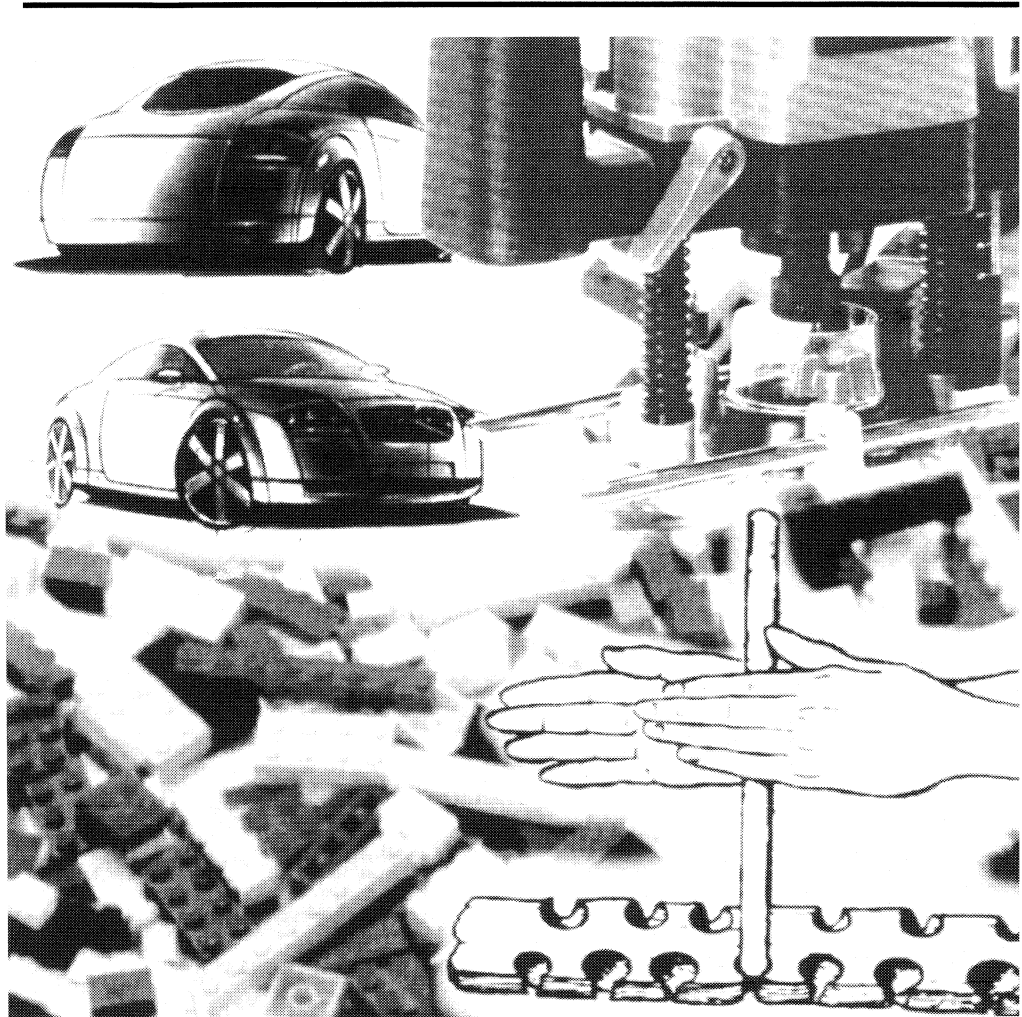


2 Materialiser



015004414

November 2000



IDE 442 Materialiseren 3

VOORWOORD

IDE 442 is het afsluitende vak in de reeks van "Materialiseren" vakken. IDE 442 bouwt verder aan kennis en vaardigheden vanuit de eerdere vakken: Materiaalkunde 1& Materialiseren 2 en Vervaardigen 1& Vervaardigen 2. IDE 442 is sinds 1996 operationeel en is, in tegenstelling tot eerdere vakken, een integrale benadering van 'materialen' en 'vervaardigingstechnieken'.

Naar aanleiding van de evaluatie aan de opzet in de periode 1996-1998 is de onderwijsvorm, met ingang van het jaar 1999-2000 enigszins aangepast. Het theoriedeel, bestaande uit hoorcolleges, is aanzienlijk verminderd. Het praktijkdeel, bestaande uit door studenten zelfstandig uit te voeren groepsopdrachten, heeft hierdoor meer ruimte gekregen. Bovendien zijn alle groepsopdrachten met elkaar verbonden binnen één thema.

Tijdens het materialiseren worden materialen tot producten. Na gebruik en afdanking van het product moeten de materialen weer grondstoffen worden en/of weer als input kunnen dienen voor een nieuw product. Een 'duurzame ontwikkeling' is mogelijk indien deze keten zoveel mogelijk gesloten wordt tot een kringloop.

Bij het ontwikkelen van een idee tot een product, verweeft de industrieel ontwerper de kennis, inzicht en vaardigheden van diverse vakken: onder andere materialenkennis, vervaardigingstechnieken, vormgeving, constructieleer, kostprijsystematiek, milieukunde, etc. Keuze van materialen en vervaardigingstechnieken, en daarmee verbonden consequenties aan kosten, milieueffecten, etc is een iteratieve process tijdens het ontwerpen. Innovaties in deze vakken kunnen ook leiden tot innovatieve producten. Het doel van IDE 442 is dan ook kennis, inzicht en vaardigheden te verschaffen in dit process door middel van enkele hoorcolleges en uitvoerige groepsopdrachten.

Mede dankzij de inzet van de studenten Irma Benliyan en Pieter Wiskerke, is het dictaat dit jaar verder verbeterd en is er een nieuwe hoofdstuk over kostenschattting toegevoegd. Uw commentaar en kritiek zijn welkom. Gaarne richten tot de co-ordinator, de heer Langeveld.

Oktober 2000.

Dr Prabhu Kandachar
Verantwoordelijke docent

inhoud

Inleiding Materialiseren	7
Rode draad	7
Materialiseren binnen het ontwerpproces	7
De plaats van de vierhoekrelatie F-M-V-G binnen het ontwerpproces	8
Van principeoplossingen tot definitief ontwerp.....	9
de beschouwing van een product	10
Een aanpak om materiaaleisen te definiëren.....	11
Hoofdstuk 1 Het programma van eisen	13
1.1 Inleiding.....	13
1.2 Het definiëren van een probleem	13
1.3 Checklist	14
Hoofdstuk 2 Materiaalkeuze	18
2.1 Inleiding.....	18
2.2 Conventioneel versus Systematisch.....	20
2.3 De materiaalkeuzediagrammen.....	22
2.3.1 De Sterkte - dichtheid diagram.	23
2.3.2 E-modulus versus Dichtheid	24
2.3.3 Sterkte (σ_y of σ_f) versus temperatuur.....	25
2.4 Voorbeelden van het gebruik van de diagrammen	27
Hoofdstuk 3 Technologiekeuze	31
3.1 Inleiding.....	31
3.2 Vervaardiging informatie voor het ontwerpen	31
3.3 Product introductie proces.....	32
3.4 Vervaardigingsproces keuze strategie	41
3.5 De technologie keuze.....	42
3.6 PRIMA selectie	42
3.7 VoorbeeldVervaardigingsproces voor voorvork van een racefiets.....	51
Hoofdstuk 4 Kostenberekening.....	53
4.1 Inleiding.....	53
4.2 Materiaal.....	55
4.3 Halffabrikaten.....	56
4.4 Bewerkingskosten.....	56
4.5 Gereedschapskosten	57
4.6 Montagekosten.....	57
4.7 Kostprijsopbouw	58
4.8 Machine uurtarieven	59
4.9 Voorbeeld berekening machine uurtarief.	60
4.10 Mens uurtarieven.....	61
4.11 Case: Kostprijsberekening shoarma grill ontwerpen 4	62
Hoofdstuk 5 Groepsopdracht IDE442	67
5.1 Inleiding, leerdoelen en beoordeling	67
5.2 Proces.....	68
5.3 Organisatie en verplichtingen	70
5.4 In te leveren werk	71
5.4 Handige tips.....	71
bijlagen	75
1 Van isotropie tot keuzediagram.....	75
2 Sterkte van materialen	75

Inleiding Materialiseren

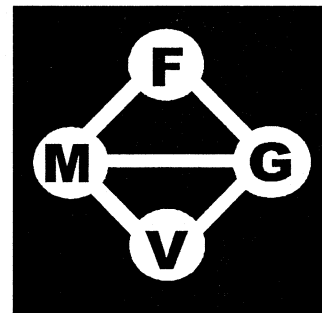
De praktische wensen en behoeften van de mens zijn oneindig in omvang en variatie. Voor ingenieurs en speciaal voor ingenieurs Industrieel Ontwerpen is dit een verheugende omstandigheid: er is nog veel te doen in de wereld.

Materialiseren is de omzetting van het productontwerp in een tastbare realiteit. Tijdens het materialiseren worden grondstoffen omgezet in materialen. Na gebruik en afdanking van het product moeten materialen weer grondstoffen worden. Een 'duurzame ontwikkeling' is alleen mogelijk indien deze keten zoveel mogelijk gesloten wordt tot een kringloop.

Bij het ontwikkelen van een idee tot een product verweeft de industrieel ontwerper materiaalkunde en vervaardigen. In zijn/haar hoofd gaan materiaalkennis, materiaalkeuze, vervaardigen, kosteneffectiviteit en ontwerpen hand in hand. Binnen het Industrieel Ontwerpen zijn materiaalkunde en vervaardigen niet meer te scheiden vakgebieden.

Rode draad

De productontwikkeling speelt zich vaak af in de vierhoekrelatie **Functie, Materiaal, Vervaardiging en Geometrie**. Deze hoekpunten staan in voortdurende wisselwerking. Het zwaartepunt van de vierhoek zijn de kosten en is te vinden op het snijpunt van de diagonalen. Deze **vierhoekrelatie F-M-V-G** fungeert in dit collegedictaat als referentiekader. De vierhoek laat de relatie zien tussen de aandachtsgebieden en biedt een vast aandachtspunt voor de lezer.



Materialiseren binnen het ontwerpproces

De kern van het ontwerpen is het redeneren van functie naar een tastbare vorm. Deze redenering is formeellogisch onjuist omdat er geen dwingende verbanden bestaan tussen functie en vorm. Toch bepaalt bij het ontwerpen de functie vaak wel in belangrijke mate de vorm, denk bijvoorbeeld aan het Functionalisme binnen het productontwerpen en de architectuur als extreme uiting hiervan. Creativiteit is binnen het ontwerpproces een belangrijk element. Van groot belang is de vraag: 'Hoe kan de Industrieel Ontwerper zijn ideeën vertalen in een realiseerbaar product?' Materiaalkennis, materiaalkeuze, kennis en keuze van vervaardigingstechnieken zijn onlosmakelijk verbonden met deze realisatie. Gezamenlijk vormen zij dan ook het proces van materialiseren binnen het gehele productontwerpen. Kijken we naar de plaats van het materialiseren binnen de tijdsfasering van het ontwerpproces volgens Pahl en Beits en VDI (zie figuur 1.1), dan zien we dat het materialiseren pas vrij laat lijkt plaats te vinden. Het gaat hier om het concreet materialiseren van ideeën. In de praktijk zijn alle tijdsfases niet zo strikt gescheiden, het materialiseren begint dan ook al veel eerder. Dit materialiseren kan alleen maar efficiënt en effectief plaatsvinden indien er

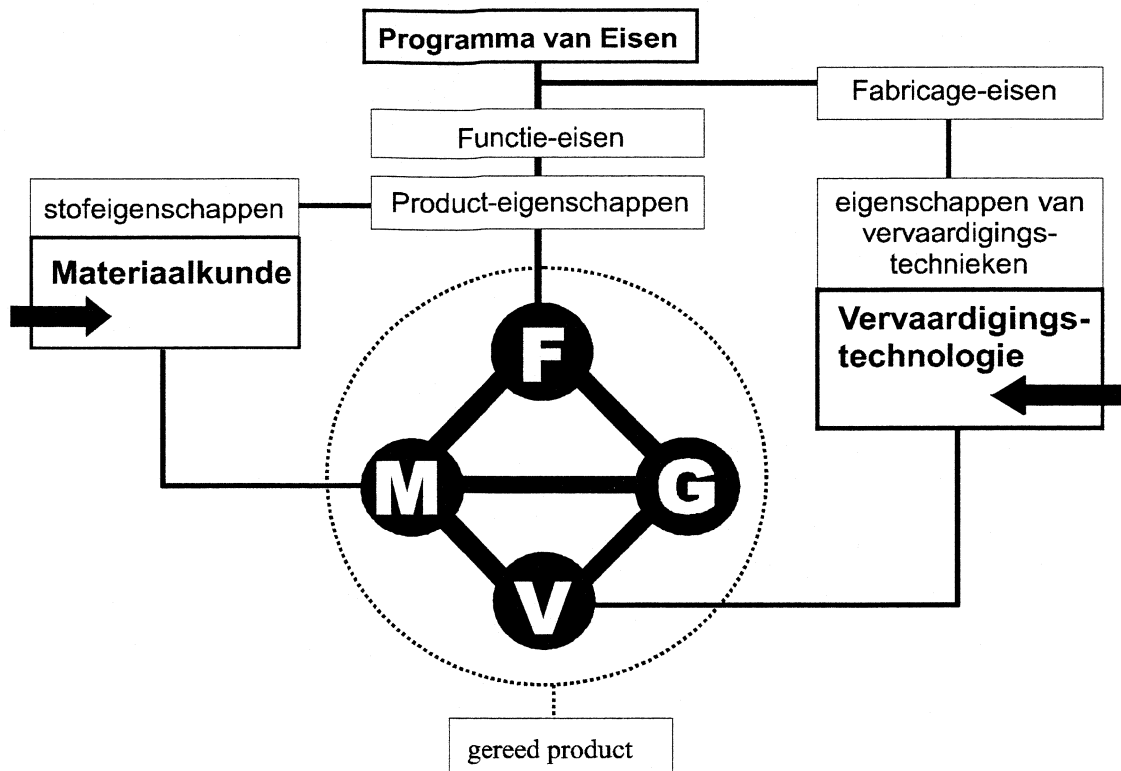
rekenschap wordt gegeven van alle invloeden en relaties tussen Functie, Materiaal, Vervaardigen en Geometrie (vierhoekrelatie F-M-V-G).

De plaats van de vierhoekrelatie F-M-V-G binnen het ontwerpproces

Het Ontwerpen speelt zich af in het spanningsveld van vele vakgebieden, ditzelfde geldt op een beperktere schaal voor het materialiseren, vooral de vakgebieden Materiaalkunde en Vervaardigen zijn van groot belang (zie figuur 1.1). Tijdens het productontwerpen start de ontwerper met een analyse fase waarmee in samenhang de probleemstelling ontstaat. De probleemstelling wordt uitgewerkt in doelstellingen, criteria en tenslotte in een uitgebreid Programma van Eisen (PVE). Het PVE bevat ook een opsomming van functie- en fabricage eisen. Vanuit de functie- en fabricage eisen is het mogelijk om eisen te stellen aan de materiaaleigenschappen en eigenschappen van de vervaardigingstechnieken (zie in figuur 1.1 de koppelingen vanuit het PVE via de eigenschappen aan de vierhoek F-M-V-G). Immers, een productontwerp is alleen maar acceptabel wanneer het voldoet:

- aan de gestelde functie-eisen
- aan de fabricage-eisen
- als het kosteneffectief is
- als er tijdens de gehele productlevenscyclus een kringloop van alle materialen mogelijk is.

Met het begin van de synthese vanuit het voorlopige PVE begint dan ook de materialisatie. Zoals figuur 1.1 laat zien is materialiseren geïntegreerd in een groot gedeelte van het ontwerpproces, dit loopt vanaf het PVE tot en met de toetsing. In opeenvolgende ontwerpstadia neemt de mate van materialisatie toe.



Figuur 1.1 F-M-V-G vierhoek

Van principeoplossingen tot definitief ontwerp.

Tijdens het productontwerpen worden principeoplossingen gevormd; deze markeren de overgang van de abstracte eisen naar een concrete geometrische vorm van het te ontwikkelen product. Het is een abstract en globaal ontwerp waarin voor het eerst materiaal en geometrie worden gespecificeerd. Het blijft abstract vanwege het feit dat de principeoplossing berust op een technisch-fysisch verschijnsel dat deze oplossing in het beginsel doet functioneren. **Het materialiseren is het steeds nauwkeuriger bepalen van kenmerken van het nieuwe product, oftewel het ontwikkelen van een principeoplossing tot een gedetailleerd ontwerp.**

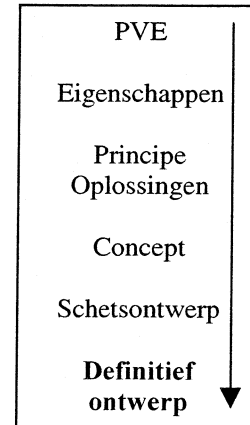
Hubka en Eder maken onderscheid tussen interne en externe eigenschappen van producten. De gewenste interne en externe eigenschappen zijn te vergelijken met de gestelde eisen in het PVE.

Om te komen tot een product met de gewenste eigenschappen maakt de ontwerper gebruik van enkele 'gereedschappen' zoals de fabricagemethode, de toleranties, de materiaalkunde of de plaats van de productonderdelen in het ontwerp. Deze 'ontwerpeigenschappen' zijn te beschouwen als de kern van het materialiseren en betreffen de ruimtelijke en de fysisch-chemische vorm van het product; waardoor mede de uiteindelijk producteigenschappen worden vastgelegd.

Het PVE is vaak complex en er is een groot aantal gewenste producteigenschappen. Daarom zijn er meestal twee stappen tussen een principeoplossing en een definitief ontwerp geplaatst: het concept en het voorontwerp of schetsontwerp.

Een goed concept is zover gematerialiseerd dat naast technisch-fysisch functioneren ook de gebruiksmogelijkheden, de vormgeving en de productietechnische en de commerciële mogelijkheden goed zijn te beoordelen.

Een voorontwerp of schetsontwerp is het laatste stadium voor het definitieve ontwerp. Van de belangrijkste onderdelen is de geometrie bepaald en zijn de materialen en fabricagetechnieken gekozen (Functie-Materiaal-Vervaardiging-Geometrie). Het schetsontwerp wordt uiteindelijk gedetailleerd in voortdurende toetsing met het PVE. De materialisatievierhoek speelt hierin de rol van intermediair tussen de uit het PVE volgende functie-eigenschappen en de via de materiaal eigenschappen gewenste producteigenschappen.



