

Men neme drie concepten

Afscheidsrede

6 november 2002

Prof. ir. Paul de Ruwe

 **TU Delft**

Technische Universiteit Delft

Faculteit Ontwerp, Constructie en Productie

783515 / 1156534
Ru 2002

Men neme drie concepten

Rede, uitgesproken bij het afscheid als hoogleraar Industrieel Ontwerpen, in het bijzonder de Konstruktie, aan de Faculteit Ontwerp, Constructie en Productie van de Technische Universiteit Delft op woensdag 6 november 2002

door

Prof. ir. Paul de Ruwe



Ruwe_
red_
2002

de Ruwe, P.
"Men neme drie concepten"

Trefwoorden: Industrieel Ontwerpen; Ontwerponderwijs; Miniaturisatie

ISBN: 90-9016452-9

Copyright © 2002 P. de Ruwe

Druk: DocVision

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,

De universitaire ingenieur onderscheidt zich van andere academisch opgeleiden eerst en vooral door het leveren van een ontwerpende bijdrage aan samenleving, economie en wetenschap. De ingenieur heeft als bijzonder kenmerk dat hij uit natuurlijke hulpbronnen specifiek voor de situatie gevormde oplossingen kan creëren. Maar al te vaak is dit ontwerpen een opgave vol onzekerheden omdat de situatie, de probleemstelling en de oplossing sterk met elkaar verweven zijn, waarbij in de afgelopen jaren ook de complexiteit van de oplossingen zelf aanzienlijk is toegenomen. In mijn intreedere, nu nagenoeg tien jaar, geleden stelde ik dat het leren ontwerpen op jonge leeftijd dient te beginnen. Liefst al op middelbare scholen, maar in ieder geval gedurende de gehele opleiding aan een technische universiteit. In dit afscheidcollege kijk ik met u terug op deze stellingname tegen de achtergrond van mijn eigen loopbaan en ervaring.

Ontwerponderwijs

De titel "Jonggeleerd", die ik voor mijn intreedere koos, kwam voort uit eigen ervaring. Met ontwerpen begon ik al lang voor mijn studie in Delft. Deze jong opgebouwde vaardigheid is mij daarna als student, als ingenieur en als leermeester altijd van pas gekomen. Een logisch vervolg was wellicht geweest mijn afscheidsrede vandaag te houden onder de titel "Oud gedaan". Ik heb daar echter vanaf gezien. Niet om het stijgen der jaren te verhullen, maar eer om te voorkomen dat u de echo van mijn laatste college zult verstaan als "Jong geleerd....., fout gedaan". Een niet geheel uit de lucht gegrepen veronderstelling. Studenten maken nu eenmaal fouten en dit wordt meer dan eens gebruikt als argument om onderwijs in het ontwerpen uit te stellen tot een moment dat studenten meer kennis tot zich hebben genomen.



Fig. 1. Resultaat 2^e jaars ontwerp oefening

Bij Industrieel Ontwerpen (IO) in Delft is deze laatste discussie niet aan de orde. In lijn met andere ontwerpopleidingen in de wereld vormt het ontwerponderwijs de ruggengraat van het curriculum in alle vijf jaren van de ingenieursopleiding. Het wordt ervaren als het meest motiverende deel van de studie. Studenten besteden ruim de tijd aan hun ontwerp oefeningen en doen dit maar al te vaak met plezier en met verrassende resultaten, zoals te zien in figuur 1. Voor deze aanpak bestaan

goede argumenten. Allereerst is er de selecterende en verwijzende functie van de propaedeuse. Studenten, die zich in een ontwerpende richting willen bekwalen, moeten in het eerste jaar de kans krijgen om te ervaren wat het vervolg van de opleiding zal gaan bieden. Daarnaast biedt een vroege start van het ontwerponderwijs de mogelijkheid om de student, bij te geringe vorderingen, tijdig een andere richting voor te houden. Naast deze onderwijskundige overwegingen staat het enkele feit dat leren ontwerpen een tijdrovend proces is. Een proces, waarin het leren van eigen fouten een belangrijke rol speelt. Uitgaande van een open probleemstelling, waarbij ook de docent niet op voorhand de uitkomst kent, krijgt de student ruimte om fouten te maken. De daarop volgende reflectie op eigen werk kost tijd, maar is tevens een essentieel deel van de academische vorming. Alleen door vroeg te beginnen met ontwerponderwijs kan zeker worden gesteld dat de student aan het eind van de ingenieursopleiding als ontwerper beslagen ten ijs komt.

Tegelijk schuilt in de doorlopende aandacht voor het ontwerponderwijs een probleem. Zoals aan alle universiteiten is de organisatie van een technische universiteit toegesneden op het verrichten van onderzoek. Hierdoor ontbreekt de cultuur en de werkomgeving van een ontwerp- of ingenieursbureau. Zelfs de tweede fase ontwerpersopleidingen, waarmee deze leemte enigszins werd opgevuld, dreigen nu te verdwijnen zonder concrete plannen voor een nieuwe invulling. Van de 37 TWAIO opleidingen aan de 3 technische universiteiten zijn er nu nog maar 14 actief, waarvan slechts 2 in Delft. De universiteit is goed gepositioneerd om in eigen huis verbindingen te leggen tussen onderzoek en onderwijs. De verbinding tussen ontwerpen en onderwijs is binnen de universiteit minder eenvoudig. Ontwerpen is geen kernactiviteit van de universitaire staf en ontwerpen en onderzoeken zijn te verschillend van aard om ze zondermeer over één kam te scheren. Een verschil dat ik graag illustreer met de stelling: "Onderzoek doet voort tot zekerheid is bereikt; ontwerp moet voort, ook wanneer zekerheid ontbreekt". Ik kom hierop later nog terug, maar nu eerst mijn eigen ervaringen met het ontwerpen en het verzorgen van onderwijs daarin.

