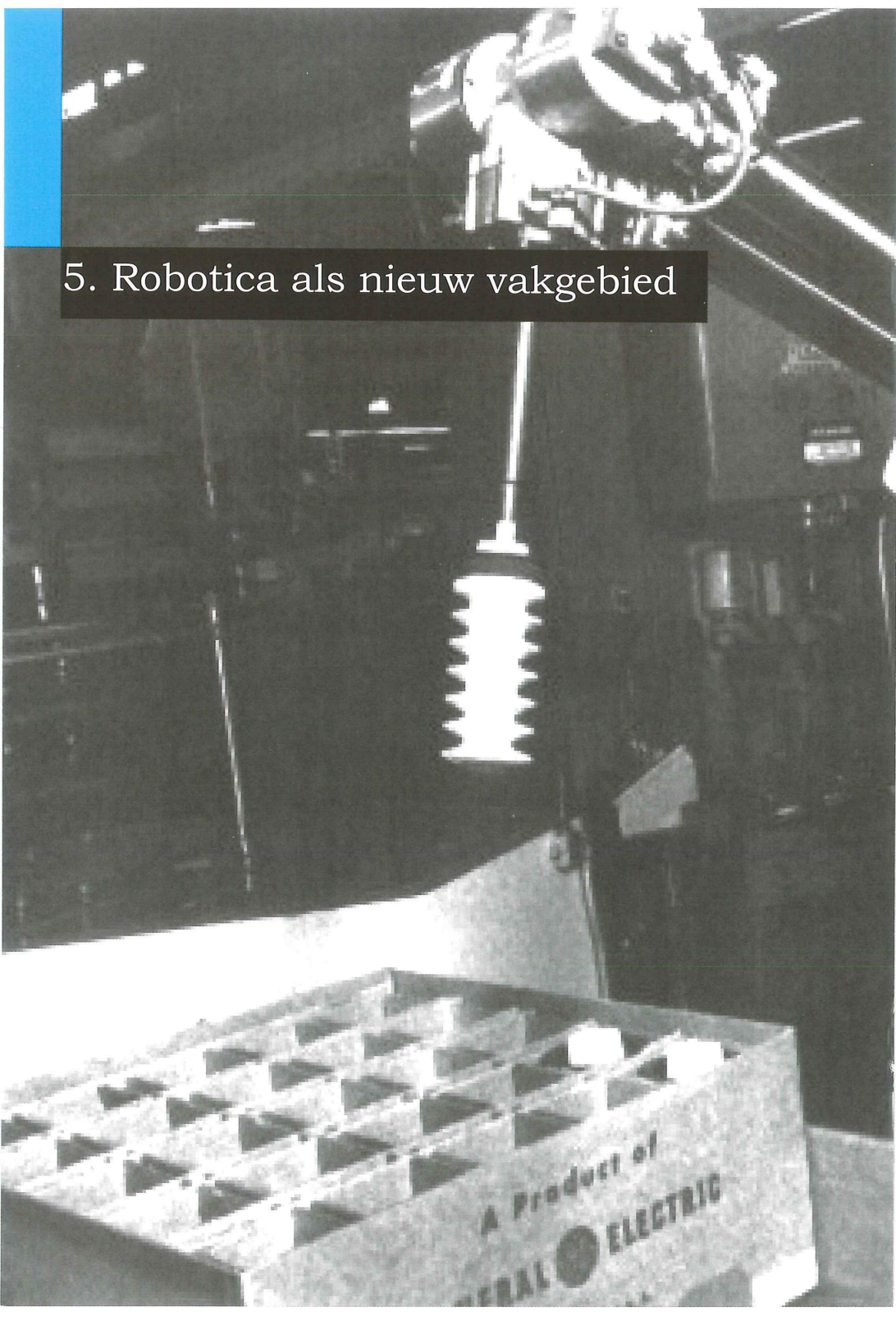


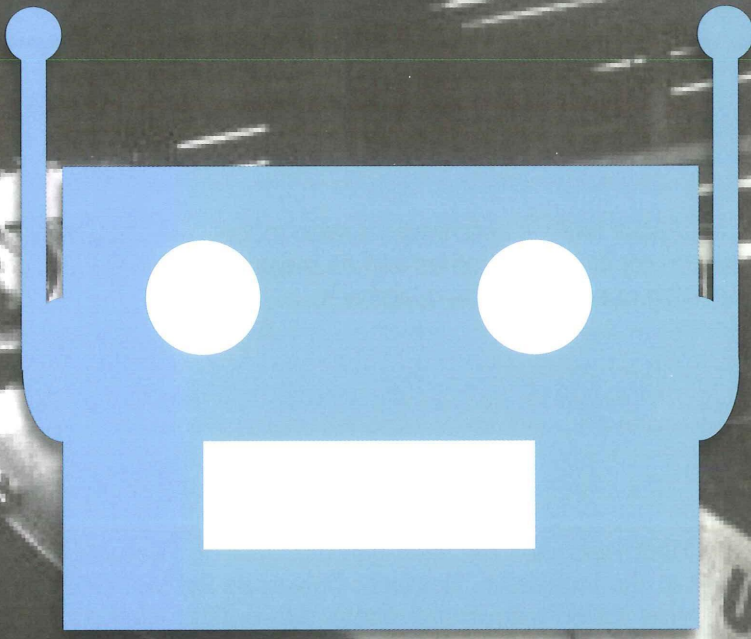
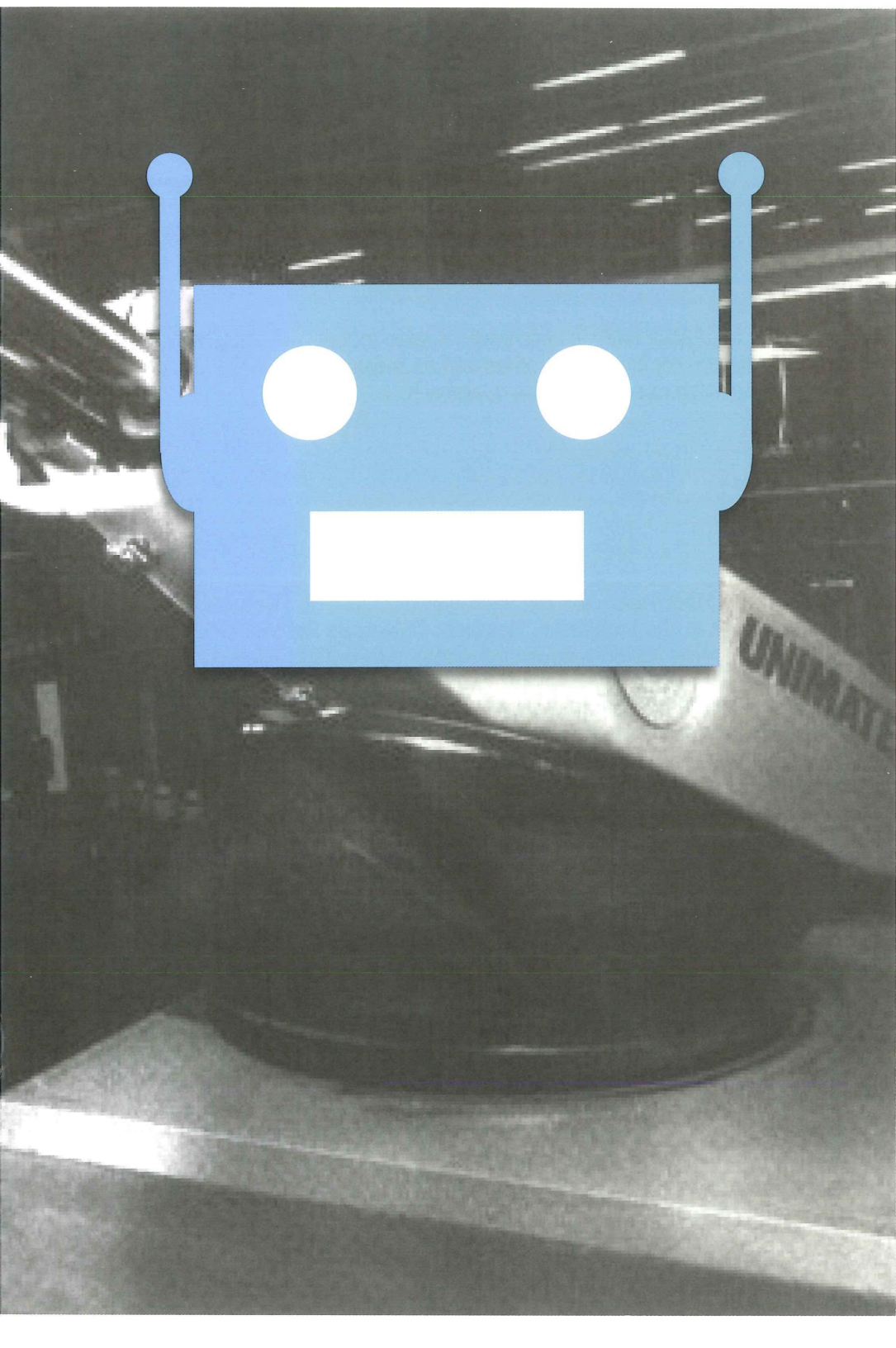
Figuur 4.5 – Ontwikkeling van de productie van eindproducten.

en massaproductie. Door de hierboven beschreven ontwikkelingen ontstaat weer de mogelijkheid om ieder geproduceerd product aan te passen op de wensen van de gebruiker. Zoals in Figuur 4.5 aangegeven kan de productie weer naar enkel stuksproductie (Product on Demand) zonder dat de verworven producteigenschappen verloren hoeven te gaan.