Voor een geslaagde materialisatie is een goede samenwerking en integratie tussen de hoeken van de materialisatievierhoek vereist met de volgende randvoorwaarden:

- tijd
- budget
- materiele middelen
- milieu

Deze optimalisatie kan tot heden slechts uitgevoerd worden via de iteratieve weg. Men kiest ofwel, materiaal, functie, vervaardiging of geometrie en gaat na of aan de gestelde eisen binnen de gestelde randvoorwaarden kan worden gedaan. Een herhaalde iteratie levert dan het gewenste resultaat op waarbij (lever)tijd veelvuldig als de beslissende randvoorwaarde geldt.

Moderne materiaalkeuze methodieken (zie hoofdstuk 2) zijn gebaseerd op de optimalisatie en prestatie parameters die meestal gedefinieerd worden op basis van fysische functie eisen. Deze keuze methodieken berusten op slechts twee van polen van de materialisatievierhoek: functie en materiaal. Optimalisatie tussen deze twee polen is niet voldoende voor een optimale materialisatie, maar zeker wel noodzakelijk.

de beschouwing van een product

Elk product is op te vatten als een gematerialiseerd idee; deze zal nooit zonder gebreken kunnen zijn gezien het door een mens is onworpen. Het is belangrijk om bij het ontwerpen van een product dit aspect in gedachte te houden, maar men moet het zeker niet als uitgangspunt nemen om mee te beginnen. Het is

belangrijk te letten op wat bijvoorbeeld fout kan gaan met een product of waarom een bestaand product niet voldoet aan de functie-eisen of hoe men beter tegemoet kan komen aan de fabricage-eisen. Bij een dergelijke lineaire beschouwing is het van belang het betreffende product in de analyse te zien als een verzameling van functies gezien deze functies nog weinig zeggen over een technische realisatie, is de studie van deze functies voor de materialisatie nog niet erg interessant. Soms moet een product een verzameling van functies vervullen. Dan is het beter om het product te analyseren in termen van functionele onderdelen die elk opgebouwd zijn uit componenten.

Een voorbeeld: een fiets is een technisch systeem met bijvoorbeeld het wiel als functioneel onderdeel. Dit wiel bestaat dan weer uit onder andere spaken, de velg, de binnen en buitenband. Het ontwerpproces kan gebruik maken van een dergelijke analyse. Het ontwerp begint dan bij een maatschappelijke vraag, deze wordt hierop vertaald naar een concept i.e. een te materialiseren idee dat vorm krijgt bij de eerste ruwe vormbepaling ("embodiment"). Men daalt af tot details op het niveau van componenten en via interactie en samenhang krijgt men de eerste schets van een productontwerp.

De materiaalkeuze en de vervaardigingstechnologie zijn met elk stadium in het ontwerpproces verbonden. Op elk niveau dient men de beschikking te hebben over materiaalkennis en kennis van vervaardigingstechnieken van de juiste nauwkeurigheid.

De nauwkeurigheid van deze kennis hangt uiteraard af van het niveau. De kennis is globaal en heeft betrekking op veel verschillende basis aspecten, maar wordt steeds specifieker met een toenemende detaillering. Dit zowel wat betreft de functies van het onderdeel zelf als de fabricage van het onderdeel. Bij deze voortgaande specificering moet nog steeds aan de mogelijke fabricage processen worden gedacht en de effecten hiervan op de uiteindelijke materiaaleigenschappen, de kosten, en natuurlijk het milieueffect hiervan.

Uit het voorgaande valt onmiddellijk af te leiden dat de keuze van een grondstof voor een te ontwerpen en te vervaardigen product onverbreekbaar verbonden is met de functie-, fabricage-, en de geometrie-eisen. De interactie hiertussen vormt de moeilijkheid: hoe "slimmer" een ontwerp wil zijn (bijvoorbeeld hoe beter de eigenschappen in een product uitgebuit of gecombineerd worden), des te meer zijn deze eigenschappen kritisch voor de gevolgen van de fabricage.

Een aanpak om materiaaleisen te definiëren

Het ontwerpen is een complex proces, doordat de ontwerper verward raakt in zowel intuïtieve als rationele afwegingen. De keuze van het materiaal is fundamenteel en kan het startpunt zijn van de materialiseringsfase van het ontwerp. Dit aspect van het ontwerp wordt, echter, soms beschouwd als niet voldoende uitgewerkt, met het resultaat dat het concept wordt aangetast en dat het meeste niet kan worden gemaakt in de gewenste vorm en afmetingen.

Wij zijn geïnteresseerd in de vele deelgebieden van het ontwerp en de eisen (geformuleerde eigenschappen) die nodig zijn. Deze kunnen gerangschikt worden onder de kopjes basic design- en omgevingsfactoren. Met behulp van deze korte

checklijst is de ontwerper in staat zeer snel een breed scala van eisen op te stellen voor het ontwerp.

Wanneer een in de praktijk lijst is opgesteld, zullen de fysische eigenschappen, fabricagemethode en materiaalkosten van de op de lijst genoemde eisen gedetailleerder moeten worden besproken met specialisten, zoals leveranciers, om uiteindelijk een eindselectie te maken.

De gespecificeerde eisen moeten wel worden vergeleken met wat er beschikbaar is. Ter assistentie in deze, volgt hier een lijst waarmee de meeste ontwerpeisen zijn gerealiseerd. Omdat de beschrijvingen van hun technische eigenschappen ruimschoots beschikbaar zijn, hebben we hier de notities beperkt tot de beschrijvingen van karakteristieken die van speciaal belang zijn bij dit ontwerp.

Hoofdstuk 1 Het programma van eisen

1.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe een goede probleemstelling opgesteld kan worden aan de hand van het een korte checklist. Deze verheldert de huidige problemen vanuit verschillende kanten en te bereiken doelen. Vanuit een goede probleemstelling kan met behulp van een checklist op een logische manier een PvE worden opgesteld.

1.2 Het definiëren van een probleem

Om tot goede randvoorwaarden en een realistisch programma van eisen te komen moet men eerst een probleemstelling formuleren. Om problemen op te lossen moet men ze eerst onderkennen, en de probleemkenmerken beschrijven. Deze probleemkenmerken bieden houvast bij het formuleren van de probleemstelling. Hier volgt een aantal punten waarin de probleemstelling aandacht aan geschonken moet worden.

- **Wat is het probleem?**

Hier kunnen verscheidene kanten aan zitten; een materiaal kan te duur zijn, te milieubelastend zijn, moeilijk verwerkbaar of een 'verkeerde' uitstraling hebben. Zo zijn er nog veel mogelijke problemen bij het maken van materiaal keuzen

- **Wie heeft het probleem?**

Er is altijd 'iemand' die het probleem heeft; bij eenvoudige problemen kan dat een individu zijn, maar het kan ook een collectief zijn. Gecompliceerder wordt het wanneer degenen die over het probleem beslissen niet dezelfde zijn als degenen die iets aan het probleem moeten doen. Een voorbeeld is de introductie van nieuwe milieuwetten op het gebied van duurzaamheid en de mogelijkheid tot recyclen van materialen.

- **Wat zijn de doelstellingen?**

Ontevredenheid met de situatie is niet meer dan een signaal; om het probleem op te lossen moet men een beeld hebben van een 'betere' situatie. Het bedenken van een doelstelling is op zichzelf al een probleem-oplosproces. De doelstelling moet zo concreet mogelijk geformuleerd worden. Zo kan bijvoorbeeld de maximale prijs, of de minimale sterkte van een materiaal nauwkeurig gedefinieerd worden.

- **Wat zijn de te vermijden neveneffecten?**

Bij doelstellingen denkt men meestal aan de aspecten die in de nieuwe toestand aanwezig moeten zijn. Echter, vaak moeten in een nieuwe toestand bepaalde zaken juist vermeden worden. Een handelingsingreep heeft vaak onbedoelde en ongewenste gevolgen; en oplossing kan dus nieuwe problemen creëren.

- **Welke handelingsmogelijkheden staan in beginsel open?**

Elk probleem heeft beheersbare en niet-beheersbare variabelen. Vaak kan en mag je in de bestaande toestand niet zomaar alles veranderen. Voor elk ontwerp gelden bepaalde randvoorwaarden waarbinnen naar oplossingen

moet worden gezocht, bijvoorbeeld: moet (mag) een bepaald materiaal juist wel of niet worden toegepast? Tot de randvoorwaarden behoren ook de tijd, het budget en andere middelen waarover men beschikt bij het oplossen van een probleem.

Als de bovengenoemde punten zijn vastgelegd. Ligt er een goede probleemstelling ter tafel. De activiteiten die daartoe leiden zijn als volgt samen te vatten:

- A) waarnemen en beschrijven
- B) verklaren en voorspellen
- C) doelstellingen kiezen en formuleren

De eerste twee punten spelen een belangrijke rol in het wetenschappelijk onderzoek. Het derde punt moet vooral leiden tot een opstellen van de randvoorwaarden en deze uitwerken tot een programma van eisen.

Om het PvE nauwkeurig en allesomvattend te maken moet men opnieuw alle facetten van het ontwerpproces bekijken, maar dan op een gedetailleerdere manier. Hiervoor zijn verschillende checklists ontwikkeld waarvan er een hierna staat weergegeven.

Wanneer een checklist is doorgelopen en een lijst met eisen is opgesteld, zullen de fysische eigenschappen, fabricagemethode en materiaalkosten van de op de lijst genoemde eisen gedetailleerder moeten worden besproken met specialisten, zoals leveranciers, om uiteindelijk een eindselectie te maken.

1.3 Checklist

Basic design factoren

Bij de materiaalkeuze heeft de ontwerper de behoefte om het product te analyseren als een geheel, en de volgende punten zijn relevant voor nadere beschouwing:

Functie

Het product kan een compressoreenheid zijn in een kolenmijn, een longventilator in een ziekenhuis, of een audio-installatie in huis. Een beschouwing over wat het product moet doen en de verwachte levensduur, zal een algemene richtlijn geven waaraan de groep van materialen moet voldoen.

Prestaties

Welke functies moet het product vervullen? Welke eigenschappen moet het product hebben (snelheid, vermogen, sterkte, nauwkeurigheid, capaciteit, e.d.)?

Vorm, kleur, finishing

Welke voorkeuren hebben de consumenten en de afnemers? Moet het product in een productielijn of een huisstijl passen?

Economische achtergronden

De verkoopprijs, bewerkingskosten, onderhoudskosten, gereedschapskosten, materiaalkosten, frequentie van vervanging, en een acceptabele hoeveelheid van onderhanden zijnd werk, kan materialen en fabricageprocessen beïnvloeden.

Levensduur

Hoe lang moet het product meegaan en hoe intensief wordt het gebruikt?

Onderhoud

Is onderhoud noodzakelijk en beschikbaar? Welke onderdelen moeten toegankelijk en vervangbaar zijn?

Normen en standaarden

Welke normen (nationaal en internationaal) zijn van toepassing op het product en de fabricage? Moet men met standarisatie in het bedrijf of in de bedrijfstak rekening houden?

Seriegrootte en methoden

De hoeveelheid producten in batches vervaardigt op jaarbasis, zal de economische productiemethode beïnvloeden en als gevolg daarvan de materialen. Modulair ontwerp kan relevant zijn en zal de productieniveaus en materialen beïnvloeden.

Productstructuur eisen

De ontwerpeisen voor technische, ergonomische en esthetische aspecten voor de werking, de betrouwbaarheid en de mechanische structurele verlangens van productieomvang, productieproces en hun noodzakelijke kosten in overweging nemend is het centrale dilemma in verband met de materiaalkeuze. Duurzaamheid kan waardevoller zijn dan oorspronkelijke esthetische schoonheid, of dan kostenbesparing gebaseerd op lage kwaliteit materialen dat leidt tot voortijdig schade bij gebruik.

Marketing

De ontwerper moet de verwachtingen van de klant inschatten en als het mogelijk is een product produceren dat aan deze verwachtingen voldoet. Wat materialen wordt de zienswijze van de klant beïnvloed door allerlei soorten producten waarmee zij in contact komen en juist niet diegene waarmee de ontwerper bezig is. Verwachtingen over materialen zijn van invloed op de historie in sommige branches, en op conventioneel gebruik in andere branches, dus voor sommige groepen hoeft nieuw niet automatisch te betekenen beter, vaak eerder het tegenovergestelde.

Veiligheid

Veiligheid is fundamenteel en materiaalkeuze moet zich altijd schikken naar de relevante standaards en voorzienbare risico's in aanmerking nemen. Voorbeelden zijn de mogelijkheid van een elektrische schok van hospitaaluitrusting, tenzij hun banden antistatisch zijn, de kans dat vlakglas

breekt als het bloot staat aan de omgeving, de mogelijkheid dat vitale meetapparatuur vastloopt door vochtopname bij kunststoflagersystemen en door verslechtering met betrekking tot corrosie.

Vormgeving

Vormgeving is een belangrijk aspect voor materialen van het ontwerp. Het wordt beïnvloed door bijvoorbeeld het zichtoppervlak van componenten en door de vorm waarin componenten worden gefabriceerd. Materialen heeft invloed op het oppervlak, de natuurlijke kleur, de lichtreflectie en de korrelige oppervlaktestructuur. Met oppervlaktebehandelingen kunnen oppervlakten en hun vormgeving worden aangepast en de graad en snelheid van achteruitgang tijdens gebruik. Het gebruikte materiaal zal sterk afhangen van de gebruikte fabricage processen; gieten, spuitgieten, stampen, buigen, of snijden, en beïnvloed het karakter van de vorm dat economisch haalbaar is.

Besturing

Op dit terrein kunnen er behoeften die relevant zijn voor de materiaalkeuze. Bijvoorbeeld bij bedieningshandels waar de handgreep een wrijvingsweerstand moet bezitten voor handbediening, botsingsveerkracht, door vervorming van het materiaal geschikt voor grafische weergave of een grafisch proces.

Gewicht

Gewicht kan een belangrijke factor zijn, in bijzonder bij alle vormen van transport. Het kan ook problemen veroorzaken als grote componenten gehanteerd moeten worden tijdens onderhoud in zulke gevallen kunnen lichte legeringen of kunststoffen uitkomst bieden.

Hergebruik/ afvalverwerking

Kan de materiaalcyclus worden verlengd door hergebruik van materialen en onderdelen? Zijn de materialen en onderdelen te scheiden voor afvalverwerking?

Installatie, in gebruikstelling

Welke eisen stelt de eindmontage buiten de fabriek, de installatie, het aansluiten op andere systemen en het leren hanteren van het product?

Maatschappelijke en politieke implicaties

Wat zijn de opvattingen in 'de samenleving' met betrekking tot het product? Wat zijn de wettelijke (milieu)eisen?

Omgevingsfactoren

Bij de materiaalkeuze heeft de ontwerper de behoefte om het product te analyseren in zijn context: de externe omgeving. Aan welke omgevingsfactoren is het product onderhevig tijdens de productie, het transport en het gebruik?

Schokbestendigheid

Schokken veroorzaken een breed scala aan krachten die de machine moet kunnen opnemen, bijvoorbeeld vallende rotsblokken op wegenbouwmachines, een plotselinge versnelling kan resulteren in extreme krachten bij het rangeren

van spoorwegmaterieel, producten kunnen ook vallen tijdens het hanteren of met transport.

Corrosie weerstand

Een van hoofd criteria voor de materiaalkeuze is de weerstand tegen corrosie die beïnvloedt de werking, vormgeving, levensduur, veiligheid en onderhoud. Corrosievaste materialen neigen te duur te zijn en de mate waarin zij kunnen worden toegepast zal gekoppeld zijn aan de prijs, behalve waar veiligheid voorop staat. In z'n geval, moet de materiaalkeuze worden gemaakt tussen voorkoming van gevaarlijke corrosie en heldere definitie voor inspectie, onderhoud en testprocedures die zijn nodig om de veiligheid te handhaven, bijvoorbeeld hefinstallatie of vitale meetinstrumenten.

Trillingen

Trillingen kunnen leiden tot desintegratie zoals bij zwaar belaste tapbouten met zijn draaduiteinden in zachte legeringen of bros kunststof. Zij kunnen ook tot faalgedrag leiden door vermoeiing van componenten wanneer krachten ontstaan door trillingen boven de vermoeiingsgrens voor het materiaal komen, die verrassend laag kan zijn in het geval van glasvezel versterkte kunststof.

Temperatuur en vochtigheid

Wetend dat extremen temperaturen altijd een probleem veroorzaken voor de materiaalkeuze. Bijvoorbeeld materialen die slechte warmtegeleiders zijn zullen geschikter voor handbediening componenten zoals bedieningshandels in extreme temperaturen. Echter het zijn de onverwachte veranderingen in de weersomstandigheden die neigen over het hoofd te worden gezien. Bijvoorbeeld het controle raam van een compressorhuis kan met dubbelglas uitgevoerd zijn, met glas aan de binnenkant en polycarbonaat aan de buitenkant.

Vandalisme

Vandalisme krijgt vaak niet voldoende aandacht. Straatmeubilair voor openbare ruimten is kwetsbaar en het is uiteindelijk goedkoper om dure materialen te gebruiken zoals roestvaststaal, in plaats van de minder dure alternatieven en/of met oppervlaktebehandelingen.