Leren ontwerpen is oefenen om al doende de vaardigheid te vergroten. Kennis en creativiteit zijn onmisbare elementen, maar zelfs wanneer deze ruim voorhanden zijn, is het zelfstandig uitvoeren van projecten de beste leerschool. Daarbij is het ontoereikend studenten een ontwerpprobleem voor te houden en ze daarna te vragen hun eigen gang te gaan, zodat ze van hun fouten leren. Door de beperkte ervaring dient zich als vanzelf de vraag aan waar te beginnen met het vinden van een oplossing. Het antwoord: "Je zal dat zelf uit moeten zoeken, want je docent weet ook niet hoe dit aan te pakken", is maar zelden bruikbaar. De meer geëigende weg is studenten een werkwijze, een weg naar de oplossing, aan te geven. Eerst nadrukkelijk opgelegd met regels en richtlijnen, later als hulp bij het zelfstandig kiezen en uitvoeren van een ontwerpproces. Vele richtingwijzers kunnen nodig zijn om een voldoende resultaat te bereiken, maar de vaste instructie bij IO te Delft is altijd weer: "Men neme drie concepten".

Concepten

Na mijn eerste kennismaking met het ontwerponderwijs bij Industrieel Ontwerpen was ik verbaasd over de nadruk en onwrikbaarheid, waarmee IO studenten het ontwerpen van drie concepten door hun docenten krijgen opgelegd. In de beroepspraktijk was ik deze richtingwijzer nooit tegen gekomen. Het woord concept riep bij mij associaties op met wollig Haags taalgebruik en het strikt vastgelegde aantal kwam mij niet bekend voor. Zelfs het woordenboek bood weinig hulp. Concept en ontwerp worden als synoniemen beschouwd. Al snel werd duidelijk dat ik niet alleen stond. Ook studenten hebben problemen met de drie concepten, al bleken die van een iets andere aard dan de mijne. "Drie is teveel" is ongetwijfeld de meest gehoorde klacht. Drie maal werken voor één regel op de cijferlijst is nu eenmaal niet populair. Daarnaast is altijd weer aan de orde hoever de concepten moeten worden uitgewerkt. Dit laatste brengt ons bij de kern van de zaak. Een concept is binnen de cultuur van de Delftse IO opleiding een slechts ten dele uitgewerkt ontwerp. Het is een verzameling van bruikbare ideeën, vastgelegd in een vage duiding van de vorm en wel op zodanige wijze dat een betrouwbare voorspelling kan worden gedaan over belangrijke eigenschappen van het uiteindelijke product. Al met al een voor de universitaire onderwijssituatie zeer verdedigbare aanpak. Uitwerken tot een punt, waarop een onderbouwde keuze kan worden gemaakt, past de academicus en verder uitwerken dan nodig om tot een keuze te komen is verspilde moeite. Het concept kan immers nog worden verworpen.

Het genereren van meer dan één concept voor het oplossen van een gegeven ontwerpprobleem heeft ontegenzeggelijk voordelen. Iedereen, ook de ontwerper, is geneigd te volhardend in een eenmaal gemaakte keuze. Informatie, die de gemaakte keuze ondersteunt, wordt gekoesterd. Berichten over betere alternatieven worden genegeerd of bestreden. Dit aanzienlijke risico is tegen een kleine premie te verzekeren, door vroeg in het ontwerpproces meer dan één concept in beschouwing te nemen. Verder valt een voordeel te behalen in de communicatie met de opdrachtgever. Het concept biedt de opdrachtgever zicht op voortgang en verwacht eindresultaat van het project. Nu denken opdrachtgevers zelf ook en de presentatie van slechts één concept leidt onafwendbaar tot de vraag waarom het niet anders had gekund. De ontwerper raakt op deze wijze al snel in de verdediging. Door meer dan één concept te tonen, wordt de principaal betrokken in het keuzeprocess. De hogere kosten van het naast elkaar stellen van alternatieven worden ruimschoots gecompenseerd door de afname van de kans op dure koerswijzigingen gedurende de eindfase van het project.

Blijft de vraag waarom drie? Is dit de IO versie van een oud-Hollandse volkswijsheid of helpt mijn eigen ervaring ons op dit punt verder?

Drie maal drie

Uit mijn loopbaan geef ik ter illustratie enige voorbeelden van ontwerpproblemen, samen met de concepten, die voor de oplossing naast elkaar stonden.

Nu al weer 30 jaar gelden bevond de fabricage van integrated circuit zich in de overgang van laboratoriumachtige vervaardiging naar wereldwijd gespreide productiefabrieken. Voor het maken van de silicium chips zelf werd de groei van de productieaantallen ten dele opgevangen door vergaande efficiency verbetering van de siliciumtechnologie. Door het gelijktijdig vergroten van de silicium plakken, verhogen van de pakkingsdichtheid op de chip en terugdringen van de productieuitval steeg het geproduceerde aantal chips veel sneller dan de inzet van mensen en middelen. Deze aanpak werpt nog steeds zijn vruchten af. Bedenk dat de nu opkomende technologie op basis van 300 mm plakken ruim 60 maal meer oppervlak biedt op een plak dan het toen gebruikelijke 1½ inch schijfje. Een bottleneck ontstond echter daar waar de losse chip met de rest van wereld moest worden verbonden. Afhankelijk van het type zijn op het oppervlak van iedere chip tientallen, en soms zelfs honderden, contactplaatsen aangebracht ter grootte van ongeveer 0,1 x 0,1 mm². Iedere contactplaats dient elektrisch te worden verbonden met de overige elektronica in het product. Het maken van deze verbindingen was (en is) de traagste en meest arbeidintensieve processtap in het gehele productieproces van de integrated circuits.