Consumenten kunnen door deze ontwikkeling weer een rol spelen in het proces van productontwerp. Dit kan leiden tot een 'open-source' proces waarin de consument toegang heeft tot gebruikersvriendelijke digitale product databases, vervolgens een product naar zijn eigen wensen kan aanpassen en tenslotte laten uitprinten.

5. Robotica als nieuw vakgebied





UNIMATE

*“... if every instrument could accomplish its own work, obeying or anticipating the will of others ...
if the shuttle weaved and the pick touched the lyre without a hand to guide them,
chief workmen would not need servants, nor masters slaves.”*
Aristotle (384-322 BC), “Politics”, Chapter 3, Book 1

Zoals in hoofdstuk twee is beschreven spelen robots (automaten) al meer dan een eeuw een rol in de dagdromen van de mens. De conclusie uit de science fiction verhalen over robots was dualistisch:

1. Ja, we willen graag dat ze ons helpen het leven gemakkelijker te maken. Maar moeten ze wel op ons lijken? Vandaag nog gadgets, morgen werkelijkheid?

2. Nee, we willen niet dat ze het echte denken van ons overnemen!

Het woord robot werd voor het eerst gebruikt door de Tsjechische schrijver Karel Čapek in zijn toneelstuk “Rossum’s Universele Robots” (1920), en is afgeleid van het Tsjechische woord robota, dat ‘werk of verplichte arbeid’ betekent. Het Tsjechische woord robota heeft de historische betekenis “verplichte, onbetaalde arbeid van een horige voor zijn heer” (in de tijd van het feodalisme). Tegenwoordig wordt het woord ook gebruikt in de zin van zwaar werk of vervelend of verplicht werk. Etymologisch is robota een afleiding van een woord dat “slaaf” betekent.

Op dit moment ontstaat een golf van vernieuwing op basis van mechatronica: Robotica. Robotica is een vorm van wetenschap die zich bezig houdt met het ontwerpen van robots. Dit zijn programmeerbare machines, die semiautonom of volledig autonoom fysieke taken uit kunnen voeren om inspanningen van de mens te vervangen. Een robot verschilt van een typisch mechatronisch systeem, zoals beschreven in Hoofdstuk 3. omdat de robot geen chemisch/fysisch procedé bevat maar ontworpen is om (meerdere, verschillende) repetitieve taken autonoom uit te voeren.

In principe kan ook software onder het begrip robot vallen. Hiervoor worden andere begrippen gehanteerd zoals ‘intelligent agents’ of softbots. Het verschil met robotica is de verschijningsvorm; software code in plaats van fysieke onderdelen. In de praktijk kunnen software robots wel deel uitmaken van de robotica.

In de jaren zestig en zeventig zijn in de auto-industrie automaten ontwikkeld voor repeterende handelingen; deze noemen we industriële robots. Deze robots functioneren, vanwege de veiligheid, in een afgesloten en gecontroleerde ruimte om niemand te verwonden. De allereerste industriële robot werd ontwikkeld in het Servomechanisms Lab in MIT en werd als de eerste computer assemblage assistent gedemonstreerd. De eerste industriële robot, UNIMATE genoemd, werd in gebruik genomen in een autofabriek van General Motors voor spuitgieten en puntlassen bij de assemblage van auto's in 1961.

In de jaren tachtig zijn remote gestuurde automaten voor extreme toepassingen ontworpen, bijvoorbeeld voor het werken op grote diepten onder water of het wisselen van splijtstaven in kernreactoren. Deze industriële robots zijn door hun remote control besturing onder direct toezicht van de operator. In de jaren negentig zijn microrobots ontwikkeld.

Op dit moment is de drive de ontwikkeling van intelligente, mechatronische humanoid robots, die interactief reageren op de omgeving, ook wel service robots genaamd. De vraag is of deze robots werkelijk autonoom in onze samenleving een rol gaan spelen (Stuurman, 2009)?

Om te kunnen (blijven) concurreren met lagelonenlanden hebben sinds de jaren zeventig van de vorige eeuw industriële robots hun intrede in fabriekshallen (productie en assemblage) en magazijnen (logistiek) gedaan. De productie van auto's bestaat vandaag grotendeels uit een geautomatiseerd en gerobotiseerd productieproces. Wereldwijd staan er ongeveer 1.000.000. De huidige industriële robot verschilt van een numerieke machine, zoals

Figuur 5.1 – Industriële robot: Pick and Place robot van de firma ABB.



een CNC bank. In de praktijk betekent het dat een robot voor verschillende producten kan worden ingezet, terwijl een numerieke machine slechts een (deels variabele) taak kan uitvoeren. Een robot kan vaak zelf van grijper wisselen, om zijn verschillende taken uit te voeren. Industriële robots zijn snel, accuraat, sterk en door grote productieaantallen inmiddels relatief goedkoop. Daarnaast verhoogt de inzet van robots bij de productie de arbeidsproductiviteit.



Figuur 5.2 – Industriële robot: Vanwege veiligheidseseisen achter hekwerk.

Deze verhoging komt door 40 jaar lokale suboptimalisatie van de industriële robots. Zij doen snel, accuraat en 24 uur per dag hun werk. Ook kunnen ze diverse productversies door elkaar bewerken. In figuur 5.1. is een industriële robot met zijn bedieningspaneel aangegeven.

Een productie- of assemblagelijijn voor een complex product, zoals een auto, wordt steeds flexibeler richting de assemblage mogelijkheden. Om de industriële robots hiervoor te programmeren wordt gebruik gemaakt van externe deskundigen. In de auto-industrie ligt de productielijn dan weken stil. De operators in de assemblagelijijn spelen hierbij geen rol.

In het geautomatiseerde productieproces moet de mens zich aan de industriële robots aanpassen en zijn mens en industriële robot gescheiden door een hek. Want de robots zijn niet doorontwikkeld op mens-machine interactiegebied. Daarom moet de mens die er mee werkt beveiligd worden. Als je door een productiehal in de autoindustrie loopt zie je duidelijk dat de mens achter het hek werkt. Gedurende productie hebben mens en robot alleen visuele communicatie door het hek en in opperste nood via de rode noodknop. Zie Figuur 5.2. Erger nog, de nieuwste robots zijn voorzien van sensoren en meetapparatuur om de handelingen van de mens in het proces te

controleren. Om te zorgen dat de mensen in de assemblagelijnen zich niet teveel in de film "Modern Times" herkennen wordt gewerkt met jobrotatie op de diverse werkplekken langs de lijn.

De wereldmarkt voor (voornamelijk industriële) robots had in 2008 een totale omzet van 17.3 miljard dollar. Er wordt de komende jaren een groei van meer dan 10% per jaar verwacht. In 2007 waren er in Nederland ca. 4500 industriële robots in gebruik, 55% in het verplaatsen van product(onderdelen) en 24% als lasrobot. In 2007 waren er in Europa ca. 32000 industriële robots in gebruik, 58% in het verplaatsen van product(onderdelen) en 26% als lasrobot (Programme, 2010). Dit betekent dus dat de industriële robots nog slechts voor een klein gedeelte andere taken uitoefenen zoals assembleren of alleen deelproducten produceren.

De in Hoofdstuk 4 beschreven Océ VarioPrint 6000 is in bovenstaande definitie ook een industriële robot. De mens/operator legt pakken papier op een zeer gedefinieerde plaats (vellenbak) en haalt deze bedrukt er op het einde op een zeer gedefinieerde plaats (aflegbak) weer uit. Echter de operator bepaalt de volgorde, kan jobs over een andere machine leiden, kan ingrijpen in het printproces, etc. Deze productiemachine heeft dus al het niveau waarmee de operator samen kan werken. De bedienbaarheid en de gevoelswaarde is op hoger niveau doordat de bediening intuïtief is (Zie Figuur 4.2) en de operator kan zelf het grootste deel van de storingen verhelpen. De intelligentie van de mens (operator) werkt samen met de automaten van deze industriële robot en de mens heeft het gevoel dat de machine zijn werk meer ondersteunt dan dicteert.

"Imagine being present at the birth of a new industry. It is an industry based on groundbreaking new technologies, wherein a handful of well-established corporations sell highly specialized devices for business use and a fast-growing number of start-up companies produce innovative toys, gadgets for hobbyists and other interesting niche products. But it is also a highly fragmented industry with few common standards or platforms. Projects are complex, progress is slow, and practical applications are relatively rare. In fact, for all the excitement and promise, no one can say with any certainty when or even if this industry will achieve critical mass. If it does, though, it may well change the world. Of course, the paragraph above could be a description of the computer industry during the mid-1970s, around the time that Paul Allen and I launched Microsoft. Back then, big, expensive mainframe computers ran the back-office operations for major companies, governmental departments and other institutions. Researchers at leading universities and industrial laboratories were creating the basic building blocks that

would make the information age possible. Intel had just introduced the 8080 microprocessor and Atari was selling the popular electronic game Pong. At homegrown computer clubs, enthusiasts struggled to figure out exactly what this new technology was good for.