Brand

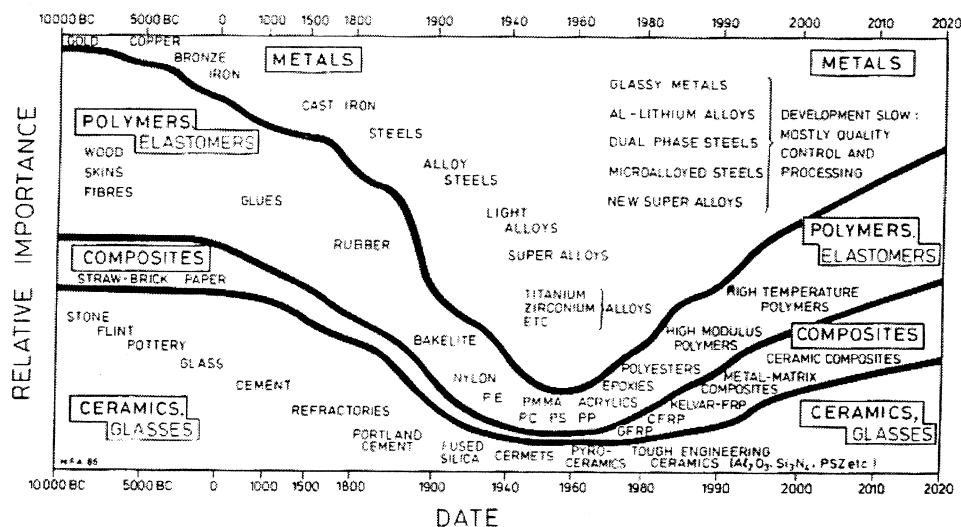
Bij materiaalkeuze moet het brandgevaar worden bekeken vanuit het oogpunt van veiligheid en het gebruik. De keuze criteria omvatten ontvlambaarheid, voortplantingssnelheid van het vuur, ontstaan van giftige gassen, ontstaan van gas welk bijdraagt aan het vormen van een explosief mengsel, de brandvertragingstijd van het materiaal die bestand is tegen hoge temperaturen. Ook de warmte van energieomzetters kan de oorzaak zijn dat bij materialen, veelal kunststoffen, schadelijke stoffen afgeven, snel verouderen en scheurvorming optreedt.

Hoofdstuk 2 Materiaalkeuze

2.1 Inleiding

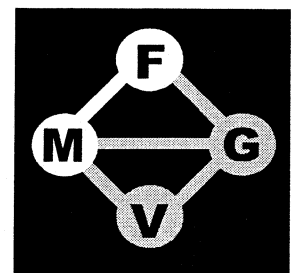
De beschikbare stoffen voor het vervaardigen van producten zijn in de geschiedenis niet altijd dezelfde geweest (zie figuur 2.1). De laatste tijd neemt de variatie en de beschikbare stoffen toe evenals de aan het te ontwerpen product gestelde functie-eisen.

Zo moeten aan het begin van het derde millennium alle geproduceerde producten niet alleen vervaardigd en verkocht worden maar na gebruik ook afgedankt en verwerkt. Deze eis betekent een uitdaging voor de industrieel ontwerper bij het kiezen van de juiste combinatie van materiaal, vervaardigingstechniek en geometrie. Dit hoofdstuk gaat hier dieper op in.



Figuur 2.1 The evolution of engineering materials (ref.2)

De materiaalkeuze richt zich in eerste instantie op twee polen uit de materialisatievierhoek: **materiaal en functie**. Omdat een materiaal een stof is verwerkt tot een product kunnen de vervaardiging en de geometrie niet buiten beschouwing worden gelaten. Het zal blijken dat de in dit subhoofdstuk behandelde voorbeelden dat de materiaalkeuze vaak een bepaalde vervaardigingstechniek impliceert. Evenzo zal de keuze van een geometrie of van een vervaardigingstechniek consequenties hebben voor de materiaalkeuze. Wat het belangrijkste uitgangspunt is tijdens het ontwerpen zal voornamelijk afhangen van het moment dat de ontwerper wordt ingezet, zijn/haar persoonlijke aanpak en restricties vanuit de opdrachtgever.



Globaal gezien zijn er 3 verschillende momenten waarop een industrieel ontwerper kan worden ingeschakeld:

bij het eerste begin van het ontwerp
tijdens de toepassing na het ontwerp
tijdens een lopende productie

→ **oorspronkelijk ontwerp**
→ **ontwikkelings ontwerpen**
→ **herontwerpen**

Oorspronkelijk ontwerp

Hierbij gaat het om geheel nieuwe producten met als uitgangspunt:

- ontdekking van een nieuw principe (balpen, CD, vacu-vin)
- ontdekking van een nieuwe behoefte (buzzer, opvouwbare fiets)
- ontwikkeling van een nieuw materiaal

Veel werkelijk nieuwe producten zijn gebaseerd op nieuwe materialen of meer variatie in materialen.



Figuur 2.2 Voorbeelden van nieuwe producten (nieuw principe/behoefte/materiaal)

Ontwikkelings ontwerpen

Hierbij wordt een voortgaande verbetering van bestaande producten gerealiseerd zonder het principe te veranderen. Vaak mogelijk door de materiaalkundige ontwikkelingen en geïnduceerd door een maatschappelijke vraag of door verplichtingen opgelegd vanuit de overheid.

Herontwerpen

Hierbij gaat het om verandering in de grootte of de aantallen van het betreffende product, zonder dat de functie verandert, dit impliceert vaak een andere materiaalkeuze (zie als voorbeeld figuur 2.3)

Het zal duidelijk zijn dat de materialisatie, met daarbij inbegrepen de materiaalkeuze, niet meer kan worden gezien als een eenduidig op te lossen probleem. De gevonden oplossing zal dan altijd geoptimaliseerd moeten worden. Vier zielen heeft de industrieel ontwerper hiertoe: de artistieke ontwerper, de technicus, de econoom en de staatsburger. Voor een benadering van de materiaalkeuze zoals verder in deze paragraaf plaatsvindt zijn simplificaties echter onvermijdelijk.

2.2 Conventioneel versus Systematisch

De keuze van het juiste materiaal is voor een industrieel ontwerper vaak een probleem. Het aanbod is enorm, maar de persoonlijke materiaalkennis is beperkt, daarnaast heeft een ontwerper al vaak een bepaalde geometrie en uitstraling in zijn hoofd waar het materiaal aan moet kunnen voldoen. Het is dan ook niet opmerkelijk dat de uiteindelijke materiaalkeuze vaak plaatsvindt aan de hand van ervaring en intuïtie daarbij gebruikmakend van databases en informatie van derden. Deze vorm van materiaalkeuze wordt conventioneel genoemd en zal in dit dictaat verder niet worden behandeld. Een binnen het materialiseren interessante andere vorm van materiaalkeuze is de systematische materiaalkeuze zoals wordt beschreven door Ashby. Deze systematische methode biedt de mogelijkheid om te zoeken naar materialen die zo efficiënt en effectief mogelijk voldoen aan combinaties van gewenste producteigenschappen.

Door gebruik te maken van prestatieparameters en grafische presentaties worden er mogelijke oplossingen gemodelleerd. De gevonden materialen hoeven echter niet te voldoen aan alle andere gewenste producteigenschappen, maar de redenering geldt wel andersom: wanneer een materiaal geschikt lijkt vanuit alle producteigenschappen dan moet deze ook voorkomen als goede mogelijkheid in de materiaalkeuzediagrammen van Ashby. Figuur 2.2 laat het verschil zien tussen de conventionele en de systematische methode van materiaalkeuze.

Het formuleren van de gewenste materiaaleigenschappen vanuit de producteigenschappen is een lastige stap in zowel de conventionele als de systematische methode van de materiaalkeuze. Voor deze stap is geen jargon ontwikkeld en het is aan de ontwerper zelf hier inzicht in te ontwikkelen. Wel bestaan er checklisten om te voorkomen dat er aspecten over het hoofd worden gezien. Een mogelijke checklist geschreven door Alec B. Kirkbride is opgenomen in bijlage 2.

In de volgende paragrafen zal aandacht worden besteed aan de materiaalkeuzemethodieken zoals Ashby deze beschrijft, ter verduidelijking zal er worden afgesloten met een tweetal praktische voorbeelden.

2.3 De materiaalkeuzediagrammen

Voor een verstandige keuze van een materiaal bij de functie-eisen van een product zijn de materiaalkeuzediagrammen een zeer nuttig hulpmiddel. Het gebruik ervan stelt je in staat al direct een keuze te maken tussen verschillende materiaalklassen. Aan de hand van de functie-eisen; over bijvoorbeeld de mechanische en thermische eigenschappen, kan je in het diagram dat de eisen weergeeft, bepalen welke materiaal-klasse het meest in aanmerking komt. In totaal zijn door Ashby 23 diagrammen opgesteld. Vier daarvan hebben betrekking op proceskeuze en negentien op materiaalkeuze.

Van die achttien materiaal-keuzediagrammen zullen we er nu drie bekijken, die betrekkelijk primaire eigenschappen weergeven: elasticiteitsmodulus (E-modulus), sterkte, dichtheid, temperatuur. Het is mogelijk de gangbare materialen in te delen in negen klassen:

- | | | |
|--------------------------|------------------------|----------------|
| 1. legeringen | 4. rubbers | 7. glazen |
| 2. constructie-polymeren | 5. constructiekeramiek | 8. houtsoorten |
| 3. polymeerschuimen | 6. poreuze keramiek | 9. composieten |

Elke categorie heeft zijn eigen min of meer kenmerkende eigenschappen. Metalen hebben hoge E-moduli, zijn te versterken door legeren en door warmtebehandelen, maar blijven deformeerbaar. Een nadeel is dat ze gevoelig zijn voor invloeden van de omgeving. Keramiek en glas hebben ook hoge E-moduli, maar zijn in het algemeen bros. Keramische materialen zijn te gebruiken bij zeer hoge temperaturen. Polymeren en rubbers zitten aan de andere zijde van het spectrum. De E-moduli zijn meestal zo'n vijf maal lager dan die van metalen. Daarentegen zijn ze vaak beter bestand tegen aantasting door de omgeving.

Composieten combineren de gunstige eigenschappen van de verschillende categorieën en de slechte eigenschappen worden onderdrukt. Een nadeel is de slechte mogelijkheid tot hergebruik. De karakteristieke eigenschappen van de verschillende materiaal-klassen maken het mogelijk verschillende eigenschappen van de klassen te vergelijken. Door twee grootheden, karakteristiek voor de materiaalklasse, langs twee grafische assen van een diagram uit te zetten, kunnen de verschillende materialen in een diagram geplaatst worden waarbij voor iedere klasse een al dan niet met andere klassen overlappend gebied ontstaat. De waarden van de eigenschappen worden logaritmisch uitgezet opdat er een groter bereik aan waarden in een handzaam diagram passen. Voor verschillende combinaties van eigenschappen is dit gedaan door Ashby. Deze diagrammen heten Materials Selection Charts (materiaalkeuzediagrammen).

Voor elk product gelden bepaalde functie-eisen. Deze zijn meestal te verwoorden in primaire eigenschappen als dichtheid, breukrek, breuksterkte, vermoeiingssterkte, thermische geleiding, UV-stabiliteit. Dergelijke eigenschappen heeft Ashby in zijn materiaalkeuzediagrammen verwerkt. Door te zoeken in de diagrammen met combinaties van eigenschappen kan een rationele keuze gemaakt worden tussen de materiaalklassen. Daarnaast is het mogelijk binnen een klasse een verdere keuze te doen in de richting van een bepaalde legering, een bepaald soort keramiek, een soort kunststof of een composiet. Als je zover gekomen bent, dan zal je in het algemeen genoeg weten over het materiaal om

verstandig te ontwerpen. Voor de laatste verfijning in de materiaalkeuze zult u meestal een deskundige moeten raadplegen. U bent nu wel in staat om een product ontwerpen dat ook daadwerkelijk te produceren valt en aan de functie-eisen voldoet. Het materiaalkeuze bepaalt namelijk voor een groot deel de verwerkingsmethode, de verwerkingstemperatuur en de productiesnelheid.

Aangezien de materiaalkeuzediagrammen alle werken volgens hetzelfde principe zullen we nu twee ervan nader bekijken. Hierbij is de keuze gevallen op:

1. E-modulus
versus dichtheid
 2. breukspanning
versus temperatuur
- (zie bijlagen voor voorbeelden diagrammen)

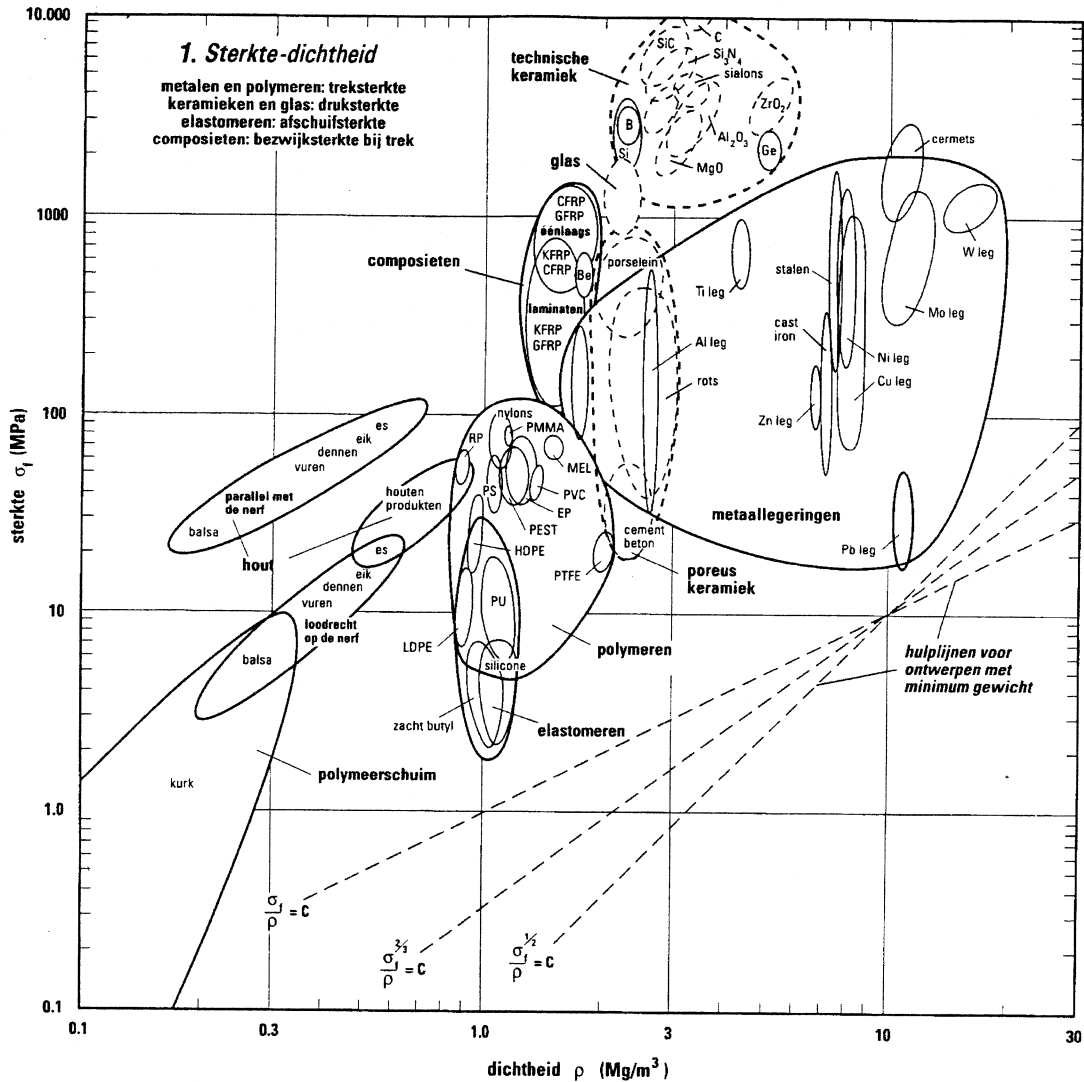
2.3.1 De Sterkte - dichtheid diagram.

Als voorbeeld voor de materiaal selectie diagrammen wordt de Sterkte- dichtheid diagram nader toegelicht. Dit is een van de meest gebruikte diagrammen aangezien beide eigenschappen een grote invloed hebben op de functie en het gebruik van te ontwerpen product. Andere materiaal selectie diagrammen zijn te vinden in bijlage 1.

De dichtheid van een materiaal is een exact gedefinieerde grootte, de sterkte echter niet. Het woord 'sterkte' moet nader gedefinieerd worden. Bij metalen en polymeren spreekt men van de 'treksterkte', bij brosse materialen zoals keramiek is de druksterkte van belang en voor composieten de treksterkte. In figuur 2 staan deze krachten onder de noemer σ_f , ondanks de verschillende falingsmechanismen die betrokken zijn. De kracht in dit figuur is uitgezet tegen de dichtheid ρ . Een lange verticale 'sterkte ballon' van een materiaal reflecteert het een groot bereik, wat veroorzaakt kan zijn door vele factoren zoals: verschillende legeringen, korrelgrootte, porositeit, eventuele warmtebehandelingen, etc. Materialen met ongeveer gelijke eigenschappen worden bij elkaar geclusterd in een enveloppe, en karakteriseren een bepaald gebied van de diagram. Deze enveloppen zijn in de grafiek omringd met een zware lijn.

De sterkte van materialen heeft net als de E-modulus een zeer grootte spanweidte: van minder dan 0.1 MPA (schuim die in verpakkingen toegepast worden als energie absorberende laag) tot 10.000 Mpa (diamant).

De diagonale gestippelde lijnen in het diagram staan voor het volgende: $\sigma_f/\rho=c$, $\sigma_f^{2/3}/\rho=c$, $\sigma_f^{1/2}/\rho=c$ deze geven het minimum gewicht weer bij een bepaalde dichtheid. Onder deze lijnen is er dus geen bruikbaar materiaal te vinden om in een ontwerp te gebruiken.



2.3.2 E-modulus versus Dichtheid

Voor de verschillende materiaalklassen hebben de dichtheid en de E-modulus een minimale en een maximale waarde. Dit betekent dat elke materiaalklasse een beperkt gebied inneemt. De dichtheid van een materiaal is afhankelijk van drie factoren:

- atoommassa
- atomair volume
- pakkinggraad

Dichtheidsverschillen zijn vooral het gevolg van een verschil in atoommassa, gezien atomair volume en pakkinggraad niet zo veel verschillen voor de verschillende atoomsoorten. Een direct gevolg hiervan is dat de metalen in het algemeen zwaarder zijn dan bijvoorbeeld de kunststoffen, aangezien metalen uit zwaardere atomen zijn opgebouwd.

De E-modulus van een materiaal is afhankelijk van twee factoren:

- sterkte van de afzonderlijke bindingen
- aantal bindingen per volume eenheid

De covalente binding is sterker dan de metaalbinding. Toch zijn metaallegeringen in het algemeen sterker dan thermoharders, waarin de ketens via covalente bindingen kruiselings met elkaar verbonden zijn. Dit is een direct gevolg van het veel kleinere aantal covalente bindingen per volume-eenheid. De Van-der-Waals-bindingen en waterstofbindingen die in thermoplasten de binding tussen de ketens verzorgen zijn zwakker dan metaalbindingen en covalente bindingen. De thermoplasten zullen daarom een lagere E-modulus hebben dan de metalen en de thermoharders. Worden echter de thermoplastische ketens netjes naast elkaar gelegd, zoals dat het geval is bij vezels, dan wordt de covalente binding weer het belangrijkste. Daardoor zijn er vezels ontwikkeld met hogere treksterktes dan bijvoorbeeld staal.