De gebruikelijke technologie voor het maken van deze verbindingen was het één voor één met de hand aanbrengen van gouden draadjes. Zie fig. 2. Een geoefende medewerker was in staat om in één minuut 25 draadje te monteren. De bottleneck ontstond door de grote vraag naar getraind personeel voor deze productiestap tegenover een beperkt aanbod, veroorzaakt door groot verloop en lange opleiding. Het was voorspelbaar dat, alleen al binnen Philips, een volume van 10 miljard verbindingen per jaar bereikt zou gaan worden. Een snelle berekening leert dat hiervoor 5000 directe productiemedewerkers moeten worden ingezet. Voor de gehele industrie ontwikkelde zich voor deze ene processtap een vraag naar meer dan 100.000 operators met vaste hand en scherpe blik. Om aan deze vraag te voldoen schoten montage ateliers, vooral in het Verre Oosten, als paddestoelen uit de grond. Deze snelle capaciteitsopbouw ging echter hand in hand met verlies aan procesbeheersing. Voor het oplossen van de hier geschetste problemen ontwikkelde zich rond 1973 een drietal concepten, te weten:

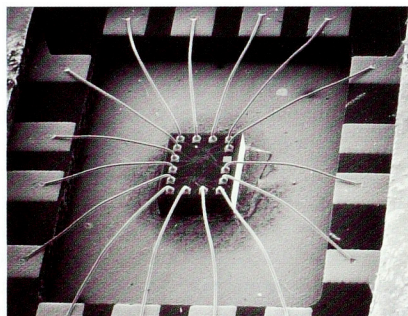


Fig. 2. Chip met verbindingsdraden

- Solderbumps. Het direct verbinden van de contactplaatsen op de chip met een geleiderpatroon op de drager met behulp van soldeer.
- Tapebonding. Het toevoegen van één extra onderdeel, waarin alle verbindingen tussen chip en drager zijn opgenomen.
- Automatic wirebonding. Het geautomatiseerd plaatsen van verbindingsdraadjes.

Een keuze was op dat moment verre van eenvoudig. Mijn groep in Philips Nijmegen leverde een bijdrage aan de verdere uitwerking van ieder van deze concepten.

De solderbump technologie werd vooral door IBM tot wasdom gebracht voor toepassing in modules voor mainframe computers. De TCM module is hiervan een voorbeeld. Zie fig. 3. Een aantal chips is in een matrix geplaatst op een keramisch multi-layer substraat. De actieve zijde van de chips is naar het substraat gekeerd, waarbij de contactplaatsen op de chip aan het substraat zijn gesoldeerd. Dit concept heeft ook op andere plaatsen toepassing gevonden. Een voorbeeld zijn de verbindingen in een LCD matrix display tussen de geleidende sporen op het glas en de driver ic's, die "buiten beeld" op het glas zijn geplaatst.

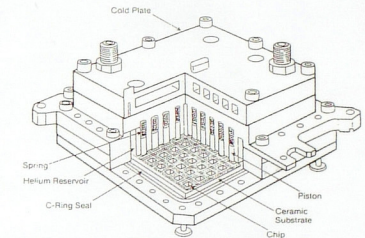


Fig.3. IBM Thermal Conduction Module

Tapebonding kwam tot ontwikkeling onder namen zoals "spiderbond". Voor het realiseren van de verbindingen werd gebruik gemaakt van uit metaalfolie geëtste patronen, die precies pasten op de contactplaatsen van chip en drager. Zie fig. 4. Alle verbindingen konden op deze wijze gelijktijdig worden gemaakt. Honeywell-Bull

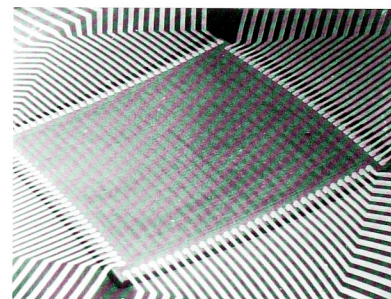


Fig. 4. Chip met verbindingsfolie

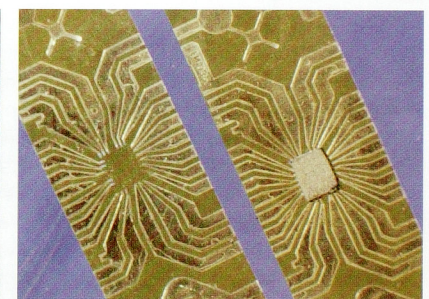


Fig. 5. Tapebonding (Philips)

introduceerde dit concept onder de naam Tape Automatic Bonding voor het samenstellen van zeer snelle logica. De metaalfolie werd in dit proces ondersteund door

een polyamide tape, om de kwetsbaarheid van de folie te verminderen. Figuur 5 toont onze uitwerking van dit concept. Met deze flexibele –uit koper en kunststof vervaardigde- folie werd de basis gelegd voor producten, die pas veel later zijn ontstaan. De Smartcard is hiervan een voorbeeld, maar ook in tal van vergaand geminiaturiseerde gebruiksvoorwerpen, zoals fotocamera's, zijn van het tapebonding concept afgeleide oplossingen te vinden.