But what I really have in mind is something much more contemporary: the emergence of the robotics industry, which is developing in much the same way that the computer business did 30 years ago". (Gates, 2007)

Stappen die genomen moeten worden om industriële robots tot een betere integratie in het werkproces te krijgen liggen op het vlak van mens-machine interactie. Dit zal direct invloed hebben op de architectuur van de industriële robots. Ze zullen namelijk een ander adaptief en meer bij de mens passend interactie interface moeten krijgen. Voor de industriële robots in de productie of assemblagelijng betekent dit dat hun acties snel aangepast kunnen worden, dat ze niet op ongewenste plaatsen en tijdstippen opduiken waardoor ze de mens verwonden en vooral dat het apparaatgedrag is geoptimaliseerd om met de mens samen te werken.

Als de robot zijn intrede doet in het dagelijks leven als service robot, ook wel bot genoemd, wordt het probleem nog complexer en zal het succes afhangen van het multidisciplinair leren samenwerken van de menswetenschappen en de technische disciplines, die vandaag nog nauwelijks geïntegreerd zijn. Want deze ontwikkeling zal alleen maar succesvol worden als de maatschappij deze service robots accepteert. "Innovation is not what innovators do, it is what users adapt". De hooggespannen verwachtingen zijn dat de service robot door de vergrijzing van de bevolking in de ontwikkelde landen een extra impuls zal krijgen. Bill Gates trok alweer 3 jaar geleden een interessante parallel met de ontwikkeling van de PC (Gates, 2007).

Figuur 5.3 – Service robot: prototype van de CAFERO robot door de Koreaanse firma Yujin.



In de afgelopen 25 jaar heeft het internet ons dagelijks leven beïnvloed, zowel in ons sociale leven als in ons werkzame leven. Het internet is een structuur voor het koppelen van computers. Maar bijna al deze computers zijn nog steeds passieve apparaten met geen of zeer beperkte mogelijkheden voor interactie met de fysieke wereld. Spelcomputers gaan daarin nu het verst. Robots zullen ontworpen moeten worden op een intelligente interactie met de omgeving. De gebieden die we nu onderscheiden voor robot ontwikkeling zijn industriële, service en medische robots. De voorspelling is dat in de komende 25 jaar robots ons dagelijks leven meer en meer (Panken) zullen beïnvloeden op een manier die vergelijkbaar zal zijn met de gevolgen die het internet heeft op ons leven (Consortium).

In Japan is veel onderzoek naar de autonome service robots door o.a. autofabrikanten. Dit lijkt een logisch vervolg op de industriële robots die ze hebben ontwikkeld. Toch is er een groot verschil omdat deze service robots gepersonaliseerd, contextafhankelijk en anticiperend zullen moeten kunnen werken. In Figuur 5.2 is de service robot CAFERO van de Koreaanse firma Yujin te zien. Dit prototype vervult de rol van de ouderwetse (?) koffiejuffrouw en maakt de wandeling naar de koffieautomaat overbodig. Maar wat gebeurt er nu als deze zelflerende service robot eens in de maand de koffie in de schoot van de gebruiker laat vallen door een niet in het lab te voorziene interactiefout? Want ook de gebruiker zal op een niet voorspelbare manier een leerproces ondergaan!

Betekent de ontwikkeling van de service robot dat wijzelf als mens steeds minder autonoom worden en dat ons nieuwe normen worden opgelegd? In andere woorden dat onze vrijheid wordt beperkt? Zakken wij af naar een vorm van afhankelijk gedrag zoals de mensheid aan boord van het ruimtecruiseschip in de film Wall-E (zie Hoofdstuk 2) omdat we steeds minder zelf hoeven of willen doen? Op het moment dat we echt interactie krijgen met de service robots (en waarschijnlijk de erachter liggende ambient intelligent omgeving) zal blijken dat het invloed heeft op ons eigen gedrag. Kunnen we dit van te voren inschatten? Waarschijnlijk niet. Vijftien jaar geleden waren veel mensen sceptisch over de mobiele telefoon. Wie heeft er vandaag geen meer bij zich? We passen ons dus snel aan.

Een Voorbeeld van initiatieven in Nederland is de oprichting van het nationale platform RoboNed door het 3TU Center of Competence for High Tech Systems (Panken).

Een ander initiatief is de oprichting van RoboEarth onder leiding van de Technische Universiteit Eindhoven (TU/e). In dit project wordt een soort

world wide web ontwikkeld voor robots waarin zij taken en handelingen kunnen opslaan die zij hebben aangeleerd. Hierdoor hoeven andere robots, waar dan ook ter wereld, deze taken zelf niet meer te leren. Daardoor kunnen robots zich in principe veel sneller nieuwe handelingen eigen maken mits er een industriebrede standaard voor robotapplicaties ontstaat (TU/e, 2010). Vanuit functionaliteitontwikkeling en misschien zelfs vanuit bedieningsvriendelijkheid een zeer goed initiatief. Vanuit gevoelswaardeontwikkeling geen garantie. Hiervoor zijn de applicatiegebieden van de robotica vandaag te divers.

Naast deze initiatieven is er ook de open vereniging Point-One van en voor hightech bedrijven en kennisinstellingen die zich in Nederland bezighouden met onderzoek en ontwikkeling in het vakgebied nanoelectronica, embedded systemen en mechatronica. Binnen de groep mechatronica is er ook een grote belangstelling voor de ontwikkeling van industriële en service robots (Point.One, 2010). Ook binnen dit programma zijn de eerste robotica onderzoeken goedgekeurd.

In dit hoofdstuk heb ik uitgelegd dat industriële en zeker service robots nog in de kinderschoenen staan. Maar ook dat het onderzoek nu snel toeneemt. Onderzoek dat vele toepassingsmogelijkheden voor ogen heeft. Persoonlijk denk ik dat onderzoek naar de geïntegreerde industriële robots een logisch vervolg is op de ontwikkeling van mechatronische producten die al een hoge graad van bedieningsvriendelijkheid en gevoelswaarde hebben bereikt. Het doel moet zijn om de kennis van de industriële robots toegankelijk te maken voor midden en kleinbedrijf. Van deze bedrijven zijn er nog steeds 250.000 in Europa. Dus de industriële robot als commodity in productieomgevingen voor kleine series zonder extreme veiligheidseisen en apart geschoolde operators. De uitdaging ligt op het vlak van nieuwe architecturen die rekening houden met het goede apparaatgedrag en bedieningsvriendelijkheid. Onderzoek hiernaar is niet alleen werken aan een beter te begrijpen bedieningspaneel maar meer nog aan een goed mechatronisch apparaatgedrag met bijbehorende architectuur die ook zorg draagt voor flexibiliteit en veiligheid. Het eerste Europese project op dit gebied is net afgerond: SMErobot™ - The European Robot Initiative (Programme, 2010). Daarnaast zal standaardisatie en goed afgewogen functionaliteit belangrijk zijn. Deze eerste stap is gericht op een midden- en kleinbedrijf robot als kleine broer van de bestaande industriële robots.

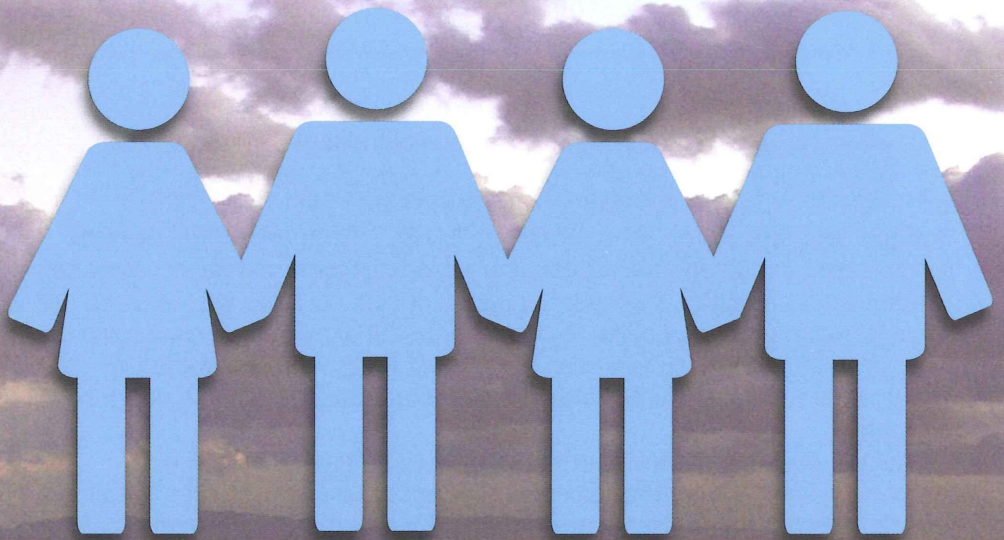
Als we de autoindustrie niet meetellen is in Nederland het aantal robots per 10.000 rond de 50; in Duitsland boven de 100 en in Japan boven de 200 (<http://www.automatica-munich.com/link/en/22849231#22849231>). Juist in ons land met veel MKB, die veel flexibeler en ongestructureerder

zijn ingericht dan de automobiel industrie, zouden industriële robots een uitkomst moeten zijn. Dit komt waarschijnlijk door het feit dat de embedded software en de sensoren nog niet op het niveau zijn dat ze een aantal vitale eigenschappen van de productiemedewerker kunnen vervangen. Het zien en voelen en de daaronderliggende oog-hand coordinatie moeten real-time en foutloos nagebootst kunnen worden. Als we dit niveau weten te bereiken is er een grote potentie om veel maakprocessen van (mechatronische) producten te automatiseren.