2.3.3 Sterkte (σ of σ_f) versus temperatuur

Wanneer de temperatuur van een vaste stof stijgt, wordt door toename van de trillingsenergie de bewegingsvrijheid van de atomen groter en zal de stof uitzetten. Zowel de verhoogde trillingsenergie als de uitzetting verzwakken de bindings-sterkten in een materiaal en maken vervorming eenvoudiger.

Kunststoffen, aluminium-, magnesium- en zinklegeringen kunnen in het algemeen niet boven 200 à 300 °C gebruikt worden. Dit geldt ook voor thermoharders, die bij hogere temperaturen, zeker bij gebruik gedurende langere tijd, degraderen. Werken we met thermoplasten, dan zal de gebruikstemperatuur in het algemeen nog lager zijn omdat de meeste thermoplasten al gesmolten zijn bij temperaturen tot circa 100 °C. Metalen zijn bij hogere temperaturen bruikbaar. Is ook de maximale gebruikstemperatuur van metaallegeringen niet hoog genoeg, dan kan men zijn toevlucht zoeken in de keramische materialen. Deze zijn tot zeer hoge temperaturen bruikbaar als constructiemateriaal.

Naast de begrenzing door de maximale gebruikstemperatuur is er ook een begrenzing door de minimale gebruikstemperatuur. Beneden een bepaalde temperatuur kunnen kunststoffen en metaallegeringen, met name staallegeringen, bros worden. Dit betekent dat het breukmechanisme verandert. Boven deze brosheidtemperatuur breekt een materiaal taai. Het taaie breukgedrag is beter voorspelbaar omdat de breuk niet zo plotseling optreedt. Overigens staat voor de keramische materialen een minimale temperatuur aangegeven van circa 700 °C. Dit is niet een brosheidtemperatuur. In dit diagram geven de benedengrenstemperaturen slechts een begrenzing van het toepassingsgebied aan. Beneden deze temperatuur zijn de andere materialen gunstiger (lees voordeliger) toe te passen, als het gaat om toepassingen op grond van sterkte.

Welke overige Ashby diagrammen bestaan is hierna in tabel 2.1 weergegeven. Deze diagrammen kunnen gevonden worden in het boek "Materials Selection in mechanical design" Van M.F. Ashby.

Ashby materiaalkeuze		
1	sterkte	dichtheid
2	sterkte	temperatuur
3	E modulus	temperatuur
4	E modulus	dichtheid
5	Slagsterkte	E modulus
6	Slagsterkte	dichtheid
7	Slagsterkte	sterkte
8	E modulus	sterkte
9	Specifieke modulus	Specifieke sterkte
10	Verlies coefficient	E modulus
11	Thermische geleidingscoefficient	Thermische difussie
12	Lineair uitzettingscoefficient	Thermische geleidingscoefficient
13	Uitzettings modulus	E modulus
14	Genormailseerde sterkte	Lineaire uitzettings coefficient
15	Sterkte	Energie inhoud
16	E modulus	Relatieve kosten
17	sterkte	Relatieve kosten
	kosten	gewicht
18	Slijtage snelheid	drukkracht
Ashbey Fabricage keuze		
1	Hardheid	Smelttemperatuur
2	Tolerantie	Oppervlakte ruwheid
3	Informatieinhoud	Groote (kg)
4	Oppevlak	Minimale doorsnede

Tabel 2.1, de Asbey diagrammen

2.4 Voorbeelden van het gebruik van de diagrammen

1. Voorvork voor een racefiets

Inleiding

Bij het ontwerpen van een fiets zal de sterkte van het frame de eerste zorg zijn. Ook stijfheid is natuurlijk van belang, maar een eerste vereiste is, dat het frame niet breekt tijdens normaal gebruik. De belasting van een frame is complex en samengesteld uit axiale, buigende en torsie-belasting. Aangezien deze situatie moeilijk te beschouwen is, zullen we nu alleen naar de voorvork van de fiets kijken, aangezien daar vooral buigende belasting een rol speelt. Als extra bepaling willen we een voorvork voor een racefiets beschouwen. Hierbij is het van groot belang de vork zo licht mogelijk te maken.



specificering

De voorvork nu opgebouwd te zijn uit buizen met een lengte l welke een maximale belasting P moeten weerstaan. De buizen hebben een straal r en een wanddikte t .

aanpak

De functieervulling, p , van een dergelijk onderdeel wordt bepaald door

- de functie-eisen (F)
- materiaaleigenschappen (M)
- vervaardigingstechniek (V)
- de geometrie (G)

oftewel $p = f[(F, M, V, G)]$

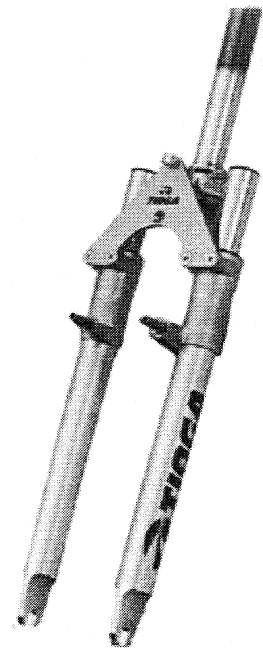
De variabelen F, M, V, G kunnen worden gescheiden:

$$p = f_1(F), f_2(M), f_3(V), f_4(G)$$

Materiaaloptimalisatie zou kunnen plaatsvinden door de functie $f_2(M)$ te optimaliseren, zonder acht te slaan op de vervaardiging, geometrie en de functie-eisen. Zoals in onderstaande uitwerking zal blijken kan de materiaaloptimalisatie nooit volledig los gekoppeld worden, het blijft noodzakelijk de andere variabelen in te passen in het iteratieve materiaalkeuzeprocess.

Materiaalkeuze

De voorvork van een fiets wordt beschouwd als een op buiging belaste balk. Voor een optimalisatie naar minimale massa bij voldoende sterkte van de voorvork moet de verhouding tussen de sterkte en de dichtheid zo hoog mogelijk worden.



Als standaard formule voor de verhouding tussen sterkte en dichtheid is gegeven:

$$M_2 = \frac{(\phi_B^f)^{1/3} \cdot (\sigma_f)^{2/3}}{\rho}$$

waarin

$(\phi_B^f)^{1/3}$ = een vormfactor die het traagheidsmoment inhoudt.

σ_f = de sterkte

ρ = de dichtheid.

Af te leiden is dat voor de beste combinatie van materiaal en vorm de grootheid M_2 zo groot mogelijk moet worden

In de te gebruiken diagrammen (zie referentie 2 en de bijlagen) is een stel lijnen van constante sterkte/ dichtheidsverhouding te trekken. Deze lijnen hebben een helling van 3/2. Materialen op een dergelijke lijn zijn allen even goed voor het maken van lichte buizen met goede sterkte-eigenschappen. Materialen boven die lijn zijn beter, die eronder zijn slechter. We moeten dus de lijn kiezen met een zo hoog mogelijke waarde van $\sigma_f^{2/3}/\rho$. De vermelde gegevens voor de keramische materialen zijn druksterkten en zijn niet van toepassing op het hier behandelde belastinggeval. Er valt dan af te leiden door de lijn $\sigma_f^{2/3}/\rho = C$ evenwijdig zo hoog mogelijk te verschuiven, zodat de maximale waarde van de verhouding $\sigma_f^{2/3}/\rho$ gelijk is aan: 25.

Hieruit volgt de volgende selectie van grondstoffen: hout, magnesiumlegeringen, titaanlegeringen, aluminium-legeringen met een hoge sterkte (bijvoorbeeld AA 7075 T6) en bepaalde staalsoorten.

Conclusie

De 3 meest geschikte materialen zijn

- Een aluminiumlegering met hoge sterkte
- Titaanlegeringen
- magnesiumlegeringen

twee andere zeer geschikte materialen zijn:

- Koolstofvezel-versterkte kunststoffen
- hout

Een groot nadeel van hout is dat het niet buisvormig gemaakt kan worden. Toch zijn deze materialen duidelijk beter dan een staal met hoge sterkte.

Op dit moment is het wel belangrijk dat we bedenken dat er alleen over sterkte-eigenschappen gepraat is. Er zijn natuurlijk nog veel meer factoren die een rol spelen. Hierbij kan gedacht worden aan de kosten en aan esthetische aspecten. Zo zal een koolstofvezelversterkte kunststof er zeer geavanceerd uitzien, maar helaas voor een gewone fiets te duur zijn. Voor een racefiets kan het echter wel nuttig zijn de vezelversterkte kunststof te gebruiken omdat de kosten minder belangrijk zijn dan bij een gewone fiets. Overigens zijn alle hiervoor genoemde materialen inderdaad gebruikt bij de fabricage van fietsen. Zo waren de eerste fietsen voornamelijk van hout. De ontwikkeling van nieuwere en voor dit product betere materialen hebben het hout echter verdreven.

We zien ook dat de materiaalsoptimalisatie niet losgekoppeld kan worden van andere variabelen; zo heeft het gebruik van buizen in de voorvork direct te maken met de kosten, de geometrie en de vervaardiging en het gewenste lage gewicht. Wanneer in dit geval kosten geen rol spelen, zou de vezelversterkte kunststof als favoriet naar voren komen.

2. Tafelpoten

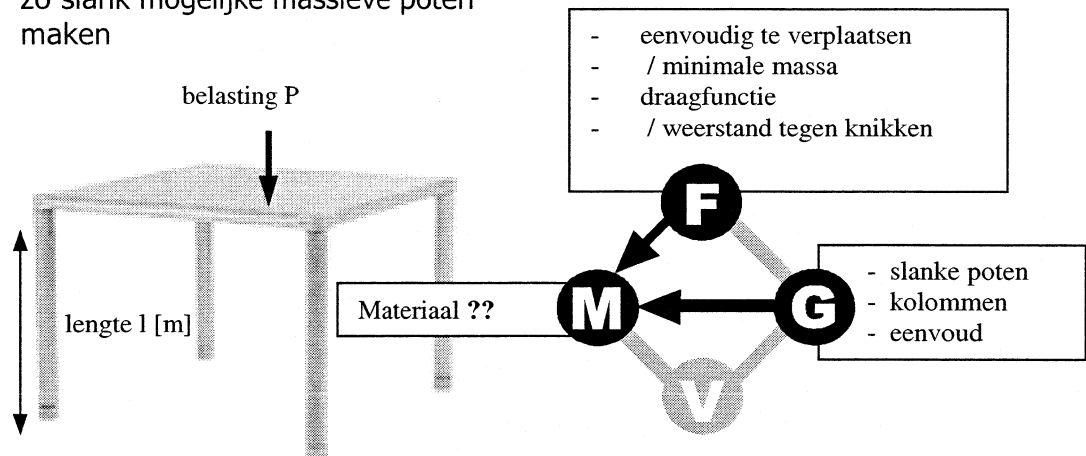
inleiding

Een meubelontwerper wil een tafel ontwerpen die uitblinkt in eenvoud, dus: een tafelblad en vier poten. Om de tafel makkelijk te kunnen verplaatsen moet de tafel zo licht mogelijk zijn. De poten moeten zo stijf zijn dat ze het tafelblad en alles wat daarop gelegd wordt, kunnen dragen.

specificering

Het probleem bevat twee ontwerpdoelen:

1. minimalisering van gewicht
2. zo slank mogelijke massieve poten maken



aanpak

De poten zijn slanke kolommen van materiaal met dichtheid ρ en modulus E . De lengte en de maximale belasting P zijn bepaald door het ontwerp en liggen dus vast. De massa m van een tafelpoot moet worden geminimaliseerd, voor m geldt:

$$m = \rho \pi \cdot r^2 \cdot l$$

De straal r van de poot is vrij te kiezen, deze variabele wordt vastgelegd door te kijken naar de kritische belasting P_{crit} voor uitknikken:

$$P_{\text{crit}} = \frac{\pi^2 EI}{l^2} = \frac{\pi^3 E r^4}{4l^2}$$

waarin $I = \pi r^4 / 4$ het traagheidsmoment van de kolom is. Combinatie van de twee formules levert

$$m \geq \left(\frac{4P}{\pi} \right)^{1/2} l^2 \left[\frac{\rho}{E^{1/2}} \right]$$

waarin de functie-, vorm-, en materiaalparameters bij elkaar gegroepeerd zijn. Hieruit blijkt dat materialen met de grootste verhouding M_1 zo licht mogelijk zijn:

$$M_1 = \frac{E^{1/2}}{\rho}$$

Een tweede ontwerpdoel was het zo slank mogelijk maken van de poot. Hiervoor inverteren we vergelijking (*) en schrijven die om tot

$$r = \left(\frac{4P}{\pi^3} \right)^{1/4} (l)^{1/2} \left[\frac{\rho}{E} \right]^{1/4}$$

waarin weer functie-, vorm-, en materiaaleisen apart gegroepeerd zijn. Hieruit volgt dat het materiaal voor de slankste poten de grootste E moet hebben. We zoeken dus grondstoffen met hoge $E^{1/2}/\rho$ en E .

Conclusie

We gebruiken dus het materiaalkeuzediagram waarin E tegen de dichtheid uitgezet (zie bijlage 1). Evenwijdige verschuiving van de lijn $E^{1/2}/\rho = C$ naar zo hoog mogelijke waarde selecteert voor $M_1 > 6$. Met deze waarden komen de volgende als meest geschikte materialen uit:

- hout (traditioneel materiaal voor tafelpoten),
- koolstofvezelversterkte kunststoffen
- technische keramiek.

Gewone kunststoffen bieden niet de goede combinatie van E en ρ . De slankst mogelijke poot krijgen we door E zo hoog mogelijk te kiezen. Handhaven we onze eisen gestreng, dan vallen de staallegeringen af, want die zouden bij verwerking tot stalen poten te zware poten geven. De keramische materialen vallen hier af wegens hun brosheid.

Hoofdstuk 3 Technologiekeuze

3.1 Inleiding

De hevige concurrentie en de steeds hogere verwachtingen van de consument zorgen ervoor dat bedrijven steeds meer proberen kwaliteit, prijs en de tijd tot marktintroductie te verbeteren. Het wordt voor bedrijven steeds duidelijker dat enkel investeren in automatisering en geavanceerde machines niet de oplossing is.

Het kiezen van het juiste vervaardigingsproces (de technologiekeuze) is een van de belangrijkste aspecten van het ontwerpproces. Voor elk ontwerp zijn er tal van vervaardigingsprocessen denkbaar en bij het kiezen ervan moet met enorm veel factoren rekening gehouden worden. Het is natuurlijk belangrijk voor de ontwerper deze keuze goed te kunnen maken.

3.2 Vervaardiging informatie voor het ontwerpen

De behoefte om een product ontwerpen en met informatie te voorzien over de verschillende vervaardigingsprocessen en de kosten is er al heel lang. De informatie die er is, is vaak proces specifiek en wordt meestal op verschillende manieren beschreven. Sommige processen zeer gedetailleerd beschreven terwijl andere processen globaal worden neergezet. Dit kan een onevenwichtig beeld geven van het te kiezen proces en zijn mogelijkheden.

De informatie kan ook worden gepresenteerd in schema's. Hoewel dit erg praktisch is zal de informatie niet erg gedetailleerd zijn. Zulk soort schema's zijn praktisch als de ontwerper ervaring heeft met verschillende processen. Maar ontwerpers zonder ervaring zullen toch eerst wat meer details moeten weten om een goede keuze te kunnen maken.

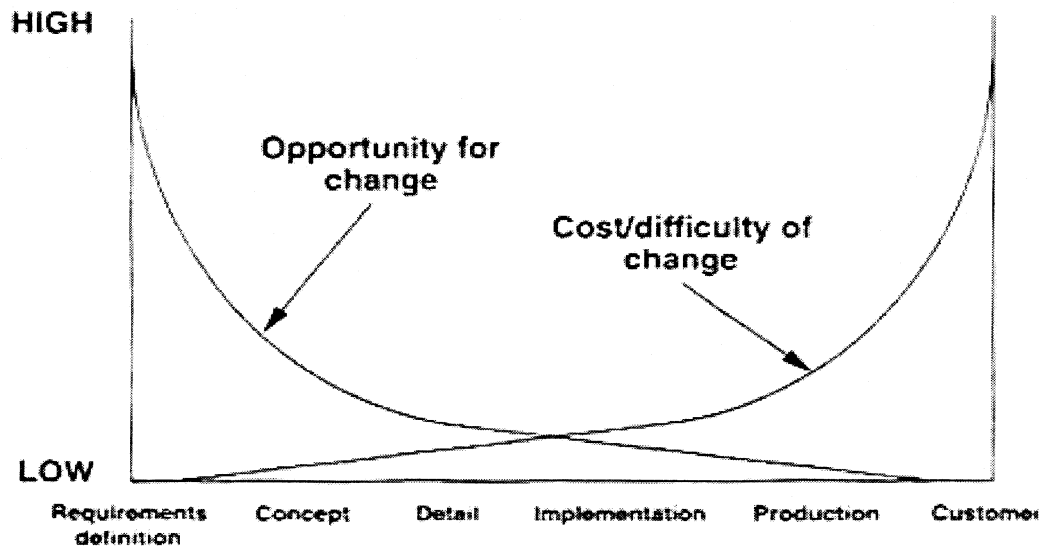
Vervaardiging catalogi kunnen uitkomst bieden maar deze zijn vaak commercieel georiënteerd en weer wordt informatie hier meestal op verschillende manieren beschreven. Ook geven leveranciers zeldzaam informatie over ontwerpoverwegingen of waar vervaardigingsprocessen toe in staat zijn. Ook zijn er vaak verschillen in vakjargon tussen de procesexperts en de gebruikers van de machines.

In de afgelopen jaren hebben verscheidene onderzoeken zich speciaal geconcentreerd op de ontwerp/vervaardiging interface. Technologie keuze systemen en systemen voor kostenschatting zijn in ontwikkeling. Hoofddoel is om de ontwerper, de techniek DFM (Design For Manufacture) aan te leveren evenals informatie over kosten schatting.