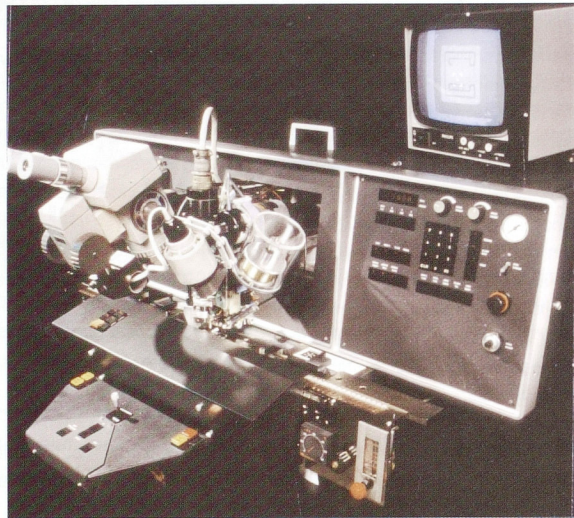


Fig.6. Phicom Automatic Wirebonder

Automatic wirebonding werd na een periode van zoeken en proberen de standaard in de chipindustrie. Aan de wijde verbreiding van dit concept leverde mijn groep een substantiële bijdrage. In 1976 ontwierpen wij als eerste een industrieel apparaat voor het geheel automatisch leggen van verbindingdraden. Zie fig. 6. De belangrijke kenmerken van het apparaat waren een snelheid van 5 draden per seconde, "teach-in" programmering en gering onderhoud. Eén en ander was gerealiseerd door gebruik van eenvoudige en lichte mechanismen met elektrische servoaandrijving, gecombineerd met digitale patroonherkenning middels één van de eerste CCD camera's en besturing vanuit een "single-board" computer met real time operating system. Minder dan 200 liter Mechatronica (het woord zelf was nog niet eens uitgevonden) bleek voldoende voor het vervangen van een klein zaaltje met montage medewerkers. Philips bouwde meer dan 1000 van deze apparaten. Wereldwijd moeten tienduizenden look-alikes een weg naar de productievloer hebben gevonden.

leder van de genoemde concepten ⁴ heeft bijgedragen aan de vergaande miniaturisatie van elektrische verbindingen. De invloed hiervan op de vormgeving van producten is groot ³, zoals wordt geïllustreerd met de voorbeelden in fig. 7 en fig. 8. Een 30 kilogram zware oscilloscoop, volop in gebruik ten tijde van mijn ingenieursopleiding, kon eind 80'er jaren worden gereduceerd tot een product dat in één hand past.



Fig. 7. Dertig kilogram



Fig. 8. Hand-hold Scope

Een ander voorbeeld voert ons 20 jaar terug naar het begin van de sub-micron technologie. Een innovatie, die gebaseerd was op tal van doorbraken in de siliciumtechnologie. Eén voorbeeld hiervan is de "Waferstepper", waarvan de eerste in onze afdeling ITM van Philips Nijmegen werd uitontwikkeld, lang voor de oprichting van het huidige ASML in Veldhoven. Een voorwaarde voor de invoering sub-micron technologie is een vergaande stofbeheersing. Door de geringe afmetingen van de kleinste details in het product, kan een enkel stofdeeltje van een paar honderden nanometer al fataal zijn. Voorkomen van stofdeeltjes op het product vormde hierdoor een onmisbaar onderdeel van de nieuwe technologie. In een laminaire downflow van gefilterde lucht kan de aanwezigheid van stof worden beperkt tot één deeltje ($> 0,3 \mu$) per kubieke voet, mits in de luchtstroom geen activiteiten plaats vinden. Op deze wijze kan een bijna perfect schone ruimte worden gecreëerd, zolang hierin geen menselijk handelen plaats vindt. Eenmaal binnen vormt de mens de grootste stofbron. Een mens verliest voortdurend kleine deeltjes, onder andere in de vorm van huid- en haarschilfers, tot een totaal van ongeveer 1 kg per jaar. Zonder verdere maatregelen verspreidt een mens tienduizenden -voor het product fatale- deeltjes per minuut. Succesvolle

introductie van een sub-micron technologie is dus alleen mogelijk door een rigoureuze scheiding aan te brengen tussen mens en product. Drie concepten dienen zich aan voor het bereiken van deze scheiding.

- Cleanroom. Een werkruimte met een laminaire downflow van gefilterde lucht, die het gehele vloerooppervlak dekt. In deze ruimte gaan apparatuur en producten in wording samen met volledig ingepakte operators. Zie fig. 9.
- Robot handling. Vervanging van operators door op afstand en/of met computers bestuurdde apparatuur. Na het wegnemen van de belangrijkste bron van stof, kan de dure laminaire downflow worden beperkt tot een aantal kleine gebieden binnen een minder schone ruimte. Zie fig. 10.
- Schone dozen. Producten en apparatuur ingekapseld in stofvrije dozen. Dozen met schone producten (zie fig. 11) worden middels sluizen verbonden met de productie apparatuur. Operators werken in een ruimte met veel lagere eisen aan de stofbeheersing.



Fig.9. Ovenbelader in cleanroom

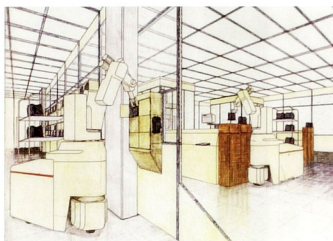


Fig. 10. Transport met AGV's



Fig. 11. Schone transportdoos

Ook hier leverde onze groep in Philips Nijmegen een bijdrage aan onderzoek en verdere uitwerking van de genoemde drie concepten, waarbij de keuze viel op een grote cleanroom. Zie fig. 12. Deze keuze was in sterke mate een Europese keuze. Zowel Philips als Siemens bouwden, aangemoedigd door de kans om met aanzienlijke overheidssubsidie een voorsprong te veroveren⁷, beide in korte tijd twee grote cleanrooms. Overwegingen bij de keuze waren het beperkte technische risico, doordat het concept in feite voortbouwde op bestaande ervaringen met mensen in cleanrooms en de grote aanpasbaarheid aan toekomstige veranderingen in product, proces en apparatuur.