De multifunctionele industriële robot die niet alleen tooling kan hanteren maar ook in de productielijn deelproducten maakt is nog ver weg. Mijn inzet zal zijn dat dit type onderzoek een onderdeel wordt van het researchprogramma van onze vakgroep Product Design en uitgevoerd in multidisciplinaire projecten met als doel de ontwikkeling van (industriële) robots waarmee de mensen graag willen en durven werken als ze een kleine serie producten willen maken.

6. Samenleving





*De wereld biedt genoeg voor ieders behoefte
maar niet voor ieders begeerte.*

Mahatma Gandhi

Producten op basis van mechatronica verbruiken energie. Mechatronica kan echter helpen het energieverbruik te verlagen. In een product kan de embedded controle software ervoor zorgen dat alleen die functies worden aangezet die op dat moment nodig zijn. In een printer betekent dit bijvoorbeeld dat de energiehuishouding wordt afgestemd op de job. Voor het printen van dun papier is minder energie nodig om de toner vast te fuseren dan voor een kaftje van dik papier. Ik heb ervaren dat door slimme ontwerpen de energie voor de productie van een print geminimaliseerd kan worden en dat ondanks de toename van de kwaliteit en productiviteit de energie per printje afneemt.

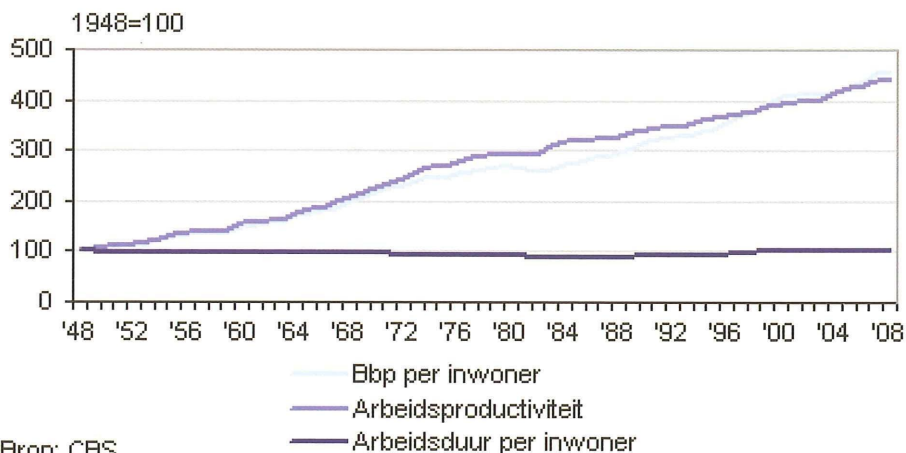
Producten op basis van mechatronica verbruiken materiaal. Door de toepassing van mechatronica kunnen de mechanische constructies lichter en dus de hiervoor gebruikte materialen minder worden. Het probleem schuilt in de high tech onderdelen, zoals computerchips, sensoren, motoren, batterijen en displays waarin steeds meer exotische mineralen worden gebruikt waarvan de wereldvoorraad beperkt is. Met name de zeldzame aardmetalen die steeds meer worden toegepast. Deze aardmetalen zijn slechts in beperkte voorraad gemakkelijk te winnen ten koste van veel energie (Depuydt, Chinezen beheersen de zeldzame aardmetalen, 2010). In het laatste decennium zijn we een factor drie meer gaan gebruiken terwijl er steeds meer mijnen in Europa en Amerika zijn gesloten door strenge milieuwetgeving en dure arbeidskrachten. Daarentegen is China steeds meer aardmetalen gaan delven en heeft nu het monopolie (Depuydt, Zonder zeldzame metalen geen auto, 2010). Door deze situatie gaan de prijzen omhoog en gaan momenteel in het westen de mijnen weer open. Het probleem is nu dat voor het winnen van de benodigde mineralen steeds meer energie nodig is. Dus om energiezuinige producten op mechatronische basis te maken hebben we steeds meer energie nodig!

Dat betekent dus zuinig omgaan met de nog aanwezige mineralen en zoveel mogelijk energie productie op basis van zonne-energie. De zon levert dag in dag uit meer energie dan we nodig hebben.

Doordat wereldwijd een Milieugerichte Levens Cyclus Analyse (LCA) van ieder product dat we ontwerpen nog in de kinderschoenen staat van weten we ook niet wat we per product aan energie verbruiken en wat als afval wordt weggegooid. LCA is een methode om de invloed van producten en menselijke activiteiten op het milieu in kaart te brengen: de schadelijke effecten op de

kwaliteit van de gezondheid, de kwaliteit van de ecosystemen en de kwaliteit van de hulpbronnen. In de LCA methode wordt de hele levenscyclus van een product of activiteit bekeken: van de winning van grondstoffen via productie en (her)gebruik tot en met afvalverwerking. Door serieus werk te maken van CLA-methodieken kunnen we het gebruik van materialen en energie monitoren en per product minimaliseren. Om de invloed van producten op het milieu verder te verlagen zullen we moeten leren ontwerpen voor langere levensduren en optimale recycling. Dit betekent dat goed ontworpen producten bestaan uit materialen die weer voor 100% teruggewonnen kunnen worden (technische kringloop) om te worden hergebruikt of uit materialen die 100% milieu vriendelijk zijn en wel in het milieu mogen terecht komen (biologische kringloop) (Braungart & McDonough, 2007). Om dit te bereiken hebben we nog veel in te halen: welke ontwerper weet welke materialen er in China gebruikt zijn voor de motor die hij in zijn ontwerp wil toepassen en op een webpagina tegen de laagste kostprijs uitzoekt?

De industriële revolutie bracht een vloedgolf aan technologie die via producten ons leven zijn binnen gedrongen en het veelal ook gemakkelijker hebben gemaakt. Door de ontwikkeling van de technologie is de arbeidsproductiviteit in de laatste 60 jaar met een factor 4 gestegen (Bergen & Langenberg, 2009). Zie Figuur 6.1. We moeten nu constateren dat door deze geweldige technologische en productiviteitsgroei de natuur onherstelbare schade dreigt te worden berokkend, zowel milieu (vervuiling) als klimaat (opwarming) worden aangetast.



Bron: CBS

Figuur 6.1 – Ontwikkeling van arbeidsproductiviteit, bruto binnenlands product en arbeidsduur per inwoner.

Mijn mening is dat het dreigend tekort aan materialen op de langere termijn een groter probleem wordt dan het energieverbruik en bijbehorende CO2 footprint. Want als een materiaal te duur wordt om nog te kunnen gebruiken in producten dan is dit materiaal nog alleen geschikt voor tentoonstelling in musea en eventueel sieraden. De ontwikkeling van 'groene electronica' die nu op gang komt zal versneld moeten leiden tot de vervanging van de schaarse mineralen (zoals we dat nu met lood doen) in de productontwikkeling. Daarnaast moet ieder product dat ontwikkeld wordt niet alleen geoptimaliseerd worden op maakbaarheid (assemblage en logistiek) maar ook op afbreekbaarheid (logistiek en disassemblage).

Aangezien de stijging van het bruto binnenlands product (bbp) per inwoner in de laatste 60 jaar vrijwel geheel wordt verklaard door een stijging van de arbeidsproductiviteit (zie Figuur 6.1.), is de arbeidsproductiviteit de voornaamste kandidaat om onze toekomstige welvaart te garanderen. De laatste 20 jaar is deze arbeidsproductiviteit waarschijnlijk op niveau gebleven door de toepassing van ICT. Als de arbeidsproductiviteit net als in de afgelopen dertig jaar met 1,5 procent per jaar blijft stijgen, levert dit tot 2030 een extra groei van het bbp per inwoner op van 39 procent ten opzichte van 2008. In plaats van een krimp van het bbp per inwoner van ruim 10 procent, krijgen we dan te maken met een groei van 24 procent (Bergen & Langenberg, 2009). De daling ten gevolge van de vergrijzing zou dus meer dan teniet worden gedaan. Nu de ICT overal is ingevoerd kan een integratie van industriële robots in het MKB weer tot een impuls van het bbp leiden. Zeker omdat de technologieontwikkeling, de basis voor veel nieuwe producten, nog niet uit Nederland is verdwenen. Uit onderzoeken blijkt steeds dat in Nederland de R&D inspanning gelijk blijft (Tolsma, 2009). Wel worden nieuwe laboratoria in het buitenland gevestigd dicht bij de nieuwe groeimarkten en goedkopere productiefaciliteiten. Deze productiefaciliteiten (toeleveranciers) vormen in Nederland de machine-industrie. Hier groeide de arbeidsproductiviteit nauwelijks vanwege de toenemende specialisatie en serviceverlening (Creusen & Rensman, 2003). De machine-industrie is wel uitgegroeid tot zo'n 5000 bedrijven van gespecialiseerde maar relatief kleine bedrijven. De industrie maakt niet alleen standaardapparaten maar ook specifieke productie-systemen. Maar door de sterke specialisatie en stuksproductie raakte de industrie sterk gefragmenteerd en kan deze weinig profiteren van schaalvoordelen. De productie- en assemblagemethoden lopen te zeer uiteen, en zijn in sommige gevallen zelfs uniek voor één enkel product. Door de combinatie van ICT en robotica moeten hier specialisaties gecombineerd kunnen worden om weer schaalvoordelen te kunnen behalen.