De meeste oplossingen die bedrijven toepassen ontstaan uit een product team, met een aantal personen welke de nodige ervaring zouden moeten hebben om productie vriendelijke producten te verkrijgen. Ondanks dat er aardige resultaten uit voortkomen (sneller en effectiever dan de traditionele aanpak), heeft deze aanpak vaak een aantal obstakels:

- een team vormen met de juiste ervaring
- gebrek aan formele structuur
- de plaats (letterlijk) van de personen in het team.

Ook moet men oppassen dat de expertise in het team niet alleen maar voor de primaire activiteiten wordt gebruikt en dat de kans om alternatieve processen te onderzoeken hierdoor verloren gaat.



figuur 3.1 Opportunity for change during early stages of product introduction

DFM is het makkelijkst toe te passen in de eerste stadia van het ontwerpproces, om een product nog in een later stadium te veranderen wordt erg lastig (zie figuur 3.1).

Naast de voorgaande problemen is het niet ongebruikelijk dat de rechten van een product meerdere malen van eigenaar verwisseld en dat zo het logische in het ontwerp steeds verder duister wordt. Dus wordt het ontwerp op een gegeven moment niet meer goed begrepen evenals de extra, misschien overbodige, elementen aan het ontwerp.

Dit onbegrip van het ontwerp zorgt ervoor dat bedrijven het liever laten voor wat het is, in plaats van proberen het te verbeteren/veranderen. Sommige bedrijven hebben, om dit probleem tegen te gaan, een structurele/formele aanpak, voor ontwerp rechten en aanpassingen.

3.3 Product introductie proces

De problemen die voortkomen uit de traditionele product introductie zijn opgesomd in figuur 3.2.

met alle voorgaande problemen in het

achterhoofd zijn sommige bedrijven nu dramatische veranderingen aan het maken in de manier waarop zij hun producten introduceren. De traditionele, opeenvolgende productintroductie wordt vervangen door het snellere en effectievere op teams gebaseerde gelijktijdige aanpak. Als voorbeeld nemen we hier Lucas Industries.

Lucas industries onderzag de problemen en ontwikkelde vervolgens het **Product Introductie Management (PIM)** proces.

De traditionele, functioneel georganiseerde product introductieproces is niet bestand tegen nieuwe problemen, welke hier onder zijn opgesomd:

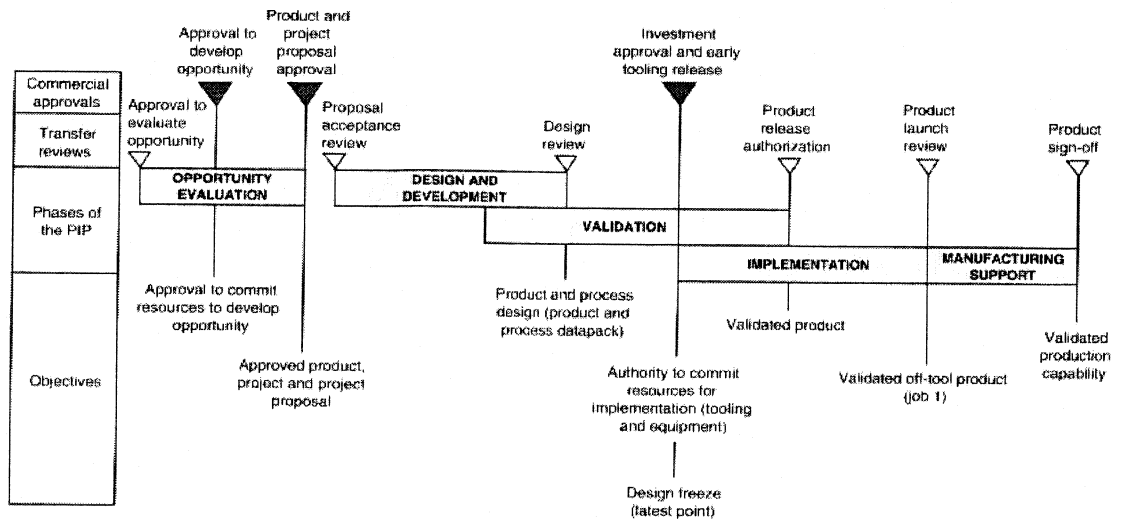
- Sequentiële activiteiten leiden tot oncontroleerbare doorlooptijden
- De verwachtingen van de gebruiker, het product ontwerpen en de vervaardigingstechniek zijn onlosmakelijk verbonden met verscheidene afgeleiden; ze kunnen niet onafhankelijk van marketing, engineering en vervaardigingstechnieken gezien worden
- Zeldzame ontwerp informatiebronnen worden verspild aan weinig toevoegende bureaucratische discussies. Deze praten ontwerpen goed die niet voldoen aan de vervaardigingseisen of aan de marktbehoefte.
- Vervaardigingsproblemen worden te laat ontdekt en worden het zo 'even snel verbeterd' of er worden onverstandige compromissen gesloten.
- Alle ontwerp activiteiten worden geleid door een enkele slecht gedefinieerde activiteit.
- Producten worden ontworpen met een te groot aantal componenten welke leiden tot hogere kosten, van componentenfabricage, assemblage en opslagkosten.

Figuur 3.2 problemen met de traditionele aanpak van het product introductie proces

Er werd gestreefd naar het volgende:

Tijd tot marktintroductie moet gereduceerd worden met:	30%
Product kosten moeten gereduceerd worden met:	20%
Project kosten moeten gereduceerd worden met:	30%

Het PIM proces heeft vijf stadia en negen punten (reviews en approvals) waarbij wordt bekeken of het stadium aan de commerciële, technische en project criteria voldoet zodat men verder kan gaan naar het volgend stadium (zie figuur 3.3).



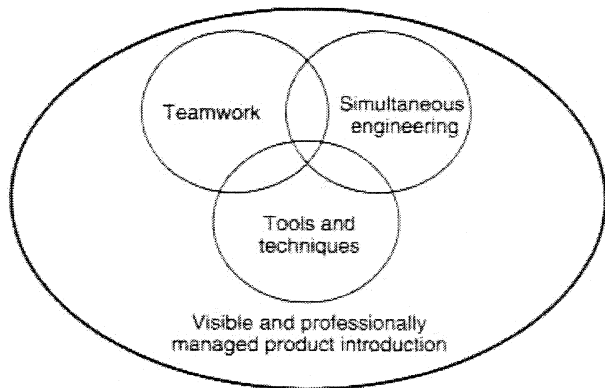
figuur 3.3 The Lucas product introduction management (PIM) process

Naast het PIM proces handhaafde Lucas de volgende punten:

- Teamwork**
 product ontwikkeling wordt ondernomen door een team met daarin afgevaardigden van marketing, productontwikkeling, automatisering, vervaardiging, leveranciers en consumenten, die geselecteerd zijn op het goed kunnen samenwerken en hun technische capaciteiten.
- Gelijktijdige ontwikkeling**
 het gelijktijdig ontwerpen van een product, het kiezen van een vervaardigingsproces en de ontwikkeling hiervan, met in het achterhoofd de klantbehoeftes terwijl de ontwerpdoelen gelijk blijven.
- Project management**
 het professionele management van elk product introductie project met als voorwaarde duidelijk gedefinieerde kosten, kwaliteit en leverdoelen, om complete klant- en bedrijfstevredenheid te bereiken.
- Gereedschappen en technieken**
 het routinematig gebruik van gereedschappen en technieken om de activiteiten van het team te structureren, dus daarbij verbetering van de productiviteit van het team en de kwaliteit van hun output.

De link tussen de voorgaande elementen wordt in diagram weergegeven in figuur 3.4.

DFA (Design For Assembly) is een van de belangrijkste technieken die het PIM proces gebruikt. Significante voordelen zijn bereikt door het gebruik van technieken in een team. Technieken geven methode, objectiviteit, gestructureerde continue feedback, en verbeteren de communicatie en begrijpelijkheid van het team. Indrukwekkende resultaten zijn verkregen bij bedrijven wereldwijd door het toepassen van deze technieken



figuur 3.4 Key elements of successful product introduction

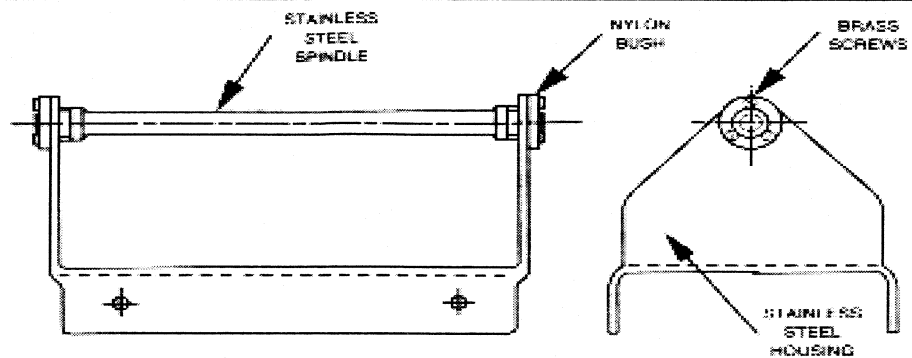
Een overzicht van 40 DFA studies welke 'Lucas DFA' in de vliegtuigindustrie gebruikte laat het volgende zien:

- Een gemiddelde reductie van het aantal componenten per product met 46%
- Een gemiddelde reductie van de assemblage kosten met 47%.
- Geïmplementeerde component kost besparingen (alleen arbeid en materiaalkosten) van 15 tot 35%.

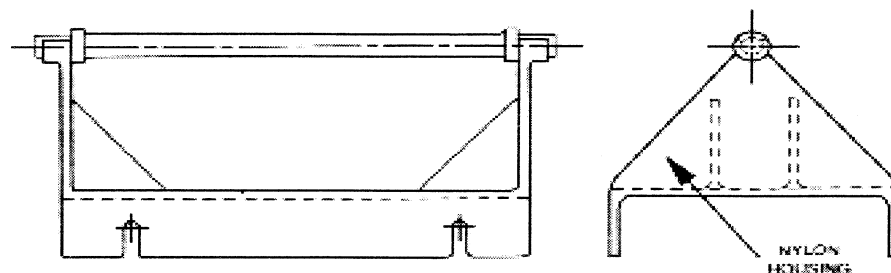
Deze voordelen werden bereikt met producten waarvan men dacht dat het goede ontwerpen waren, omdat het onder andere in teamverband gemaakt was. DFA technieken zijn in staat om eventuele kansen om het aantal onderdelen per product te verminderen (part count reduction) te identificeren en de potentiële kosten van vervaardiging en assemblage te voorspellen.

Het aantal delen en de potentiële kosten zijn input voor concept ontwerpen en ontwikkeling. Als een deel van het DFA proces, moet het product ontwikkelingsteam verbeterde product ontwerp oplossingen genereren, met betere DFA eigenschappen, door het versimpelen van de product structuur, verminderen van het aantal onderdelen per product en het versimpelen van de assemblage van de componenten.

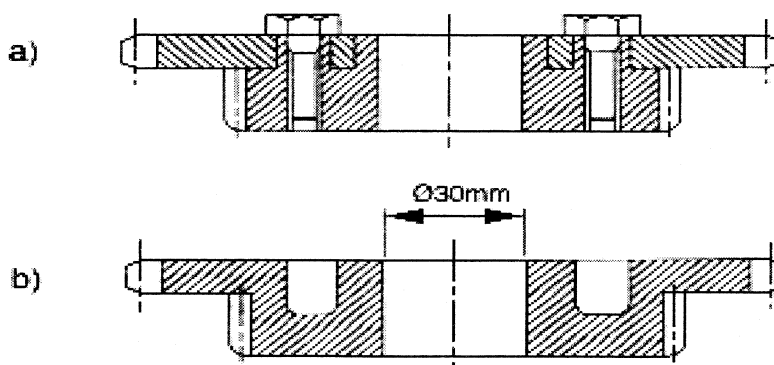
DFA is vooral interessant in de context van dit boek omdat er de volgende voordelen zijn: systematische overzichten, functionele behoeftes en vervangen van component clusters door enkele geïntegreerde stukken (zie figuur 3.5). Veelal hangen de voorgestelde ontwerp oplossingen zwaar af van de capaciteit van het bedrijf om andere, vreemde, vervaardigingsprocessen en/of te gaan gebruiken (zie ook figuur 3.5).



This spindle/housing assembly (sheet metal housing) has ten separate parts and an assembly efficiency rating of 7%.



The two part design, utilising an injection-moulded nylon housing, has an assembly efficiency rating of 93%.



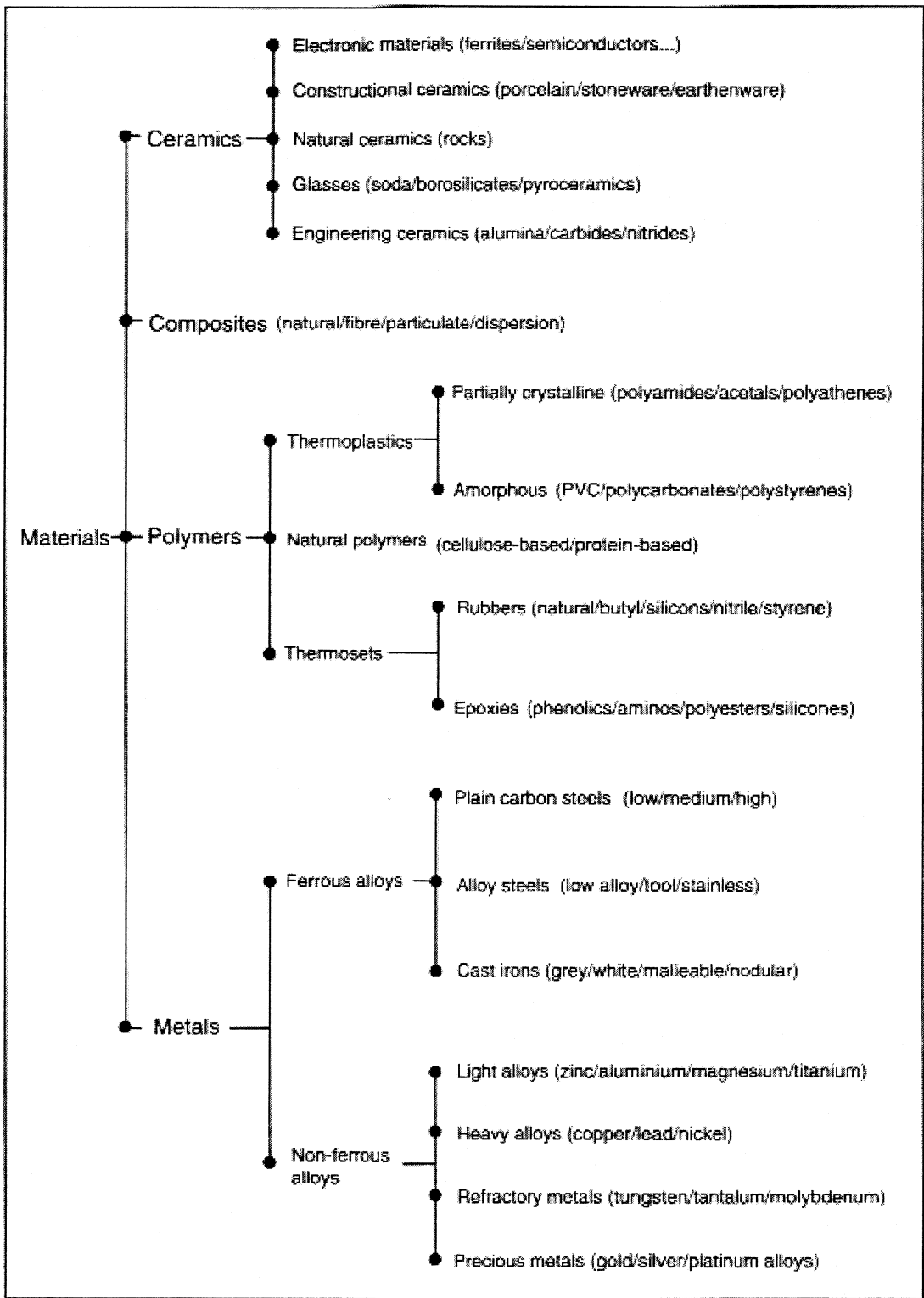
Two different types of sprocket and gear wheel: (a) includes assembly: this is made of steel and produced by machining. The individual teeth are cut. It is necessary to divide it in to two elements due to production technique reasons. (b) does not include assembly: this is produced from sintered metal, the teeth being sintered in accordance with the required tolerance and surface quality; the advantages being no waste material, short processing time and no assembly.