In Japan werd in dezelfde periode massaal ingezet op robotisering. Verschillende Japanse fabrikanten van geheugenchips implementeerden hun sub-micron technologie in vergaand geautomatiseerde fabrieken. Zij streefden in feite naar een werkvloer zonder operators. Passende randvoorwaarden waren in de voorafgaande jaren gecreëerd door



Fig. 12. Cleanroom in aanbouw te Nijmegen

standaardisatie en een ongekennde nauwgezetheid in de procesbeheersing. De investeringen waren hierdoor waarschijnlijk lager dan voor een soortgelijke automatisering buiten Japan.

De eerste invulling van het "schone dozen" concept kwam uit de Verenigde Staten. De lage kosten geven dit concept nog steeds wind in de rug, maar de implementatie verliep langzaam omdat alle bij proces en apparatuur betrokken partijen zich moesten conformeren aan een gestandaardiseerde mechanische interface voor de sluizen, terwijl zo'n standaard niet voor iedereen voordelig uitpakt.

In de afgelopen jaren heeft ieder van deze drie concepten zijn bestaansrecht bewezen, waarbij de oplossing voor het stofvrij produceren maar al te vaak werd gevonden in een, op de actuele situatie toegesneden, mengsel. De invloed van de sub-micron technologie op de vormgeving van de producten van alledag is onmiskenbaar³. Door de mogelijkheid om miljoenen componenten samen te pakken op één vierkante centimeter, veranderde in minder dan 10 jaar het ontwerp van een GSM telefoon van een koffer met een inhoud van 1½ dm³ in een toestelletje dat past in de binnenzak. Zie fig. 13.



Fig. 13. Hebbeding 2002

Het derde voorbeeld vloeit voort uit het onderzoek, dat mijn groep aan de TU Delft de afgelopen jaren uitvoerde. Gedurende de laatste tien jaar hebben draagbare elektr(on)ische producten een wijde verspreiding gevonden. Voor de energievoorziening zijn deze producten bijna

altijd afhankelijk van batterijen. Het is opmerkelijk dat de massa, het volume en de vormgeving van deze producten meer en meer zijn gebaseerd op de eigenschappen van de energievoorziening. Andere voor de functievoorziening noodzakelijke elementen krimpen immers sterk door miniaturisatie. Het voordeel van bruikbaarheid op iedere denkbare plaats bestaat slechts wanneer de grenzen van hanteerbaarheid van de batterijen niet worden overschreden. Het gevolg is een beperking van specificatie ten opzichte van netgevoede producten, zoals een lager vermogen en/of beperkte gebruikstijd. Daarnaast raken batterijen op onhandige momenten uitgeput, is het laden of vervangen omslachtig en vormen weggegooide batterijen een belasting voor het milieu. Ons onderzoek op het gebied van de Portable Energy Systems richt zich op alternatieven voor de elektrische energievoorziening van draagbare producten met nadruk op drie concepten. Deze concepten zijn:

- Human Power. Voor roeiboot en fiets natuurlijk een al lang bestaande oplossing. Omzetting naar elektrische energie wordt echter maar al te vaak geassocieerd met producten uit de Tweede Wereldoorlog. De introductie van de BayGen opwindradio heeft echter aangetoond dat dit concept mogelijkheden biedt voor toepassing op plaatsen waar lichtnet noch batterijen onder handbereik zijn.
- Solar Energy. De zakrekenmachine met zonnecellen was het eerste door zonne-energie gevoede consumentenproduct. In de internetwinkel Fraxin is te zien dat nieuwe toepassingen van dit concept nu vooral te vinden zijn in producten voor buitenshuis en recreatie.
- Fuel Cells. Dit concept is aantrekkelijk door de hoge energiedichtheid en navulbaarheid van de brandstof. Verschillende onderzoeksinstituten rapporteerden toepassing in producten, zoals laptop computers en mobiele telefoons. Zie fig. 14. Hoewel technisch uitvoerbaar, is economische haalbaarheid nog niet bereikt.



Fig. 14. Lap top met fuel cell
(Bron: Fraunhofer Inst.)

Het aantal van drie concepten is in dit geval bepaald door de keuze om alternatieven, zoals windenergie en verbrandingsmotoren, niet in het onderzoek te betrekken. Later kom ik op dit onderzoek nog terug.

Bovenstaande voorbeelden laten zien dat bij het zoeken naar de oplossing voor een ontwerpprobleem zich in de praktijk altijd een aantal verschillende mogelijkheden voordoet. De reductie van de deze mogelijkheden tot een drietal oplossingsconcepten is zeker niet ongebruikelijk, omdat dit aantal enerzijds dwingt tot het expliciet maken van een beperkt aantal belangrijke aspecten van het toekomstige ontwerp en anderzijds paal en perk stelt aan het proces van wikken en wegen. Dat studenten het ter tafel brengen

van drie concepten maar al te vaak als een overdreven inspanning ervaring, bewijst de stelling dat onervaren ontwerpers verheugd zijn wanneer ten minste één oplossing is gevonden, waar tegenover ervaren ontwerpers bezorgd zijn over de veelheid aan oplossing waaruit gekozen kan worden.