Het middel hiertoe is ketenintegratie, ook wel supply chain management genoemd. Ketenintegratie is het coördineren van de activiteiten die deel uit-

maken van een (waarde)keten (van verschillende bedrijven) om een product te ontwikkelen, te maken, te distribueren en te verkopen. Het heeft tot doel het op lange termijn verbeteren van zowel de resultaten van de individuele bedrijven als die van de keten als geheel.

ICT-systemen en internet vormen een belangrijk hulpmiddel om ketenintegratie toe te passen. Hiermee kunnen de bedrijfsprocessen van zakenpartners immers met elkaar worden geïntegreerd waardoor de gehele keten efficiënter wordt ingericht. Ondernemingen die met dit doel de informatieprocessen van de leveranciers en/of afnemers op elkaar aansluiten kunnen tijd winnen en (voorraad)kosten besparen.

Eind 2008 paste slechts 13 procent van de industriële bedrijven in Nederland een vorm van ketenintegratie management toe. Het verschil tussen de kleinste en de grootste bedrijven is op dit terrein wel aanzienlijk: respectievelijk 10% en 41%. Uiteraard is dit percentage gerelateerd aan de geavanceerdheid van ICT-systemen voor de gegevensuitwisseling binnen de keten. Automatische gegevensuitwisseling wordt nog slechts door 5 procent van de bedrijven toegepast bij ketenintegratie (Groot, 2009).

Als CAD/CAM (Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing) wordt toegepast in de keten leidt dit tot een versnelling van het productieproces en tot een productiviteitsverhoging. Producten kunnen dan sneller aangepast worden wat leidt tot een grotere flexibiliteit in het op maat maken van de producten. Door de ontwikkeling van ICT en internet dalen de kosten voor het bereiken van de consument, zowel qua marketing als verkoop en aflevering. Dit leidt tot een andere marktstructuur. Producten worden niet meer tentoongesteld in dure winkelpanden maar gekocht op een website en geleverd vanuit magazijnen op een goedkope locaties. Dit maakt het weer mogelijk om meer diversiteit in de producten aan te brengen en de klant meer keuzevrijheid te geven. Via kleur 'printen on demand' kan zo iedereen al zijn eigen fotoalbum samen stellen. Dit zijn de eerste voorbeelden van Product on Demand zoals beschreven in Hoofdstuk 4.

Doordat de materiaal- en energieproblemen gekoppeld zijn zullen we als maatschappij moeten matigen en stoppen met het maximaliseren van de winst als enige drijfveer voor onze maatschappij te zien. Zozeer geloofden onze CEO's de laatste 15 jaar dat onze economie niet meer gebaseerd is op autonome ontwikkeling van de technologie en productie maar op "Financial engineering" dat ze onze R&D's hebben uitgehold en onze productie hebben verplaatst naar de lagelonenlanden. Hun doel was groei, winst en bonussen. Het resultaat van deze monocultuur is inmiddels bekend: instabiliteit van de geldstromen en versterking van de exponentiële groei van de Aziatische

economieën. De ontstane kredietcrisis lijkt met behulp van de nationale banken weer bedwongen. De milieucrisis is echter geen voorspelbaar lineair proces en is na het bereiken van 'het kritische punt' met alle geld van de wereld niet meer af te kopen. De nieuwe vraagstelling moet daarom worden: Niet langer "kunnen wij wat we willen?" maar meer "willen wij wat we kunnen?". Ik ondersteun in deze dan ook de mening van Brundtland, voorzitter van de 'World Commission on Environment and Development' dat duurzame ontwikkeling moet aansluiten op de behoeften van het heden zonder het vermogen van toekomstige generaties om in hun eigen behoeften te voorzien in gevaar te brengen (Brundtland, 1987).

In de Nederlandse samenleving leeft over het milieu een vorm van de "Onkwetsbaarheidfantasie". Ik bedoel hiermee dat veel mensen denken dat het wel los zal lopen met dat milieu, dat een ramp hen niet zal treffen en dat de technologie uiteindelijk wel een oplossing vindt. Een Europees onderzoek naar de houding van de Nederlanders over de klimaatveranderingen wijst uit dat 48% van de Nederlanders het een serieus probleem vindt, van de Europeanen vindt 63% het een serieus probleem. Verder vind 46% van de Nederlanders dat het klimaatprobleem overdreven wordt (van de Europeanen is dit slechts 29%). Tenslotte vind 60% van de Nederlanders dat de klimaatcrisis te stoppen is (van de Europeanen is dat 62%). Opvallend is dat deze laatste stelling sterk gekoppeld is aan het opleidingsniveau (Social, 2009). Hoe hoger de opleiding hoe meer vertrouwen in de gedachte dat de klimaatcrisis is te stoppen. Naar mijn mening komt dat door het vertrouwen in de mogelijke technologische oplossingen. Deze houding is vergelijkbaar met het verhaal achter Wall-E (zie Hoofdstuk 2): de industriële revolutie (technologie) heeft ons in deze milieucrisis gebracht, de technologie moet het ook maar weer oplossen.

Sinds enkele jaren is valorisatie belangrijk geworden op de universiteiten. Valorisatie is het door universiteiten ter beschikking stellen van academische kennis aan de samenleving, en het bedrijfsleven in het bijzonder. Interesse in wetenschap vertaalt zich bij veel mensen uit de samenleving in een behoefte aan meer informatie. Slechts een kleine groep van 9% van de Nederlandse bevolking zegt voldoende te weten over wetenschap, terwijl 26% van de burgers meer zou willen weten (Schildmeijer, Frerichs, & Kanne, 2004). De universiteiten moeten dus vrienden worden met de samenleving en hun denkbeelden over de relatie tussen technologie en klimaat en milieu zodanig overdragen dat deze in het goede perspectief worden geplaatst. Dit moet gebeuren via het onderwijs aan de studenten, maar ook via verspreiding van de kennis over technologische ontwikkelingen en zijn randvoorwaarden in het publieke domein. De huidige prikkels om wetenschappers te stimuleren zijn vaak negatief richting onderwijs en valorisatie in plaats van positief. Hierdoor

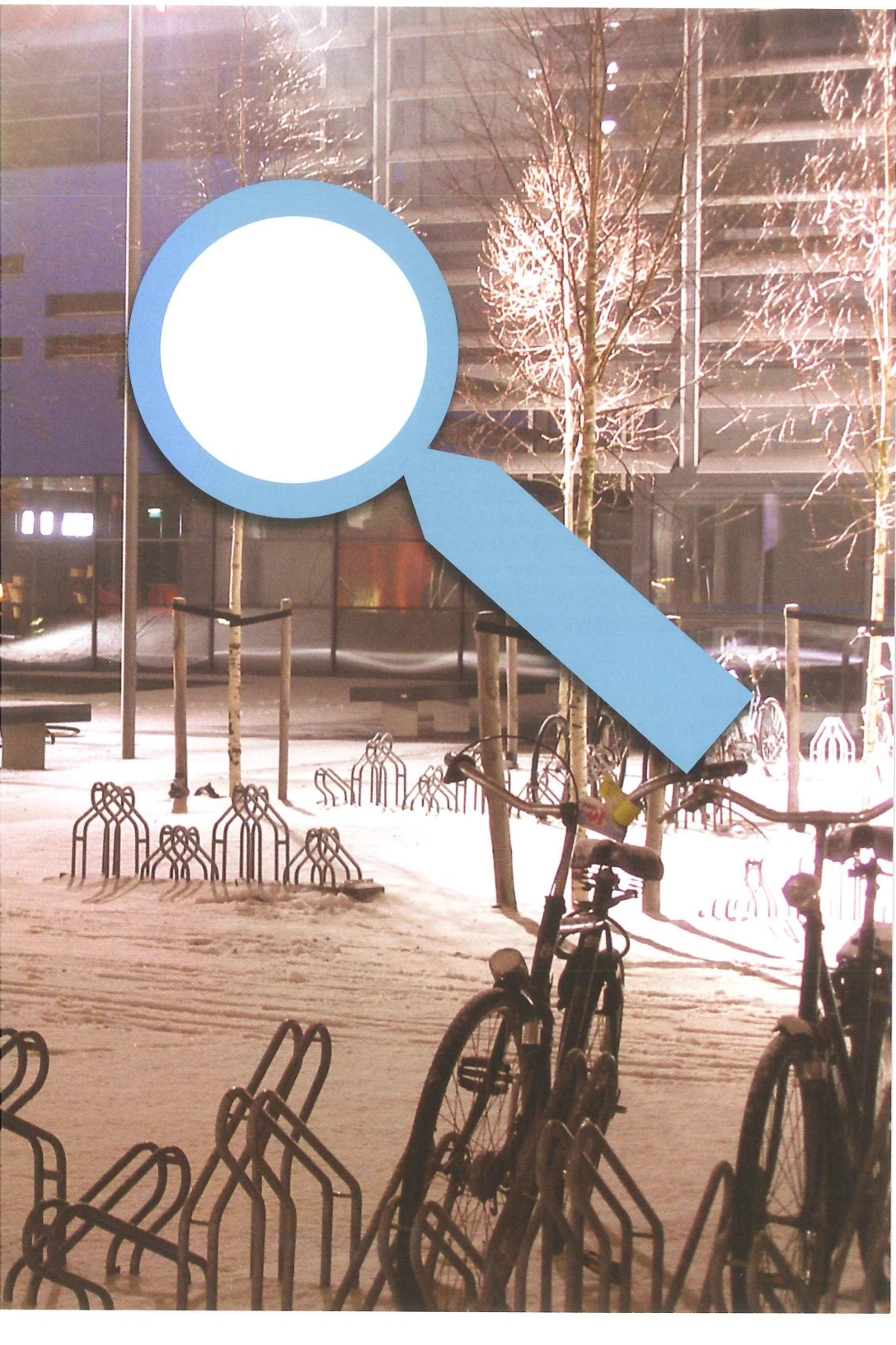
liggen de prioriteiten van wetenschappers vaak meer op het vermeerderen van kennis en het publiceren ervan dan op het uitdragen ervan voor onderwijs en beleid. Het is van belang dat vooral het onderwijs meer wordt aangewend om wetenschap te verspreiden in het publieke domein.