figur 3.5 Examples of part-count reduction

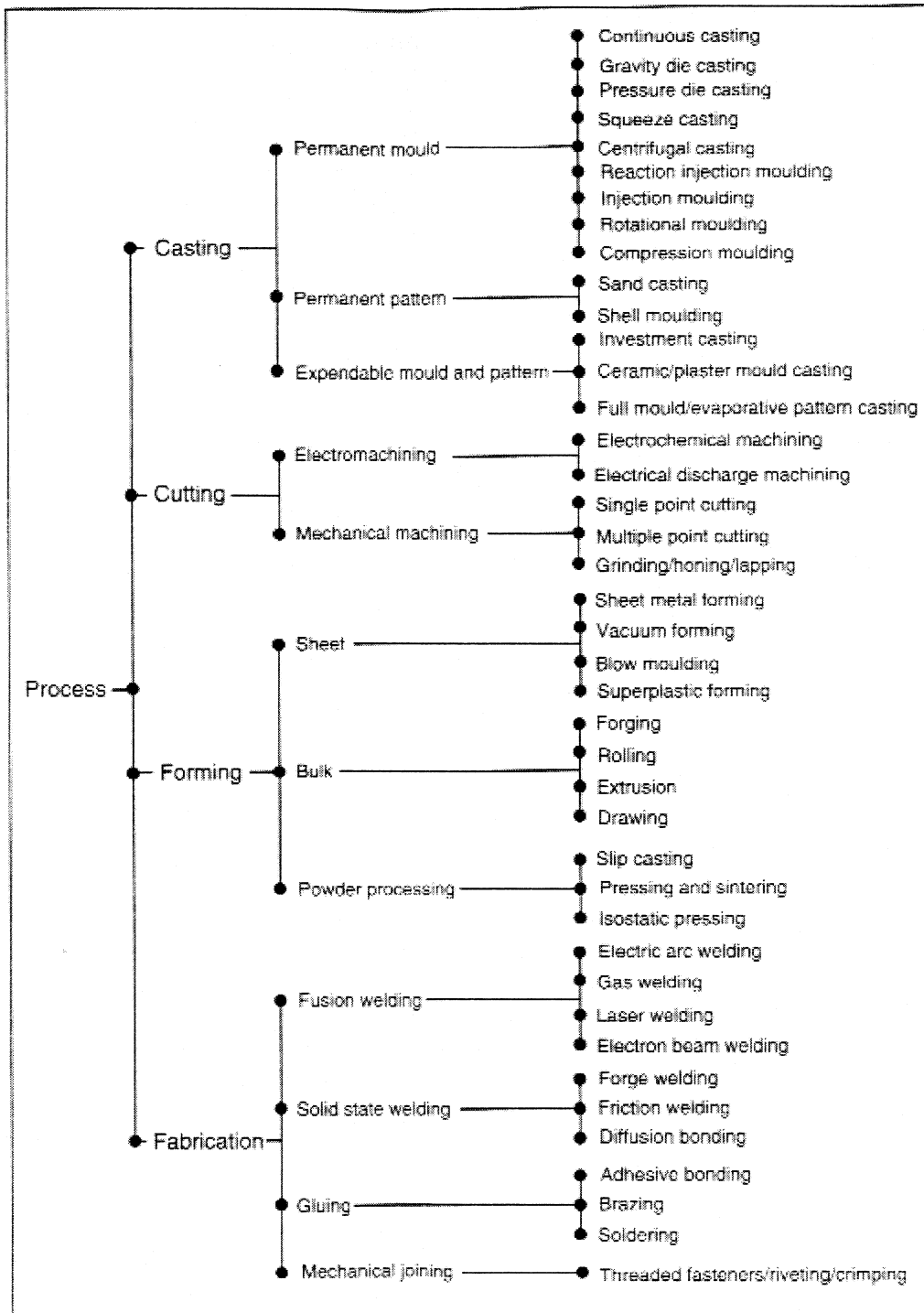
Als eerder verteld, is het kiezen van het correcte vervaardigingsproces niet altijd even gemakkelijk. In de meeste gevallen zijn er een aantal processen die gebruikt kunnen worden voor een component en de selectie hangt af van veel factoren. Sommige van deze proces selectie factoren zijn:

- Hoeveelheid producten
- Uitrusting kosten
- Gereedschap kosten
- Proces tijd
- Proces afval
- Arbeid intensiviteit en werk patronen
- Proces supervisie
- Onderhoud
- Component recycling
- Energie gebruik en andere overhead kosten
- Materiaal kosten en aanbod
- Compatibiliteit van het te gebruiken materiaal ivm het proces
- Component vorm en afmetingen
- Tolerantie benodigdheden
- Oppervlakte afwerking benodigdheden
- Grootte regeling en oppervlakte machinerie
- Variabiliteit van het te gebruiken proces ivm de component

Deze factoren zijn niet allemaal even belangrijk. Het probleem is de omvang van vervaardigingsprocessen en materiaaltypes die normaal kunnen gebruikt worden. Figuren 3.6 en 3.7 geven een overzicht van materialen en vervaardigingsprocessen die overal verkrijgbaar zijn.

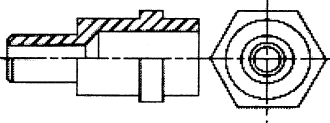
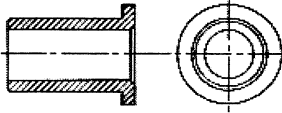
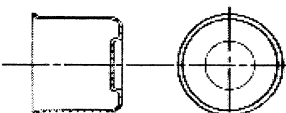
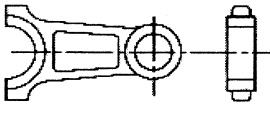
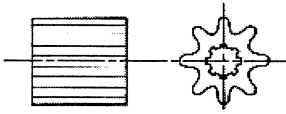


Figur 3.6 General classification of materials



Figur 3.7 General classification of manufacturing processes

Om concurrerend te zijn, is het herkennen, van technologisch en economisch geschikte vervaardigingprocessen en materiaal combinaties, van cruciaal belang. De voordelen van het uitpikken van de juiste processen kunnen enorm zijn (zie figuur 3.8).

Component	Material	Number Per Annum	Manufacturing Process	Relative Cost
 Plug Body	Low Carbon Steel	1,000,000	Machining	4.1
			Cold Forming	1
 Plain Bearing	Bronze	50,000	Machining	2.2
			Powder Metal Sintering	1
 Cover	Aluminium Alloy	5,000	Spinning	1.8
			Deep Drawing	1
 Connecting Rod*	Medium Carbon Steel	100,000	Closed Die Forging	1.3
			Sand Casting	1
 Pump Gear	Low Carbon Steel	500	Machining	2.6
			Cold Extrusion	1

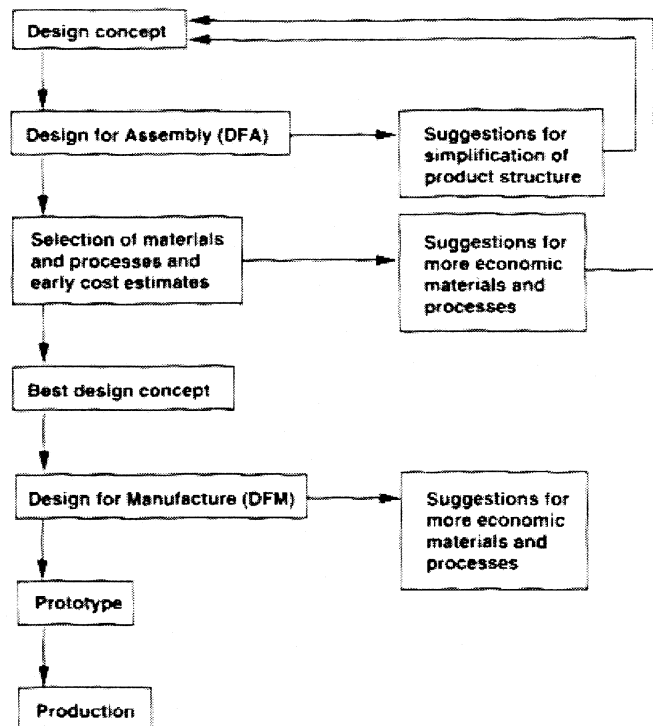
Figuur 3.8 Contrast in component cost for different processing routes

Het plaatsen van de vervaardigingskeuze in de ontwerp cyclus en detail ontwerpen voor minimale vervaardigingkosten wordt gerepresenteerd in figuur 3.9.

3.4 Vervaardigingproces keuze strategie

Bij overweging van alternatieve ontwerp oplossingen voor kosten en kwaliteit, is het noodzakelijk om de geschikte materialen, toleranties, geometrie, etc. uit te zoeken en die tegenover de mogelijke vervaardigingsprocessen te zetten.

Hiervoor moet je wat verstand hebben om het juiste proces te selecteren en de kosten te schatten van de vervaardiging in de eerste stages van het ontwerpproces. Ook de niet standaard kosten zullen moeten worden inbegrepen, dus goedkeuring van het product en gemaakte fouten intern en extern (garantie, etc.).



figuur 3.9 Typical steps taken in simultaneous engineering study using DFMA techniques

De doelstellingen: vervaardigingsproces keuze in termen van technologische uitvoerbaarheid, standaard kwaliteit en vervaardigingskosten, worden behaald door:

1. Het geven van informatie van de karakteristieken en capaciteiten van een behoorlijk aantal vervaardigingsprocessen. De intentie is om het genereren van ontwerp ideeën te stimuleren en om te steunen bij het vinden van een goed proces en het bijstellen hiervan aan het ontwerp.
2. Het geven van methodes en data om het onderzoek naar component ontwerp oplossingen voor vervaardigingkosten in de eerste stages van het ontwerpproces te stimuleren.

Voor het eerste punt zijn vervaardigingproces informatie overzichten of PRIMAs (PRocess Information MAPs) ontwikkeld. De PRIMAs geven, in een standaard formaat voor elk proces, kennis en data met daarin: materiaal voorziening,

ontwerp overwegingen, standaardkwaliteit, economie en proces beginselen en variaties. De informatie geeft niet alleen ontwerp overwegingen relevant voor de gebruikte processen maar, ook belangrijk, heeft ook een overzicht van de functionele karakteristieken van het proces zodat een beter begrip kan worden bereikt. Er wordt een soortgelijke gedetailleerdheid geleverd voor elk proces wat erbij zit. Als eerste wordt een inleiding gegeven van het proces zelf, hoe het werkt en onder welke condities het, het beste werkt. Als tweede een opsomming van wat het proces kan en niet kan en als derde een overzicht van de kwaliteit overwegingen met proces capaciteit schema's om de toleranties aan de karakteristieke dimensies te relateren.

Voor het tweede punt wordt een techniek naar voren gebracht dat kan worden gebruikt om de kosten te schatten (zie hoofdstuk 4) van component vervaardiging voor concept ontwerpen. Het zet de effecten van ontwerpgeometrie en de te ontdekken materialen tegenover verscheidene vervaardigingroutes. De inhoud is gericht op kandidaat processen gebaseerd op materiaal en product kwaliteit. Vijf hoofdgroepen van component vervaardigingsprocessen worden overwogen. Daarbij zijn 10 fabricatie en assemblage processen geleverd. In alle worden bijna 50 PRIMAs gerepresenteerd. Verderop concentreert de tekst zich op de kosten schatting methodologie, de achtergrond, de theoretische ontwikkeling en de industriële toepasbaarheid (zie voor gedetailleerde informatie referentie 5)

3.5 De technologie keuze

Het selecteren van het juiste proces en het optimaliseren van het ontwerp naar dit proces is van grote invloed op de kosten en de kwaliteit van componenten en assemblage. Deze selecties kunnen voor een groot deel het succes van een product bepalen. Voor die selecties moeten veel factoren onder de loep worden genomen. De PRIMAs proberen de benodigde informatie te geven om de keuze te kunnen maken. Ontwerpoverwegingen zijn bijgeleverd om de ontwerper te kunnen laten zien wat belangrijk is en wat niet. Ontwerpoverwegingen zijn bijgeleverd welke de ontwerper meer begrip bijbrengt over die ontwerp aspecten welke belangrijk zijn voor de technische en economische haalbaarheid van een proces. De proces kwaliteitsoverwegingen geven de ontwerper waardevolle informatie over standaard processen, met data over proces tolerantie capaciteit samen met karakteristieke dimensies. Een groot deel van de PRIMA's wordt ingenomen door kwaliteitsoverwegingen. De niet-standaard kosten in een bedrijf zijn vaak veel hoger dan verwacht. Als eerder vermeld, zullen zulke verliezen resulteren in werk wat moet worden overgedaan. In veel bedrijven zijn deze verliezen goed voor meer dan 10%.

3.6 PRIMA selectie

De volgende punten dienen te worden behandeld:

- Verkrijg een schatting van de jaarlijkse productie hoeveelheid
- Kies een materiaal type dat de product specificaties tegemoetkomt

- Verwijs naar figuur 3.10 om kandidaat PRIMAs te selecteren
- Beschouw elke PRIMA tegenover de vervaardigings en economische benodigdheden:
- Begrijp het proces en zijn variaties
- Overweeg materiaal compatibiliteit
- Bestudeer de standaarden van het component concept ivm de ontwerp regels
- Vergelijk tolerantie en oppervlakte afwerking benodigdheden met proces capaciteits data
- Overweeg de economische positie van het proces en verkrijg component kosten schattingen voor alternatieven
- Zet het geselecteerde vervaardigingsproces tegenover de bedrijfs benodigdheden

De bedoeling is dat de juiste processen worden geselecteerd voordat het ontwerpen van de afzonderlijke componenten is afgerond.

Een PRIMA selectie matrix is gebaseerd op twee variabelen omdat deze twee de belangrijkste technische en economische zaken combineren:

1. Materiaal type
2. Aantal producten (productie)

De grenzen van economische productie kunnen vaag zijn, zeker met zoveel belangrijke factoren. Daarom concentreert de matrix zich liever op het gebruik van materialen. Doordat de matrix op deze manier gelimiteerd is kan deze matrix niet voor alles worden gebruikt. Het representeert de voornaamste industriële praktijken maar er zullen altijd uitzonderingen zijn op dit gedetailleerde niveau. De intentie is niet, een proces selectie methode te presenteren. De matrix geeft alleen de belangrijkste PRIMAs weer mbv materiaal en productie. Daarna gaan de PRIMAs verder met de eigenlijke proces selectie. Merk opdat de conventionele vervaardigingsprocessen hier vaak op de tweede plaats komen. Fabricatie en assemblage technieken zijn niet meegenomen in de PRIMA selectie matrix. Deze processen staan meer op zichzelf en kunnen op veel verschillende soorten materiaal worden toegepast.

	ijzer	(Carbon) staal
Zeer weinig 1-100	Centrifugaal gieten perciesiegieten Verloren was methode frezen	Centrifugaal gieten Keramisch gieten Sheet metal forming frezen Electrisch bewerken Chemisch bewerken Ultrasoon bewerken
Weinig 100-1000	Zwaardtekracht gieten Coquille gieten centrifugaalgieten percisie gieten verloren was methode frezen electronen straal bewerking laser snijden	Shell moulding Zwaardtekracht gieten Centrifugaal gieten Ceremical mould casting Draaien frezen Electrisch bewerken Electronen Straal bewerking Laser snijden Chemisch bewerken
Weinig tot gemiddeld 1000-10.000	Shell moulding Zwaardtekracht gieten centrifugaalgieten percisie gieten verloren was methode poeder metallurgie CNC frezen Electronen straal bewerkingen	Shell moulding Zwaardtekracht gieten Centrifugaal gieten Keramisch gieten Closed die forging Koud vervormen Poeder metallurgie CNC frezen Electro chemisch bewerken Laser snijden Chemisch bewerken
Gemiddeld tot veel 10.000-100.000	Shell moulding Zwaardtekracht gieten poeder metallurgie laser snijden	smeden koud vervormen stanzen poeder metallurgie continue extrusie CNC frezen chemisch bewerken
Veel 100.000-	Shell moulding Zwaardtekracht gieten poeder metallurgie	smeden koud vervormen stanzen continue extrusie CNC frezen
Alle aantallen	zandgieten	Zandgieten Centrifugaalgieten Plaat snijden Plaat vouwen/vervormen

Prima selectie matrix deel 1

	Staal legering	RVS
Zeer weinig 1-100	Zand gieten Keramisch gieten draaien frezen Electrisch bewerken Chemisch bewerken Ultrasoon bewerken	draaien Frezen Electrisch bewerken Chemisch bewerken Ultrasoon bewerken Keramisch gieten
Weinig 100-1000	Zand gieten Keramisch gieten Electro chemisch bewerken Frezen Electrisch bewerken Electronen straal snijden Chemisch bewerken Ultrasoon bewerken Laser snijden	Keramisch gieten Electrochemisch bewerken Frezen Electrisch bewerken Electronen straal snijden Laser snijden Chemisch bewerken
Weinig tot gemiddeld 1000-10.000	Shell moulding Ceramic mould casting Closed die forging Koud vormen poeder metallurgie Chemisch bewerken CNC frezen electrochemisch bewerken Electronen straal snijden Laser snijden	Shell moulding Keramisch gieten Closed die forging Koud vormen Poeder metallurgie CNC frezen electrochemisch bewerken Electronen straal snijden Laser snijden chemisch bewerken
Gemiddeld tot veel 10.000-100.000	Koud vormen draadtrekken Continue extrusie CNC frezen Electro Chemisch bewerken	smeden koud vervormen draadtrekken continue extrusie CNC frezen electro chemisch bewerken
Veel 100.000-		
Oneindig veel	Investment casting	Zandgieten Centrifugaalgieten Plaat knippen Plaat vouwen/vervormen

Prima selectie matrix deel 2

	Koper legeringen	Aluminium legeringen
Zeer weinig 1-100	Centrifugaal gieten Verloren was methode Draaien Frezen Electrisch snijden	Centrifugaal gieten Keramisch gieten Sheet metal forming Frezen Electrisch snijden Chemisch bewerken
Weinig 100-1000	Zwaardtekracht gieten Centrifugaal gieten Ceremical mould casting Cold heading Draaien Frezen Electrisch snijden Electronenstraal bewerken Laser snijden	Zwaardtekracht gieten Centrifugaal gieten Ceremical mould casting plaster mould casting Draaien Frezen Electrisch snijden Electronenstraal bewerken Laser snijden Chemisch bewerken
Weinig tot gemiddeld 1000-10.000	Shell moulding Zwaardtekracht gieten Pressure die casting centrifugaalgieten plastermould casing closed die forging koud vormen poeder metallurgie CNC Frezen electrochemisch bewerken electronstraal bewerken laser machining	Shell moulding Zwaardtekracht gieten Pressure die casting centrifugaalgieten plastermould casing closed die forging koud vormen poeder metallurgie CNC Frezen Electronen straal bewerken laser machining chemisch bewerken
Gemiddeld tot veel 10.000-100.000	Shell moulding Zwaardtekracht gieten poeder metallurgie laser snijden	smeden koud vervormen draadtrekken poeder metallurgie continue extrusie CNC Frezen chemisch bewerken
Veel 100.000-	Shell moulding Zwaardtekracht gieten poeder metallurgie	draadtrekken koud vervormen smeden continue extrusie CNC Frezen
Alle aantallen	zandgieten	Zandgieten Centrifugaalgieten Plaat materiaal knippen Plaat materiaal vervormen/vouwen