Het maken van keuzes vormt het lastigste onderdeel van het ontwerpwerk. Keuzes zijn, ongeacht het beschouwde niveau van detaillering, omgeven met onzekerheid. Onzekerheid met betrekking tot de context waarbinnen de oplossing zich moet bewijzen gaat samen met onzekerheid over de eigenschappen van de gekozen oplossing. Terecht wordt het beargumenteerd maken van ontwerpkeuzes met studenten intensief geoefend. Deze aanpak heeft echter een opvallend manco. Binnen de setting van de IO opleiding worden de keuzes toegespitst op producten, waarbij door de vrij korte levenscyclus een belangrijke deel van de argumentatie kan worden ontleend aan de mode van gisteren en de trends van vandaag. De eerder gegeven voorbeelden illustreren dat ook de langere termijn een belangrijke rol speelt. Het met goede redenen kiezen van één concept als oplossing voor een probleem hier en nu, doet andere concepten niet van de aardbodem verdwijnen. Maar al te vaak worden de verworpen concepten op andere plaatsen tot volle wasdom gebracht, waarna ze door de achterdeur weer als de betere keuze terug in beeld komen. Het is niet eenvoudig om deze dynamiek inzichtelijk te maken binnen projecten die gericht zijn op het creëren van producten, maar ik ben ervan overtuigd dat de technologische ontwikkeling een belangrijke voorspeller is voor de middellange termijn. De doorlooptijden en investeringen in technologie zijn wezenlijk groter dan die voor een productontwerp. Hierdoor ontstaat traagheid en massa, waaraan richting kan worden ontleend op een termijn die zich onttrekt aan het zicht van markt en mode. Technologische kennis is derhalve een wezenlijk deel van de bagage van een industrieel ontwerper, zeker wanneer de technische universiteit als start van de loopbaan wordt gekozen.

Afstudeerprojecten

Veel IO studenten kiezen als afstudeerwerk een individueel en zelfstandig uit te voeren ontwerpproject. Het ligt voor de hand dat deze studenten tijdens hun afstudeerproject teruggrijpen op de door docenten in gehamerde drie concepten. Een korte terugblik op de verzameling van ongeveer 135 afstudeerprojecten, die onder mijn toezicht werden uitgevoerd, is op zijn plaats. In 94 gevallen betrof het een ontwerpproject van een Delftse IO student. In alle ontwerpverslagen werd het aantal concepten, dat mee in beschouwing was genomen, door de student vermeld. Een inventarisatie resulteerde in een verdeling volgens figuur 15.

Ruim 35% van de afstudeerders koos een ontwerp op basis van vergelijking van drie concepten. De overigen handelden, zoals van een bijna ingenieur kan worden verwacht, naar eigen inzicht. Opvallend is dat 15% van de afstudeerders slechts één concept presenteerde. Een "jump to solution", die niet geldt als een veilige aanpak. Terugkijkend valt deze groep in twee delen uiteen. Voor sommige was het ontwikkelen van één enkel

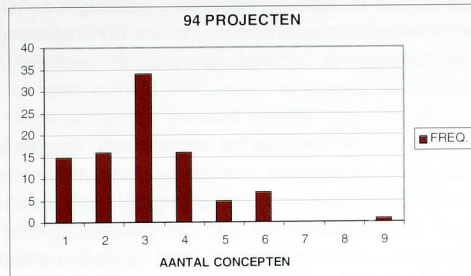


Fig. 15. Verdeling aantal concepten per project

concept al een zo forse opgave, dat de tijd voor doordachte alternatieven ontbrak. Anderen doorzagen de problematiek op zodanige wijze, dat ze een amper te weerleggen weg naar één oplossing wisten te ontwikkelen. Wezenlijke verschillen dus binnen de groep, die het bij één concept liet. Verder is te zien, dat sommige studenten hun creativiteit de vrij loop laten. Voor wie met mij nieuwsgierig is naar een verband met de uiteindelijke

beoordeling van de projecten, nam ik ook de 94 eindcijfers in beschouwing. Bedenk hierbij dat deze cijfers zijn vastgesteld op basis van het oordeel van meer dan 200 personen, zowel van binnen de universiteit als uit het bedrijfsleven. Ik vermeld slechts de conclusie. Op basis van de 94 projecten kan geen verband tussen eindcijfer en aantal ontwikkelde concepten worden aangetoond. Aan deze conclusie kunnen toekomstige afstudeerders overigens geen rechten ontnemen!

De begeleiding van ontwerpprojecten behoorde tot de plezierige onderdelen van mijn werkzaamheden aan de TU Delft. Met enige regelmaat resulteerden door studenten gerealiseerde ontwerpen in een waardevolle bijdrage aan het onderzoek van mijn groep, dan wel in de start van een succesvolle productontwikkeling buiten de universiteit. De verleiding is groot om hier in te gaan op de klapschaats, die te lang op het TU billboard draaide, de koffiezetter, die het laatste succes werd van Olland of het aluminium autoportier voor een staalbedrijf boven het Noordzee kanaal, maar een drietal ontwerpen ter illustratie van ons eigen onderzoek op het gebied van draagbare energiesystemen krijgen hier voorrang.

Het idee om het Human Power concept toe te passen in een MP3 speler werd kort geleden uitgewerkt in een ontwerp van Maarten van Pul⁶, de 2500^{ste} afgestudeerde van onze opleiding. Hij koos voor een oplossing, waarbij omzetting en opslag van energie en de elektronica van de speler in een schoen zijn samengebracht. Zie fig. 16. Het onderbrengen van een generator in een schoen is op zich niet nieuw, maar de combinatie van grote krachten en lage snelheden maakt de implementatie lastig. De keuze om voor de omzetting in de schoen een



Fig. 16. Schoenen met MP3 speler

stromend medium te gebruiken, moet kansrijker worden geacht dan door anderen gesuggereerde tandwiel overbrengingen. Door ook de elektronica in de schoen te plaatsen werd de weg geopend naar een oplossing zonder bedrading door sok, kous of broekspijp. Het project is een voorbeeld van integratie van kleding en elektronica, een concept dat de halfgeleiderindustrie als muziek in de oren moet klinken.