Er zijn inmiddels zoveel mogelijkheden op mediagebied dat dit educatief weer een frisse ambitie is. Iedere faculteit zijn eigen Teleac uitzending? Naast reclame blokken kennis/technologieblokken op TV? Een mooi voorbeeld zijn de Lowlands University lezingen waar Bolkestein in 2009 sprak over de Europese Unie. Dan moet het toch ook mogelijk zijn bij een show als "Top Gear Live 2010 World Tour" in de Rai te Amsterdam die wordt aangekondigd als "een spectaculaire stuntshow waarin Clarkson en Hammond met een parade aan auto's de hoofdrol spelen" een discussie over de elektrische auto of rekeningrijden te organiseren.

industriële ontwerp

7. Uitdagingen voor de leerstoel

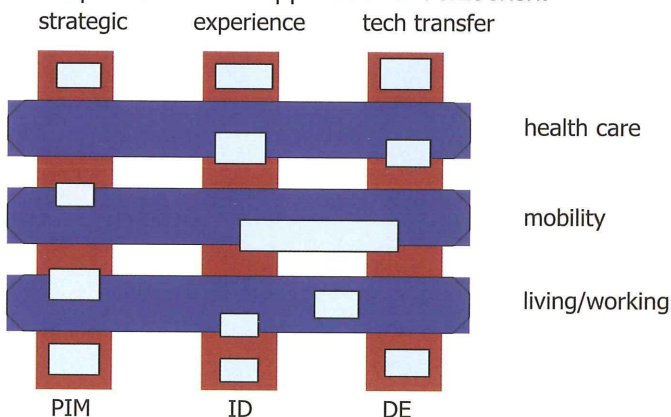




7.1. Onderzoek

Op het gebied van technologieontwikkeling liep de kennisstroom na de Tweede Wereldoorlog steeds vaker van de industrie naar de universiteit. Toen industriële laboratoria meer onderzoek gingen doen, betraden ze steeds vaker gebieden waarover aan de universiteiten nauwelijks kennis bestond. Dit gebeurde vooral op voor de industrie relevante interdisciplinaire gebieden die aan de langs klassieke monodisciplinaire faculteiten verkavelde universiteiten niet goed aan bod kwamen. Maar de keerzijde van de medaille is dat in dezelfde periode de industriële laboratoria zich steeds meer zijn gaan richten op efficiency en kwaliteit ten koste van kennis en innovatie. Het starten van projecten die op korte termijn geen garantie op producten met positieve cashstroom leveren is verder afgenomen (Homburg, 2003). Deze trend slaat ook over naar de universiteiten waar de valorisatieinitiatieven snel toenemen om de derde geldstroom te laten groeien. Resultaten van onderzoek moeten steeds sneller toepasbaar zijn. Het is belangrijk om hierin een goede balans te vinden.

Het onderzoeksprogramma aan de faculteit industrieel Ontwerpen is weergegeven in Figuur 7.1 (Hekkert, Vergeest, & Shauna, 2008). De vakgroep Design Engineering staat voor het researchprogramma "Technology Transformation". Dit betekent met bestaande ontwikkelingen op technologisch gebied nieuwe producten ontwerpen en nieuwe applicaties onderzoeken.



Figuur 7.1 – De zes research programma's aan de faculteit Industrieel Ontwerpen. De kolommen representeren de fundamentele onderzoekprogramma's en de rijen representeren de applicatie onderzoekprogramma's.

Mijn doel is het snijpunt Technology Transformation-Work als zwaartepunt te kiezen om (3D) printen voor industriële toepassingen binnen de geschetste kaders van de (industriële) robotica te ontwikkelen. Het onderzoek zal direct bruikbare kennis op moet leveren om tot betere ontwerpen van deze productieprinters te komen voor meerdere gespecialiseerde toepassingen. Als infrastructuur zal een laboratorium moeten worden ontwikkeld dat aantrekkelijk is voor promovendi, masterstudenten voor onderzoek en tevens de goede omgeving zal zijn om demo's en prototypes te ontwikkelen en demonstraties te geven. Daarnaast zullen deze laboratoria een goede basis vormen voor de IO-vakken ID4155 PAP en ID4040 IDP (ontwerp- en ontwikkelprojecten met de industrie).

7.2 Onderwijs

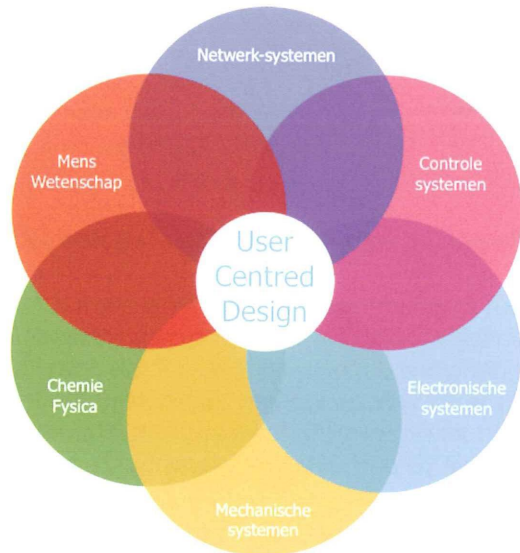
*Technologie is overal. Je kunt je er niet aan onttrekken.
Ingenieurs 'formatteren' de toekomst.
Hun werk is medebepalend voor ons antwoord op de
uitdagingen van de komende decennia.
Dat legt een grote verantwoordelijkheid bij kennisinstellingen
zoals de TU.*

Tekst op de uitnodiging voor de 168ste Dies Natalies van de TUDelft, 2010

Zoals u in Hoofdstuk 2. al begrepen hebt geloof ik sterk in multidisciplinaire projecten voor productontwikkeling en technologie ontwikkeling. Deze projecten vragen niet om generalisten maar juist om discipline specialisten die in een multidisciplinair team kunnen werken. Dat betekent dus dat ze naast een gedegen hoeveelheid monodisciplinaire kennis ook interdisciplinair kunnen denken en handelen (verbinden, bruggen bouwen). Zo heb ik ook mijn afdeling Océ Design georganiseerd.

Ik ben daarom een voorstander van de drie opgerichte Master studies aan deze faculteit Industrieel Ontwerpen. Ik zal mij inzetten om in het master "Integrale Product Integratie" voldoende diepgang te realiseren op het gebied van Mechatronica en Smart Systems. De ambitie die ik heb is de studenten te leren dat het niet alleen het mooie doosje is dat het succes bepaalt maar ook het apparaatgedrag. Zij moeten daartoe ook begrijpen welke architectuur keuzes bij de productontwikkeling belangrijk zijn. Ik zal mij hierbij baseren op het schema uit Figuur 7.2. Dat gaat verder dan een extra mooi bedieningspaneel dat in de folder gebruikersgemak uitstraalt maar een camouflage is voor een product met een slechte gevoelswaarde en onvoldoende bedieningsvriendelijkheid.