Prima selectie matrix deel 3

	Nikkel legeringen	Titanium legeringen
Zeer weinig 1-100	centrifugaal gieten keramisch gieten Draaien	Zand gieten Centrifugaal gieten Frezen Electrisch bewerken Chemisch bewerken Ultrasoon bewerken
Weinig 100-1000	Shell moulding Zwaardtekracht gieten Centrifugaal gieten Keramisch gieten Draaien Frezen Electrisch bewerken Electronen straal bewerken Chemisch bewerken	Zand gieten Centrifugaal gieten Frezen Chemisch bewerken Electronen straal bewerken Laser snijden Ultrasoon bewerken
Weinig tot gemiddeld 1000-10.000	Shell moulding Zwaardtekracht gieten Centrifugaal gieten Keramisch gieten Closed die forging Koud vormen Poeder metallurgie CNC frezen Electrochemisch bewerken Electronen straal bewerken Chemisch bewerken Laser snijden	Closed die forging Poeder metallurgie CNC frezen Electronen straal bewerken Chemisch bewerken Laser snijden
Gemiddeld tot veel 10.000-100.000	Poeder metallurgie Continue extrusie CNC frezen Electrochemisch bewerken Chemisch bewerken	Poeder metallurgie Continue extrusie CNC frezen Electro-chemisch bewerken Chemisch bewerken
Veel 100.000 -		
Alle aantallen	Zandgieten Percisie gieten Plaat knippen Plaat vouwen/vervormen	Plaat materiaal knippen Plaat materiaal vervormen/vouwen

Prima selectie matrix deel 4

	Magnesium legeringen	Zink legeringen
Zeer weinig 1-100	percisie gieten keramisch gieten Draaien Frezen ElectriscH snijden Chemisch bewerken	Zand gieten Keramisch gieten draaien Frezen Chemisch bewerken
Weinig 100-1000	Zwaardtekracht gieten Percisie gieten Ceremical mould casting Gips gieten Draaien Frezen Chemisch bewerken	Zand gieten Zwaardtekracht gieten Gips gieten Draaien Frezen Chemisch bewerken
Weinig tot gemiddeld 1000-10.000	Zwaardtekracht gieten Hoge druk gieten Gips gieten Continue extrusie CNC Frezen chemisch bewerken	Zwaardtekracht gieten Hoge druk gieten Gips gieten Continue extrusie CNC frezen Chemisch bewerken
Gemiddeld tot veel 10.000-100.000	zwaardtekrachtgieten Hoge druk gieten Closed die forging Koud vervormen Cold heading Continue extrusie CNC frezen	Hoge druk gieten Koud vervormen Continue extrusie CNC frezen
Veel 100.000-	zwaardtekrachtgieten Hoge druk gieten Closed die forging Continue extrusie CNC frezen	Hoge druk gieten Koud vervormen
Oneindig veel	Zandgieten Plaat knippen Plaat vouwen/vervormen	Plaat materiaal knippen Plaat materiaal vervormen/vouwen

Prima selectie matrix deel 5

	Tin legeringen	lood legeringen
Zeer weinig 1-100	Zand gieten Keramisch gieten draaien Frezen Chemisch bewerken	Zand gieten draaien Frezen Chemisch bewerken
Weinig 100-1000	Zand gieten Zwaardtekracht gieten Keramisch gieten Gips gieten Draaien Frezen Chemisch bewerken	Zand gieten Zwaardtekracht gieten Gips gieten Draaien Frezen Chemisch bewerken
Weinig tot gemiddeld 1000-10.000	Zwaardtekracht gieten Hoge druk gieten Continue extrusie	Zwaardtekracht gieten Hoge druk gieten Koud vormen
Gemiddeld tot veel 10.000-100.000	Hoge druk gieten Koud vervormen Continue extrusie	Hoge druk gieten Koud vervormen Cold heading Plaat knippen Continue extrusie CNC frezen
Veel 100.000-		Hoge druk gieten Koud vervormen
Oneindig veel		

Prima selectie matrix deel 6

	thermoplasten	thermoharders	Composieten
Zeer weinig 1-100	Druk gieten Rotatie gieten		Contact gieten
Weinig 100-1000	Druk gieten Vacuumvormen Rotatiegieten	drukieten	Druk gieten Contact gieten
Weinig tot gemiddeld 1000-10.000	Spuitgieten Druk gieten Vacuumvormen blazen	drukieten	Druk gieten
Gemiddeld tot veel 10.000-100.000	Spuitgieten Vacuumvormen Blazen Continue extrusie	Spuitgieten drukieten Continue extrusie	Druk gieten
Veel 100.000-	Spuitgieten Vacuumvormen drukieten Continue extrusie	Spuitgieten drukieten Continue extrusie	
Alle aantallen			

	Keramiek	edelmetalen
Zeer weinig 1-100	Ultrasoon bewerken	Chemisch bewerken
Weinig 100-1000	Ultrasoon bewerken	Chemisch bewerken
Weinig tot gemiddeld 1000-10.000		Chemisch bewerken
Gemiddeld tot veel 10.000-100.000	Poeder metallurgie	smeden
Veel 100.000-	Poeder metallurgie	
Oneindig veel	Chemisch bewerken	Gips gieten

Prima selectie matrix deel 7

3.7 Voorbeeld Vervaardigingsproces voor voorvork van een racefiets

- **Materialen**

Als de te gebruiken materialen voor de voorvork kwam daaruit: magnesiumlegeringen, titaanlegeringen, aluminiumlegeringen met een hoge sterkte (AA 7075 T6) en bepaalde staalsoorten. Voor het gemak laten we hout even buiten beschouwing.

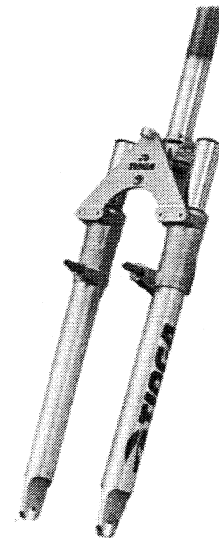


- **de PRIMA selectie matrix**

Als we de materialen gaan opzoeken in de PRIMA selectie matrix wordt ons gevraagd om de hoeveelheid producten ; het gaat hier om een racefiets dus de oplage zal beperkt blijven. Laten we tussen de 1000 en 10.000 producten nemen.

Als materiaal kiezen we bijvoorbeeld een magnesium legering. Met deze gegevens krijgen we de volgende vervaardigingstechnieken uit de matrix. Dit zijn veel getallen en dat komt natuurlijk omdat we nog geheel niet specifiek bezig zijn. Deze getallen staan voor:

- Zwaadtekracht gieten
- Hoge druk gieten
- Precisie gieten
- Gips gieten
- closed die forging/upset forging
- cold forming
- frezen (machinaal)
- chemisch bewerken



Bij de eerste vier wordt de legering gegoten wat niet gewenst is in verband met de grote krachten op de voorvork en de metaalmoeheid die zolang mogelijk uitgesteld dient te worden, van deze vier komt investment casting nog het meest in de richting.

Closed die forging en dan vooral **koude vervormen**

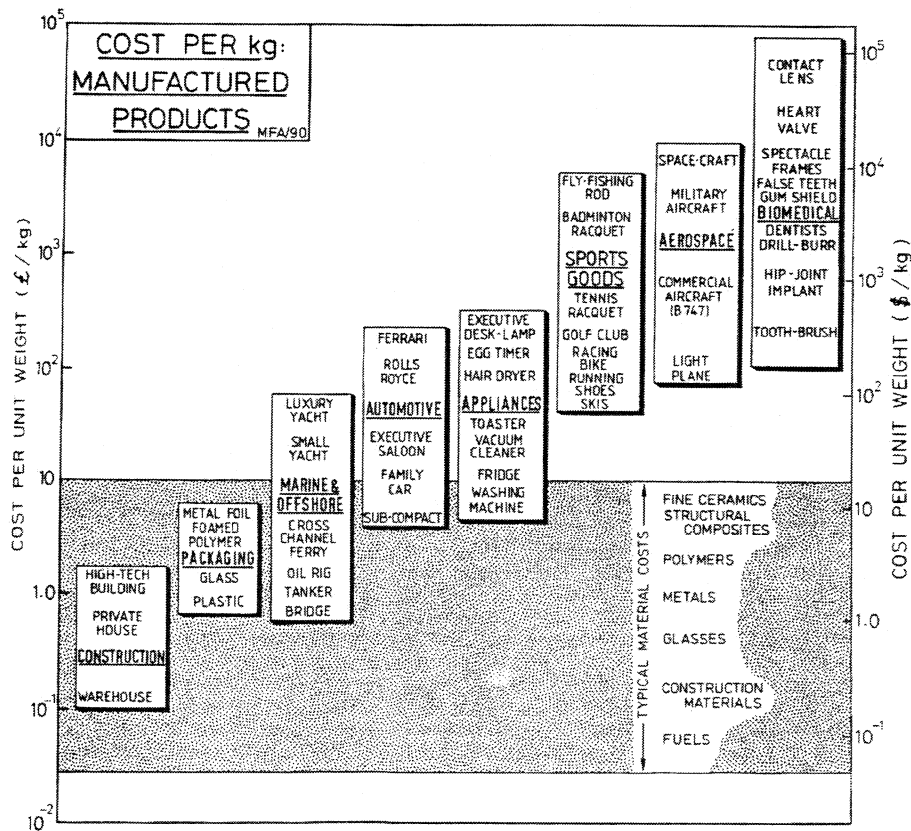
zijn beter geschikt. Deze twee vervaardigingsprocessen leveren zeer sterk staal af wat ook nog weinig metaalmoeheid kent. Automatic machining en chemical machining zijn beide processen die nogal wat restmateriaal creëren, wat bij **chemisch bewerken** ook nog niet eens gerecycled kan worden. Omdat het om een redelijke oplage gaat vallen deze twee ook af.

Met andere woorden, ik zou hier kiezen voor **koud vervormen**. Deze keuze is echter gemaakt zonder kostenberekening.

Hoofdstuk 4 Kostenberekening

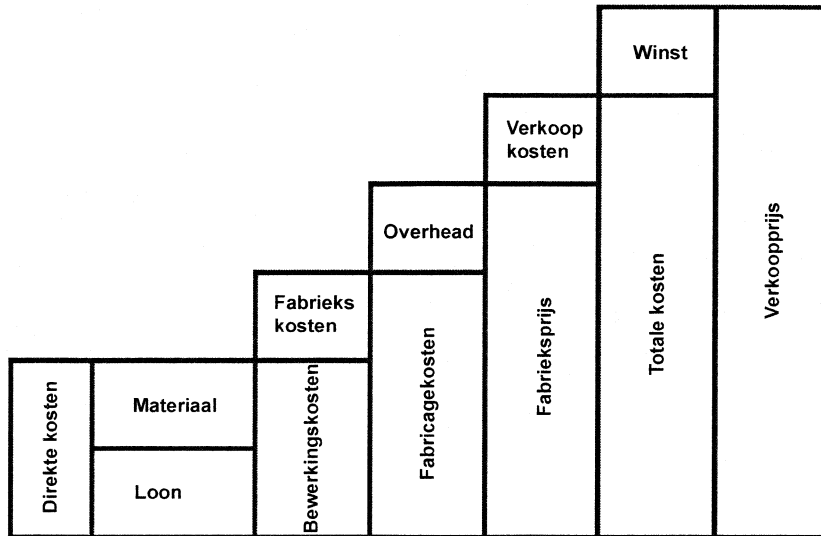
4.1 Inleiding

De kosten van een nieuw ontworpen product zijn één van de belangrijkste elementen in de besluitvorming rond het wel of niet op de markt brengen van een nieuw product. Het is dus van belang om een goede schatting te kunnen maken van de kostprijs van het nieuwe product teneinde deze kosten te minimaliseren en zo het product een betere start te geven. Er zijn vele modellen en manieren om de kostprijs van een product te berekenen. Als voorbeeld staat hieronder een vergelijking van de kosten van een aantal producten. Deze kosten zijn uitgezet tegen de kilo prijs van het betreffende product. Te zien is dat dit een heel andere kijk geeft op het al dan niet kostbaar zijn van een product. Zo blijkt een kilo Ferrari beduidend goedkoper te zijn dan hetzelfde gewicht aan contactlenzen.



Figuur 1. Kosten per eenheid gewicht van producten

In onderstaand figuur is de kostenbijdrage te zien voor een product.



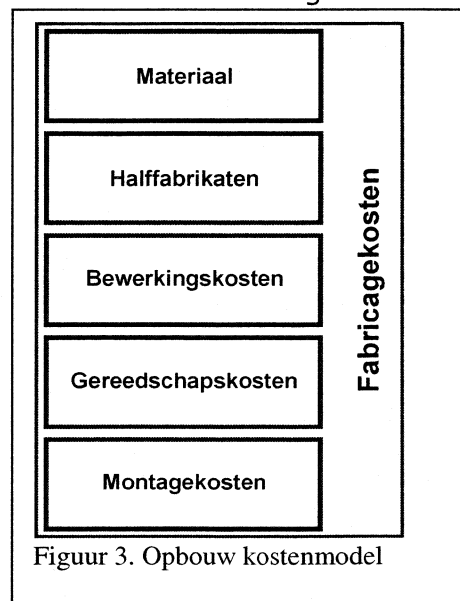
Figuur 2. Kostenbijdrage van een product

Een industrieel ontwerper heeft de meeste invloed op de fabricagekosten. Deze bedragen veelal tussen de 30 en de 40 % van de verkoopprijs. Het is dus van belang dat de industrieel ontwerper weet hoe deze fabricage kostprijs is opgebouwd en dat hij/ zij deze kosten zelf kan berekenen. Door een goed inzicht in de structuur van het kostenmodel kan de industrieel ontwerper direct zien waar de grootste kosten zitten en waar dus de grootste besparingen zijn te behalen.

Voor het berekenen van de fabricage kostprijs is gekozen voor een gedetailleerde kostprijsberekening model. Door deze gedetailleerdheid kunnen nauwkeuriger berekeningen worden gemaakt en kan meer inzicht worden verkregen in de belangrijkste bijdragen van de kostprijs.

Een nadeel van dit model is dat het pas kan worden toegepast als het ontwerp ver gevorderd is omdat eerder de nodige gegevens nog niet beschikbaar zijn. Het hier behandelde fabricage kostenmodel bestaat uit de volgende onderdelen:

Deze hoofdbestanddelen zullen eerst kort worden behandeld en toegelicht.



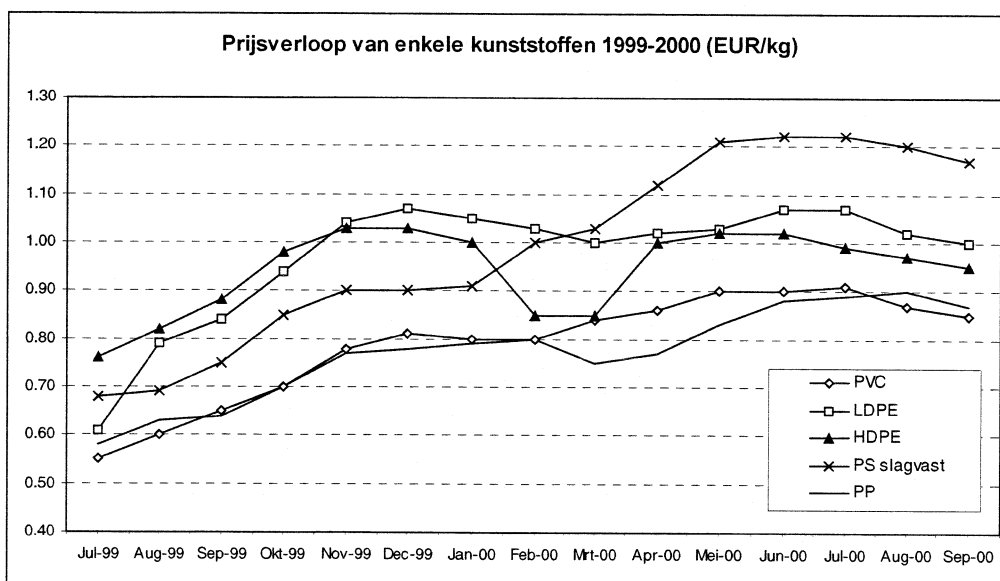
Figuur 3. Opbouw kostenmodel

4.2 Materiaal

Het materiaal vormt de belangrijkste kostenpost bij massafabricage. Voor grote tot zeer grote aantallen geldt globaal dat de materiaalkosten 40 tot 50 % bedragen van de prijs van het product. De gereedschapskosten vormen dan ongeveer 15 % van het totaal. Bij lagere productieaantallen zal het aandeel materiaal afnemen en die van gereedschap toenemen.

Het materiaal bestaat uit de in het product verwerkte grondstof inclusief afval en uitval. Ook wordt hierin een toeslag opgenomen die de kosten van opslag en handling verrekent, de zogenaamde materiaaltoeslag.

De materiaalkosten zijn te berekenen door vermenigvuldiging van de massa met de kosten per kilogram. Massa is het product van volume en soortelijke massa. Materiaalprices zijn sterk afhankelijk van de afgenomen hoeveelheden en kunnen met de tijd erg fluctueren. Hieronder is ter illustratie daarvan het prijsverloop van enkele veel gebruikte kunststoffen gegeven. Deze kunststofprijzen zijn behalve van vraag en aanbod ook sterk afhankelijk van valutakoersen en van aardolieprijzen.



Figuur 4. Prijsverloop kunststoffen. Gegevens uit: Kunststof & Rubber September 2000 en Kunststoff Information Augustus 2000

De prijzen hangen ook af van de aangeboden kwaliteit. Zo is bij kunststoffen blaaskwaliteit duurder dan spuitgietskwaliteit. De Hierboven opgenomen prijzen zijn overigens gemiddelden.

Afval is materiaal wat overblijft als gevolg van de bewerkingsmethode. Uitval zijn producten of onderdelen die niet aan de norm voldoen en afgekeurd worden. Afval en uitval kunnen waarde hebben wanneer het als grondstof kan worden hergebruikt. Soms kan dit niet en moet er zelfs extra betaald worden om het afval en de uitval te verwerken. Dit is afhankelijk van het materiaal, de gekozen fabricagemethode en de plaats waar het afval vrijkomt. Bijvoorbeeld bij het warm persen van messing heeft het afval een grote positieve invloed omdat de

kiloprijs van messing afval hoog is. Gietsystemen worden binnen de gieterij zelf gerecirculeerd en hebben per kilo vrijwel dezelfde waarde als het ingekochte materiaal. Bij rubbers daarentegen moet voor de verwerking van afval behoorlijk betaald worden.