In 1998 werd de "Milieu Innovatie Award" van de Stichting Goed Industrieel Ontwerp¹ toegekend aan het ontwerp van Maarten Hol voor een door Solair Power aangedreven zonwering. Hij integreerde het zonnescherm samen met aandrijving, zonne-energiesysteem en bediening in een kozijn voor de utiliteitsbouw⁵. Zie fig. 17. Een charmante combinatie van ideeën, waarmee een aanzienlijke besparing wordt bereikt op installatiekosten, terwijl de functievervulling van het product zelf nauw verbonden is met de beschikbaarheid van zonne-energie. Toch illustreert dit product ook de beperking van Solair Power. Wanneer wordt uitgegaan van een zomerse dag in juni, met een energiedichtheid van de zonnestraling van ongeveer 1000 W/m², levert het dimensioneren van de aandrijving geen probleem. Op een donkere winterdag blijft hiervan echter ongeveer 2% over. Met in acht neming van het beperkte rendement van het aandrijfsysteem zelf, blijft slechts een paar Watt aandrijvermogen beschikbaar uit één vierkante meter zonnecellen. Het product kan niet op een acceptabele manier werken zonder een opslag van ongeveer 10 Wh. Dit is een kleinschalig voorbeeld van een grote uitdaging, die voor ons ligt. De opslag van zonne-energie.



Fig. 17. Zonnecel in vensterbank

In samenwerking met ECN Petten ontwierp Ruben Strijk een brandstofcel energiesysteem met een elektrisch vermogen van 50 W⁸. Zijn opdracht was het systeem te ontwerpen voor toepassing in een elektrisch aangedreven modelvliegtuig met een vluchtduur van 8 uur. Zo'n vlucht is gedacht als technologie demonstratie, maar vooral ook om twee belangrijke eisen aan het energiesysteem te ondersteunen. De eerste is 8 uur onafgebroken functioneren zonder menselijk ingrijpen en de tweede een totale massa van systeem plus brandstof kleiner dan 1 kg. Als brandstof komt in aanmerking waterstof of methanol, resp. 250 liter of 250 gram, met een keuze voor methanol vanwege de te verwachte lagere totale massa. De massa van de opslagvoorziening voor de brandstof geeft hierbij de doorslag, wanneer van een voor de

vliegdemostratie passend volume wordt uitgegaan. De massa eis bleek te hoog gegrepen. Met een verwachte massa van 1250 gram bedraagt de energiedichtheid 320 Wh/kg. Van de nu bestaande batterijen komen alleen zink-lucht cellen in de buurt van deze waarde.

De problemen die nog overwonnen moeten worden, zijn echter talrijk². Zo is methanol nu alleen maar toe te passen als een 3% oplossing in water, terwijl in het ontwerp is uitgegaan van hoeveelheid water in het systeem van slechts 75 gram. Water is immers ook een deel van de massa van het systeem. Oplossingen voor het beheersen van de waterhuishouding in de cel zijn denkbaar, maar de echte uitdaging is een proces zonder dit soort complicaties. Verder staan de kosten voorlopig een wijde verbreiding in de consumentenmarkt in de weg. Alleen al de materiaalkosten van katalysator en membraam voor een 50 W direct methanol cel bedragen ongeveer € 150,-.

De laptop computer op campinggas is nog niet onder handbereik, maar voor producten met klein vermogen en lange gebruiksduur vormen brandstofcellen een serieus te nemen optie.

Tenslotte

Sinds de start in 1963 was Industrieel Ontwerpen in Delft lange tijd de enige academische opleiding in deze discipline binnen Nederland. Hierdoor ontbrak de mogelijkheid tot vergelijking, uitwisseling en samenwerking met andere IO opleidingen binnen de vaderlandse universiteiten. Dit werd in de afgelopen jaren met enige regelmaat als een probleem ervaren, waarbij vooral visitaties en benchmark acties de gelegenheid boden deze situatie onder de aandacht te brengen. De populariteit van de opleiding, zoals weerspiegelt in de enorme groei van het aantal studenten, heeft haast als vanzelf een oplossing gebracht. Niet alleen in het HBO werd ontdekt dat er in Nederland ruimte is ontstaan voor een flink aantal IO opleidingen, ook de drie technische universiteiten handelden conform de titel van mijn afscheidsrede: "Men neme drie concepten".

- De Eindhovense opleiding "Industrial Design" heeft sterke raakvlakken met de ontwikkeling van human interfaces, waardoor de interactie tussen mensen en technische systemen op de voorgrond treedt. De aandacht gaat vooral uit naar het ontwerpen van op de mens toegesneden intelligente producten en diensten op basis van multimedia- en kennistechnologie. Belangrijke relaties worden onderhouden met het bedrijfsleven, dat ook een duidelijke rol in het onderwijs vervult.
- De Twente IO opleiding is van start gegaan in een werktuigkundige omgeving. De nadruk wordt gelegd op de ontwikkeling van technologisch geavanceerde serie- en massaproducten. Het realiseren van het product door integratie van verschillende disciplines vormt de rode draad, waaraan tevens de aandacht voor mens, markt en

maakindustrie is opgehangen. Enige nadruk wordt gelegd op de relaties met de ontwikkeling van intelligente producten en biomedische techniek.

- De Delftse IO opleiding heeft zijn wortels in de bouwkunde en deelt daarmee de zoektocht naar harmonie tussen product, mens en omgeving. In het Delftse concept betekent dit producten en diensten te ontwerpen op een wijze die de mensen past. Niet alleen passend bij de fysieke en cognitieve capaciteiten van de mens, maar ook passend bij wensen, verwachtingen en gevoeligheden. Ontwerpbureaus vormen een belangrijke verbinding met de beroepspraktijk.