Op dit moment zijn de vakken waar ik voor sta - Elektronica, Mechatronica en Smart Systems - niet bepaald geliefd bij de gemiddelde student Industrieel Ontwerpen. Nu de wereld steeds sneller naar intelligente genetwerkte mechatronische producten gaat moet het mogelijk zijn een link te leggen tussen hun dagelijkse beleving en de ontwerpuitdagingen van deze producten. Vandaag gebeurt dat in de Bachelor te laat. Als de student gaat afstuderen bij een bedrijf met gedegen mechatronisch onderzoek raken ze pas enthousiast door de multidisciplinaire uitdagingen en de interdisciplinaire rol die ze zelf kunnen spelen. Het is dan wel een harde dobber om nog het goede niveau te halen. De studenten zullen in de Bachelor voldoende technisch niveau moeten krijgen om zelf prototypes van hun ontwerpen te bouwen en te ervaren wat de relatie tussen het technisch gedrag en de gevoelswaarde van het product is. Met deze kennis en ervaring kunnen ze wel in een multidisciplinair team fungeren.



Figuur 7.2 – Schematische weergave adaptieve mechatronische product ontwikkeling (gelijk aan Figuur 3.8)

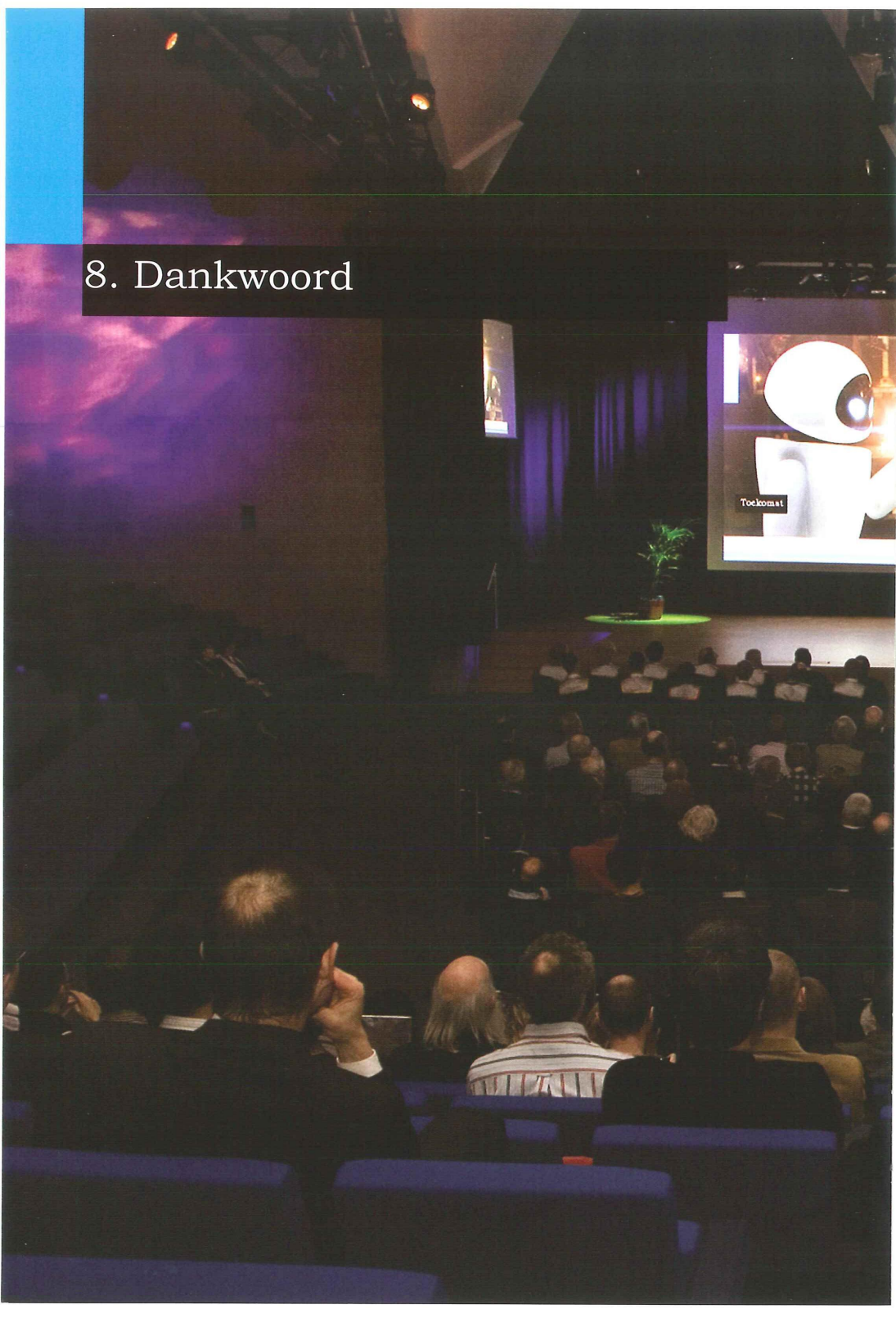
Dit kan in mijn ogen nog verder verbeteren als we op de faculteit ook laboratoria opbouwen met uitdagend onderzoek op het gebied van mechatronica en robotica. Dan kunnen we studenten al in de Bachelorfase laten zien wat de voordelen zijn van multidisciplinair en mechatronisch onderzoek. Dit betekent wel dat we rond toekomstige promovendi echte laboratoria moeten creëren waar ook afstudeerders met belangstelling voor research een plek kunnen vinden. Vandaag zijn onze laboratoria te zeer onderwijs gericht en veel afstudeerders moeten daarom terugvallen op de infrastructuur van het bedrijf waar

ze afstuderen. Dit betekent dat de vakgroep zelf te weinig leert en de kennis niet op de faculteit verder ontwikkeld kan worden.

De huidige tendens op de universiteiten, waarbij het financieel lucreatiever is om onderzoek te doen in plaats van onderwijs te geven, is bedreigend voor de faculteit Industrieel Ontwerpen. Het gevaar schuilt erin dat de universiteit zich hierdoor te veel op de wetenschappelijke output richt ten koste van de contacturen met de student. Juist bij de faculteit Industrieel Ontwerpen zijn deze belangrijk omdat de ontwerper moet leren te communiceren en reflecteren over zijn ontwerp. Door meer afstudeerders in eigen lab bij onze promovendi te laten afstuderen kunnen we hier toch een win-win van maken.

Aan de hand van enkele voorbeelden uit de film heb ik in Hoofdstuk 2 aangetoond dat de mensen dualistisch tegen de ontwikkeling van de robotica aankijken. Mijn mening is dat de universiteit hier een taak heeft. Naast fundamenteel en technologisch onderzoek zal ook nog een rol van maatschappelijke opvoeding weggelegd zijn voor de universiteit. Zowel op het gebied van de technologie ontwikkeling als op het gebied van de morele gevolgen daarvan. Hier ligt een kans om via het onderwijs, maar ook via de media, de ethische en morele aspecten van de ontwikkelingen helder te maken.

8. Dankwoord





Mijnheer de Rector Magnificus en leden van het college van Bestuur,

Bedankt voor mijn benoeming als deeltijdhoogleraar. Tijdens mijn studie aan de TU Eindhoven heb ik reeds mijn onderwijsbevoegdheid gehaald. Ik heb ook enige tijd getwijfeld tussen onderzoek en onderwijs. Maar tijdens mijn promotie werd duidelijk dat ik vooral een technaut was die graag mooie dingen wilde maken. Dat dit ook de goede dingen moeten zijn kwam jaren later. Ik ben onderwijs altijd belangrijk blijven vinden en ben daarom dankbaar dat u mij professioneel in staat stelt mijn ervaring en kennis over te dragen aan jonge studenten. Ik dank u voor het in mij gestelde vertrouwen.

Beste collegae hoogleraren en medewerkers van de faculteit Industrieel Ontwerpen,

Wij weten allen dat mijn deeltijdhoogleraarschap beperkingen heeft doordat ik slechts twee dagen per week in Delft ben. Dankzij onze moderne communicatiemiddelen kan ik dit echter voor een gedeelte compenseren. Ik ben verheugd dat ik op jullie vertrouwen kan rekenen in het opzetten van een meer geïntegreerd onderwijsprogramma rond Mechatronica en Smart Systems. Als dit goed in de steigers staat wil ik mij gaan focuseren op onderzoek.

Beste collega's van Océ,

Als R&D manager ben ik natuurlijk een buitenbeentje geworden. Als manager van een groep eigenzinnige ontwerpers kom ik regelmatig met gebruikers gerelateerde problemen op de proppen terwijl een project technisch net zo lekker liep. Op wat voor kritische prestatie-indicatoren (KPI's) moet je mij en mijn afdeling Océ Design nu eigenlijk afrekenen? Ik ben jullie dankbaar dat ik steeds weer krediet van jullie gekregen heb om gebruikersdoelen en gebruikersgemak ook in de harde specificaties verwerkt te krijgen. De diverse prijzen die we met onze producten gewonnen hebben tonen aan dat functionaliteit te versmelten is met gebruikersgemak en een hoge gevoelservaring.

Beste medewerkers van Océ Design,

Mede dankzij jullie sta ik hier. Door jullie zelfstandigheid en professioneel gedrag blijven jullie ontwerpen onverminderd van goede kwaliteit terwijl ik minder aanwezig ben. Jullie weten dat mijn leiderstijl gebaseerd is op de theo-

rie van Mathieu Weggeman in: "Leiding geven aan professionals? Niet doen!" (Weggeman, 2008). Door jullie flexibiliteit om te kunnen schakelen tussen creatieve, improviserende acties en routinematige, engineering acties leveren wij in alle projectfases goed werk.