In lijn met de gewoontes uit het ontwerponderwijs zou nu de keuze van het beste concept moeten volgen. Een keuze, die zoals uit mijn betoog moge blijken, sterk afhankelijk is van plaats en tijd. Nu zult u het met mij eens zijn dat beide, zowel deze plaats, maar zeker ook deze tijd, ongeschikt zijn voor het afhandelen van deze kwestie. Eer ga ik ervan uit dat, zoals in al mijn voorbeelden, de hier genoemde opleidingsconcepten in de toekomst naast elkaar hun waarde kunnen bewijzen. De omstandigheden zijn gunstig. De samenleving heeft aandacht voor het ontwerp van producten en voor het bedrijfsleven is het ontwerp nog nadrukkelijker een kritische succesfactor geworden. Daarnaast heeft het profiel van de discipline grote wervingskracht onder 18-jarigen en is er geen enkel ander vak dat een zo groot aantal vrouwen aanzet tot een loopbaan in de techniek. Voor de opleidingen zal succes echter niet vanzelf komen, doch afhankelijk zijn van de mate waarin de opleidingen kans zien om ontwerpers in de staf op te nemen, die in staat zijn het gekozen concept verder binnen de universiteit te ontwikkelen.

Voor dit moment kies ik ervoor vooral de Delftse IO'ers, de staf, onze studenten en afgestudeerden, te bedanken. Te bedanken voor de wijze waarop wij de afgelopen 10 jaar samen hebben gewerkt en voor de plezierige manier, waarop u mij inwijdde in de discipline van het Industrieel Ontwerpen. Natuurlijk ben ik vanuit mij opleiding en industriële ervaring een werktuigbouwer en vanzelfsprekend heb ik daardoor enige binding met vernuftige en op grond van technische kennis geoptimaliseerde oplossingen. U herkende, al was het soms met enige argwaan, de zin en het nut van deze bijdrage en omgekeerd leverde u mij in korte tijd kennis en ervaring uit het vakgebied. Deze steun in de rug van u allen stelde mij in staat mijn technisch gekleurde bijdrage in de wondere wereld van het DESIGN in te passen en tot zijn recht te laten komen. Nogmaals bedankt.

De –misschien onbedoelde- lessen, die ik ontving van "mijn leerlingen", kan ik hierbij zeker niet ongenoemd laten. Als begeleider van ontwerpprojecten, als voorzitter van de opleidingscommissie of als vormgever van de techniekworkshop, om maar een paar gelegenheden te noemen, telkens weer werd mij haarfijn uitgelegd hoe de vork bij IO in de steel zit. Jullie niet aflatend enthousiasme voor het vak, jullie nieuwsgierigheid en plezier om iets te ondernemen, jullie nieuwe, frisse, goede en gekke ideeën zal ik -terug op mijn thuisbasis in Nuenen- zeker missen.

Er verliepen 40 jaar tussen mijn eerste stappen op de Mekelweg en de dag van vandaag. Het aantal mensen dat ik gedurende deze lange periode heb leren kennen is niet meer terug te filmen. Aan zeer velen hier in Delft, bij Philips en in vele uithoeken van de wereld bewaar ik heel goede herinneringen. Dank aan de velen, die mijn plezierige en heel bevredigende ingenieursloopbaan mogelijk maakten. Collegae en medewerkers van mijn afdeling Design Engineering, hier aan de TU Delft, bedankte ik reeds tijdens een gezellig en informeel afscheidsfeestje, maar ik herhaal dit hier graag en voor een groter publiek. Het wetenschappelijk geweten van Imre, het theoretisch inzicht van Jan, het ontwerpers enthousiasme van Klaas, de zakelijke aanpak van Sjef, de dagelijkse inzet van alle leden van voorheen K en de hulp van Astrid, Hanneke en Marijke leverden een grote bijdrage aan de boeiende ervaringen, tijdens mijn tweede periode aan de TUDelft. Jullie hulp behoorde mij voor verrassingen en valkuilen bij de overstap van bedrijfsleven naar afdelingsvoorzitter aan een universiteit. Jullie inzet vormde de basis voor mijn plezier in het werken met universiteit en studenten. Nogmaals mijn dank.

Zoals gezegd, zeer velen maakten mijn ingenieursloopbaan mogelijk, maar slechts één was er alle 40 jaren met raad en daad, maar ook met gezelligheid, aandacht en geduld. Elly bedankt.

Dames en heren, u allen dank voor uw aandacht.

Ik heb gezegd.

Referenties:

1. Bas, Gerbrand (1998). *Juryrapport "Stichting Goed Industrieel Ontwerp"*.
2. Buchi, Felix N., et al, (2001). *Proceedings 1st European PEFC Forum*. ISBN 3-905592-08-8, Druck Kinzel, Göttingen, Germany.
3. Carrubba, Frank (1993). *Miniaturisation, an important trend in products and technology*. Philips Electronics N.V.
4. Dally, James W. (1990). *Packaging of electronic systems; a mechanical engineering approach*, ISBN 0-07-015214-4, McGraw-Hill, Inc., New York, USA.
5. Hol, Martin (1997). *Zonregulerend Raam*. Afstudeerverslag, TU Delft, Industrieel Ontwerpen.
6. Pul, Maarten van (2002). *Design of a human powered MP3 player*. Afstudeerverslag, TU Delft, Industrieel Ontwerpen.
7. Queisser, Hans (1985). *Kristallene Krisen*, ISBN 3-492-02947-7, R. Piper GmbH München, Germany.
8. Strijk, Ruben (2002). *Development and future feasibility of a Direct Methanol Fuel Cell system with a power of 50 Watts*. Afstudeerverslag, TU Delft, Industrieel Ontwerpen.