Lieve Riny en familie,

Door jullie steun lukt het me steeds weer een nieuw avontuur te beginnen. Dank voor jullie liefde en steun om deze stap waar te maken.

Geraadpleegde literatuur

- Andrei, N. (2006). Modern Control Theory - A historical perspective. *Studies in Informatics and Control*, vol.10, no.1 , 51-62.
- Asimov, I. (1942, March). *Runaround*. *Astounding Science Fiction* .
- Backwella, L., d'Erricob, F., & Wadleyd, L. (2008). Middle Stone Age bone tools from the Howiesons Poort layers, Sibudu Cave, South Africa. *Journal of Archaeological Science* 35(6) , 1566-1580.
- Bergen, D. v., & Langenberg, H. (2009, September 9). Groei bbp per inwoner vooral door stijging arbeidsproductiviteit. Opgeroepen op January 28, 2010, van <http://www.cbs.nl/>: <http://www.cbs.nl/nl-NL/menu/themas/macro-economie/publicaties/artikelen/archief/2009/2009-2893-wm.htm>
- Bourell, D., Leu, M., & Rosen, D. (2009). *Roadmap for Additive Processing*. Austin: The University of Texas.
- Braungart, M., & McDonough, W. (2007). *Cradle to cradle*. Schiedam: Scriptum.
- Brundtland., G. H. (1987). Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>.
- Chaplin, C. (Regisseur). (1936). *Modern Times* [Film].
- Consortium, C. C. (sd). *Computing Community Consortium Robotics Roadmap Final Report*. Opgeroepen op January 28, 2010, van CCC / CRA Roadmapping for Robotics: <http://www.us-robotics.us/reports/CCC%20Report.pdf>
- Creusen, H., & Rensman, M. (2003). *Arbeidsproductiviteitsontwikkeling in de Nederlandse industrie*. Den Haag: Centraal Planbureau.
- Depuydt, P. (2010, januari 16). Chinezen beheersen de zeldzame aardmetalen. *NRC Handelsblad* , p. 13.
- Depuydt, P. (2010, januari 22). Zonder zeldzame metalen geen auto. *NRC Handelsblad* , p. 15.
- Dortmans, E., & Hendriksen, W. (2006). *Embedded Systemen: De Stille Kracht van de Maakindustrie*. Eindhoven: Fontys Hogeschool.
- Gates, B. (2007, January). A Robot in Every Home. *Scientific American Magazine* .
- Geraedts, J. (1983). *Infrared Excitation of clusters*. Krips Repro Meppel.
- Groot, B. de (2009). *De digitale economie*. Den Haag/Heerlen: Centraal Bureau voor de Statistiek
- Hekkert, P., Vergeest, J., & Shauna, J. (2008). *Towards sustainable Well-being*. TU Delft, Faculty of Industrial Design Engineering. Delft: Faculty of Industrial Design Engineering.
- Henke, W., & Tattersall, I. (2007). *Handbook of Paleoanthropology*. Springer Berlin Heidelberg.
- Homburg, E. (2003). *Speuren op de tast*. Eijsden.
- Kinseher, R. (2004). *The bow in culture, music and surgery, as craftsman's tool and weapon*. Norderstedt: Books on Demand GmbH.

Lang, F. (Regisseur). (1927). Metropolis [Film].

Lewis, F. (1992). Applied Optimal Control and Estimation; Digital Design and Implementation. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall PTR .

Lu, P. J., Yao, N., So, J. F., Harlow, G. E., Lu, J. F., Wang, G. F., et al. (2005). The earliest use of corundum and diamond, in prehistoric China. *Archaeometry*, Volume 47, Number 1, February 2005 , pp. 1-12(12): Blackwell Publishing.

Panken, F. (sd). Roboned. Opgeroepen op 01 24, 2010, van ICTRegie: <http://www.ictregie.nl/roboned.html>

Point.One. (2010). Vereniging Point-One. Opgeroepen op 01 24, 2010, van Point.One: <http://www.point-one.nl/>

Programme, E. U. (2010). Welcome. Opgeroepen op 01 24, 2010, van SMErobot™ - The European Robot Initiative for Strengthening the Competitiveness of SMEs in Manufacturing: <http://www.smerobot.org/>

Proyas, A. (Regisseur). (2004). I, Robot [Film].

Robers, K. (1991). Techniek Mensenwerk. TU Delft.

Romano, F. J. (2007). The future of Digital Industrial printing, Frank J. Romano, . Pira International LTD.

Ruwe, P. d. (1993). Jonggeleerd TU Delft.

Schildmeijer, D. R., Frerichs, d. R., & Kanne, d. P. (2004). Kennis van de kenniseconomie. Amsterdam: Stichting Weten.

Social, T. O. (2009). Europeans' attitudes towards climate change. Brussel: TNS Opinion & Social. Morris, J. (Producent), & Stanton, A. (Regisseur). (2008). WALL-E [Film]. Walt Disney Pictures.

Stuurman, K. (2009, 03 19). Robots: met recht mensenwerk. Opgeroepen op 01 24, 2010, van <http://www.van-doorne.com/nl/publicaties/robots-met-recht-mensenwerk/232>

Tolsma, H. (2009, April 10). R&D-uitgaven van bedrijven stijgen. Opgeroepen op January 28, 2010, van Technisch Weekblad: <http://www.technischweekblad.nl/r-d-uitgaven-van-bedrijven-stijgen.79749.lynkx>

TU/e, P. (2010, 01 12). Robots gaan wereldwijd van elkaar leren. Opgeroepen op 01 24, 2010, van Technische Universiteit Eindhoven: [http://w3.tue.nl/nl/nieuws/artikel/?tx_ttnews\[tt_news\]=8960&tx_ttnews\[backPid\]=361&cHash=9c1fdbde4c](http://w3.tue.nl/nl/nieuws/artikel/?tx_ttnews[tt_news]=8960&tx_ttnews[backPid]=361&cHash=9c1fdbde4c)

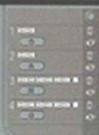
Velden, J. v. (2007). Océ: Van nature innovatief 1877-2007. Allmedia.

Wadley, L., Hodgskiss, T., & Grant, M. (2009). Hafting tools with compound adhesives in the Middle Stone Age, South Africa: Implications for complex cognition. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 106, No. 19, May 11, 2009 .

Verantwoording figuren

Voorpagina	Océ Technologies B.V.
Hoofdstuk 1	Stone axe hammer from Neolithic, 8000 years old, found near Moravče pri Gabrovki in Slovenia. http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Stone_axe_hammer_from_Slovenia_ZN_234_3.JPG
Fig. 1.1 Bronze Axe Head	http://www.precolumbianweapons.com/
Fig. 1.2 The Berimbau	http://www.capeoiramission.com/berimbau.jpg
Hoofdstuk 2	http://www.doctormacro1.info/
Fig. 2.1 "Modern Times"	http://www.doctormacro1.info/
Fig. 2.2 "Modern Times"	http://vjmorton.wordpress.com/2009/11/
Fig. 2.3 "I, Robot"	http://www.allmoviephoto.com/
Fig. 2.4 "Wall-E"	http://www.allmoviephoto.com/
Hoofdstuk 3	Velden, J. v. (2007). Océ: Van nature innovatief 1877-2007. Pg. 61
Fig. 3.1 Océ Combine 150	Velden, J. v. (2007). Océ: Van nature innovatief 1877-2007. Pg. 69
Fig. 3.3 Océ 1900	Velden, J. v. (2007). Océ: Van nature innovatief 1877-2007. Pg. 224
Fig. 3.4 Océ 1900	Velden, J. v. (2007). Océ: Van nature innovatief 1877-2007. Pg. 223
Fig. 3.7 Océ VarioPrint 2090	Océ Design, Océ Technologies B.V.
Hoofdstuk 4	Océ Technologies B.V.
Fig. 4.1 Océ VarioPrint 6000	Océ Technologies B.V.
Fig. 4.2 Océ VarioPrint 6000	Océ Design, Océ Technologies B.V.
Fig. 4.3 Hotmelt druppel	Océ Technologies B.V.
Fig. 4.4 Tray Rollercoaster	http://www.freedomofcreation.com/
Hoofdstuk 5	http://www.bootsandsabers.com/images/uploads/unimate.jpg
Fig. 5.1 Industriële robot	http://www.abb.com/
Fig. 5.2 Industriële robot	http://campaignfortherobots.com/
Fig. 5.3 Service robot	http://hallyutech.net/category/robots/
Hoofdstuk 6	Osaka, Jurgen Westerhoff 2005
Fig. 6.1 Arbeidsproductiviteit	http://www.cbs.nl/
Hoofdstuk 7	Faculteitsgebouw IO, Jo Geraedts, 2010
Fig. 7.1	Faculteit IO, TU Delft, 2009
Hoofdstuk 8	Intreerede, huisfotograaf TU-delft?

Q



1

Faculteit Industrieel Ontwerpen

Afdeling Design Engineering
Landbergstraat 15
2628 CE Delft

tel: 015- 278 98 07
@: io@tudelft.nl

43