In onderstaande tabel staan globale afvalpercentages voor diverse bewerkingsprocessen weergegeven:

Bewerkingsproces	Afvalpercentage
Verspanen processen	10 – 60
Gieten in zand	40 – 50
Plaatbewerkingsprocessen	10 – 25
Extrusie en smeden	10 – 25
Spuitsgieten	10 – 50
Poedermetallurgie	5

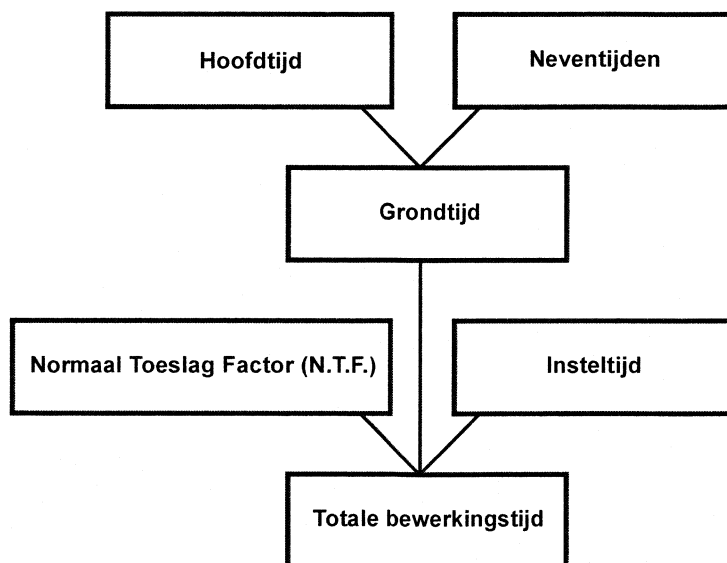
Tabel 1: afvalpercentages van bewerkingsprocessen

4.3 Halffabrikaten

Halffabrikaten bestaan uit inkoop onderdelen zoals elektromotoren, lampjes, schakelaars e.d. Maar ook wanneer b.v. een kunststof als plaat wordt ingekocht is dit een halffabrikaat en geen grondstof. Dit is een belangrijk verschil want tussen een kunststof als grondstof of als halffabrikaat zit een groot verschil in prijs.

4.4 Bewerkingskosten

Hieronder vallen de machine uurtarieven, de manuurarieven en kosten van nabewerking oppervlakte afwerking en toleranties. Bewerkingskosten zijn het product van de bewerkingskosten en het uurtarief. Om deze kosten nauwkeurig te kunnen berekenen is dus een goede tijds calculatie nodig. Een basisschema voor de berekening van de totale machinetijd is hieronder gegeven.



Figuur 5. Schema berekening cyclustijd.

De cyclustijd van een bewerking is samengesteld uit de hoofdtijd waarin de feitelijke bewerking plaatsvindt en de neventijden. De neventijden worden gevormd door de overige cyclische handelingen zoals op en afspannen, meten, enz. De cyclustijd wordt vermenigvuldigt met de Normaal Toeslag Factor (NTF), waarin de tijd voor onderhoud, reparatie en persoonlijke verzorging van de bediende worden meegerekend. Wanneer men hier de insteltijd voor het overschakelen van een nieuw product bij optelt dan heeft men de totale bewerkingstijd.

Vaak is raadzaam om een duurdere hoofdbewerking uit te voeren als daar mee een of meerdere nabewerkingen kunnen worden uitgespaard.

4.5 Gereedschapskosten

Kosten voor gereedschappen lopen afhankelijk van de diverse bewerkingstechnieken zeer uiteen. Prijzen van bijvoorbeeld extrusie gereedschap is veel lager dan dat van spuitgiet gereedschap omdat de vormholte of kalibreereenheid van een extrusiematrijs tweedimensionaal is. Met CNC draadvonk machines zijn dergelijke holtes eenvoudig te fabriceren.

Bij gereedschapskosten wordt onderscheid gemaakt tussen universeel gereedschap en product gebonden gereedschap zoals bijvoorbeeld matrijzen. Product gebonden gereedschapskosten worden vaak als initiële kosten (aanvangskosten) opgevoerd en kunnen worden afgeschreven over de totaalserie. Universeel gereedschap moet op een of andere manier in rekening worden gebracht. Dit kan eventueel ook bij de machine uurtarieven van de machine waar het desbetreffende universele gereedschap bij hoort. Dit is afhankelijk van het type gereedschap, de bedrijfsstrategie, enz.

4.6 Montagekosten

De kosten van assemblage van het product worden hier meegerekend. In het collegedictaat van Vervaardigen 3 is hier reeds uitgebreid op ingegaan.

4.7 Kostprijsopbouw

Gedetailleerde kostprijsberekening

Materiaalkosten

Massa x prijs/ kg = f.....
Afval in procenten = f.....
Uitval in procenten = f.....

Ingekochte halffabrikaten

Onderdeel A = f.....
Onderdeel B = f.....
Enz. = f.....

Uitval in procenten = f.....

-----+
Materiaaltoeslag 10 % = f.....
= f.....

-----+
Totaal materiaalkosten = f.....

Bewerkingskosten

Bewerkingstijd x machine-uurtarief
Bewerking A = f.....
Bewerking B = f.....
Enz. = f.....

Aantal metingen x uurtarief = f.....

Nabewerking = f.....

Toleranties = f.....

-----+
Totaal bewerkingskosten = f.....

Gereedschapskosten

Afschrijving/ totaalserie = f.....

Rentekosten = f.....

-----+
Totaal gereedschapskosten = f.....

Montagekosten

Montagetijd x uurtarief
Montage subsamenstelling 1 = f.....
Montage subsamenstelling 1 = f.....
Enz. = f.....

-----+
Totaal montagekosten = f.....

Fabricage kostprijs

-----+
= f.....

4.8 Machine uurtarieven

De reële kosten bestaan uit de aanschafkosten en de opstellingskosten. Deze laatste worden gevormd door fundatie, plaatsing, aansluiting en keuring. Hieronder staat een indicatie van de aanschafprijs van verschillende productiemiddelen:

Productiemiddel	Aanschafprijs in fl1000,-
Draaimachine	20 – 200
Freesmachine	20 – 500
CNC Bewerkingscentrum	200 - 2000
Mechanische pers	20 – 500
Spuitsgietmachine	60 – 500
Puntlasmachine	20 – 100
Industriële robot	100 - 400

Tabel 2. Aanschafprijzen productiemiddelen.

In het collegedictaat van ide440 konstruktieleer 4 wordt dieper ingegaan op het berekenen van uurtarieven van spuitgiet machines.

Van de waarde van productiemiddelen in een bedrijf wordt jaarlijks een gedeelte afgeschreven.

De afschrijftermijn wordt bepaald door de geschatte levensduur van de machine. Dit kan de technische levensduur zijn, wanneer de machine versleten is, maar meestal is dit de economische levensduur. De machine is dan technisch-economisch achterhaald. In veel gevallen heeft de machine zodoende na afschrijving nog een bepaalde restwaarde. Voor gereedschapswerktuigen wordt meestal een afschrijvingstermijn van ongeveer 10 jaar gehanteerd.

Over het in het productiemiddel gestoken kapitaal moet rente worden betaald en moet in de kostprijs van het product in rekening worden gebracht. De afschrijvingen en rente samen vormen de kapitaalkosten.

De huisvesting van een machine in een gebouw met alle benodigde voorzieningen wordt in rekening gebracht door de huisvestingskosten. De kapitaalkosten en de huisvestingskosten zijn onafhankelijk van het aantal uren dat de machine per jaar wordt gebruikt. Zij vormen de vaste kosten.

Tenslotte dienen nog de onderhoudskosten in het machine uurtarief te worden doorberekend. Deze vormen een percentage van 3 tot 6 % van het tarief.

4.9 Voorbeeld berekening machine uurtarief.

Machine:	Excenterpers van 100 kN
Vervangingswaarde:	F20.000,-
Vloeroppervlak:	6 m2 a f300,-/ m2
Economische levensduur:	10 jaar

Kosten:	
Afschrijving	F2000,-
Rente a 16 %	F1600,-
Onderhoud 6 %	F1200,-
Huisvesting 6 m2 a f300,-/ m2	F1800,-
Energie	F100,-
Verzekering 1 %	F200,-
Universeel gereedschap	F2000,-
	-----+
Totaal:	F8900,-

Economische gebruiksduur: 1400 uur/ jaar

Machine uurtarief:	F6,36
--------------------	-------

4.10 Mens uurtarieven

Het mens uurtarief wordt bepaald door de loonkosten en de sociale lasten gedeeld door het netto aantal werkuren per jaar. Hieronder staat een voorbeeld van een berekening voor een machine bediende:

Bruto loon per jaar	F 45.000,-
Sociale lasten (ca. 35% op loon)	F 15.750,-
	-----+
Menskosten per jaar	F 60.750,-

Het aantal werkuren wordt als volgt berekend:

Aantal werkdagen per jaar	52 x 5	260 dagen
Vakantie-, ADV- en feestdagen		43 dagen

Ziekteverzuim (ca. 10 % per jaar)		217 dagen
		22 dagen

Aantal werkdagen per jaar		195 dagen
Aantal werkuren per jaar	195 x 8	1560 uren
Tijd voor persoonlijke verzorging (ca. 12 %)		187

Effectief aantal werkuren per jaar		1373
Mens uurtarief	F 44,25	

Verder kan er nog een toeslag voor leidinggevend personeel (ca. 20 %) met het uurtarief worden vermenigvuldigd. Bij het werken in een drie ploegendienst liggen de loonkosten ca. 27 % hoger dan bij een normale dagdienst.

Mens machine uurtarieven

Soms worden de mens en de machine uurtarieven in een prijs verrekend. Dit gebeurt veel bij verspanende bewerkingen. Typische bedragen voor verspanende metaal bewerkingen zijn fl 100,- per uur voor eenvoudige draai- en freesbanken en fl175,- per uur voor CNC bewerkingscentra.

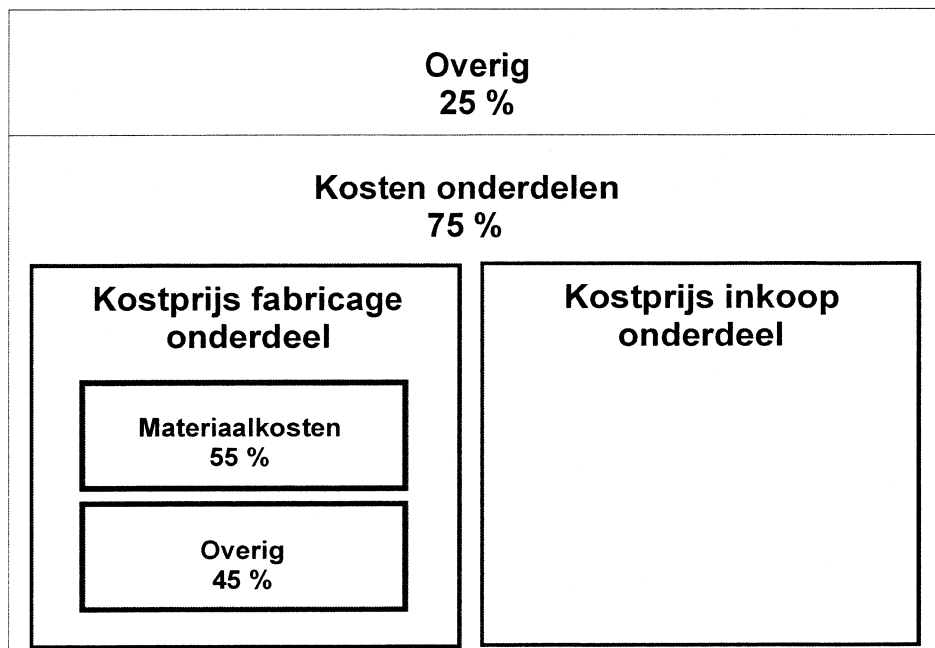
Productgebonden gereedschapskosten

Prijzen zijn onder meer afhankelijk van complexiteit, oppervlak, voudigheid, tolerantie en oppervlaktegesteldheid. In het collegedictaat van ide440 konstruktieeler 4 staat een uitgebreide methode om kosten van een spuitgietmatrijs te schatten.

Globale kostprijsberekening

De hierboven besproken methode is weliswaar nauwkeurig, maar ook erg uitgebreid. Kosten van productgebonden gereedschap en machine uurtarieven zijn bovendien soms moeilijk in te schatten. Hieronder is een schema te vinden waarmee op een snelle manier de fabricage kostprijs van een product is te schatten. Dit schema is gebaseerd op ervaringscijfers. In dit schema worden de bewerkingskosten en gereedschapskosten via een vast percentage verrekend.

Fabricage kostprijs product



Figuur 6. Schema Globale kostprijsberekening.

4.11 Case: Kostprijsberekening shoarma grill ontwerpen 4

Hieronder staat een voorbeeld van een kostprijsberekening die gemaakt is in het kader van het practicum ide 304 ontwerpen 4. Het ontworpen product is een shoarma grill. Op basis van de stuklijst is een inschatting van de fabricagekostprijs van het product gemaakt. De prijzen van de inkoop onderdelen zijn door de fabrikant van een shoarma grill beschikbaar gesteld. Het is erg nuttig om te achterhalen wat een vergelijkbaar product aan kosten heeft. Zo bleek het motortje uit de gegevens van de fabrikant veel goedkoper te zijn dan aanvankelijk was ingeschat. De inschatting was gemaakt op basis van gegevens van Europese fabrikanten. Het uiteindelijk gebruikte motortje is van Chinese makelij en is 10 keer goedkoper dan vergelijkbare motortjes van Europese fabrikanten.

De totale kostprijs is berekend volgens de globale kostprijs berekeningsmethode: $((\text{materiaalkosten}/0,55)+\text{inkoopkosten})/0,75 = \text{fabricagekostprijs}$.

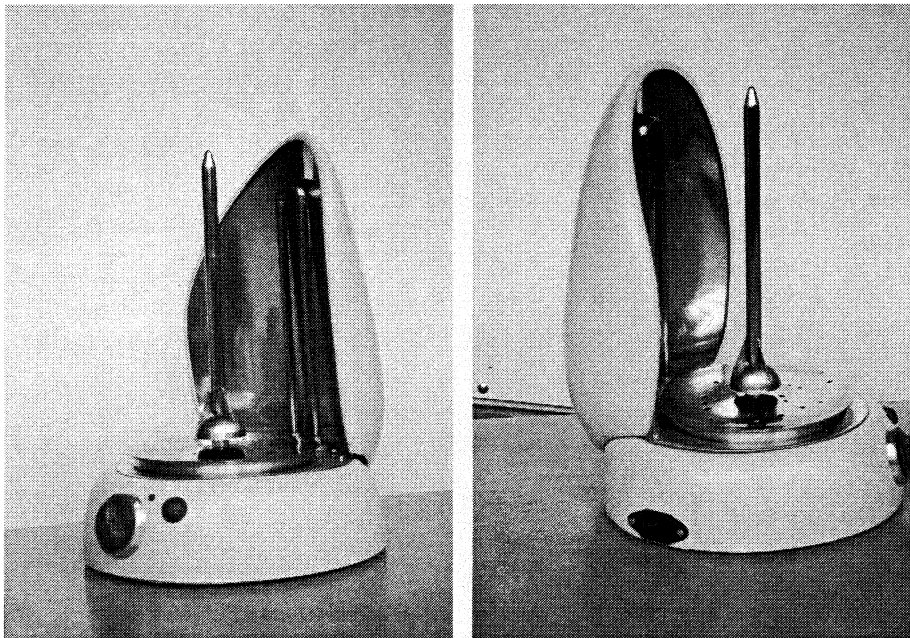
fabricage onderdeel	methode	Materiaal	dikte	hoeveelh eid/ prijs	hoeveelh eid	
Behuizing	spuitgieten	PBTP	2 mm	f 8,-/kg	0,150 kg	1,20
rand behuizing	spuitgieten	PBTP	2 mm	f 8,-/kg	0,010 kg	0,08
Basis	spuitgieten	PP	2 mm	f 2,31/kg	0,180 kg	0,42
afdekplaat onder	stansen	PP	2 mm	f 2,31/kg	0,080 kg	0,18
afdekplaat boven	dieptrekken	RVS	0,5 mm	f 6,- /m2	0,031 m2	0,19
Reflectieplaat	dieptrekken	RVS	1 mm	f 9,75 /m2	0,064 m2	0,62
Overbrengingsbus	omvormen/ assen	Fe360	1 mm	f 3,- /m2	0,005 m2	0,02
Spit	omvormen/ lassen	RVS	0,5 mm	f 6,- /m2	0,001 m2	0,01
Opvangbak	stansen/ dieptrekken	RVS	2 mm	f 15,- /m2	0,048 m2	0,72
Rooster	stansen/ dieptrekken	RVS	2 mm	f 15,- /m2	0,022 m2	0,33
draaiknop tussenstuk	stansen/ dieptrekken	RVS	1 mm	f 9,75 /m2	0,005 m2	0,05
draaiknop binnendeel	Spuitgieten	PP	2 mm	f 2,31/kg	0,050 kg	0,11
Drukknop	Spuitgieten	PP	1,5 mm	f 2,31/kg	0,025 kg	0,06
Bevestigingsprofiel	Stansen	Fe360	1 mm	f 3,-/m2	0,004 m2	0,01
Verzwareing	Gieten	GN540		f 2,-/kg	0,9 kg	2,00

-----+
totaal materiaal kosten Fl. 6,00
kostprijs fabricage onderdelen (materiaal Fl.
kosten / 0.55) 10,91

Inkooponderdelen	Materiaal	stukprijs	aantal	prijs
Verwarmingselement		± 6,00	1	6,00
Patroonelement		4,85	1	4,85
Motor		3,83	1	3,83
tandwiel motor	nylon 6.6	0,77	1	0,77
tandwiel aandrijving	Fe360	1,50	1	1,50
Lagerbus	nylon 6.6	1,00	1	1,00
Stekker		± 2,00	1	2,00
Netsnoer		± 3,00	1	3,00
Zekering		1,40	1	1,40
dimmer/printplaat IC		5,00	1	5,00
Stappenschakelaar		± 1,75	1	1,75
LED		0,10	1	0,10
Drukschakelaar		± 4,00	1	4,00

Thermostaat	2,30	1	2,30
Printplaatafstandhouder	0,10	2	0,10
Behuizingsrubber	f 3,- /m	1 m	3,00
Voetjes	0,10	4	0,40
Bedrading		± 2 m	2,00
Schroeven		± 20	0,60
Bedrukking			1,00
			-----+
Totaal inkoop onderdelen			Fl. 44,60
Totaal kosten onderdelen (inkoop + fabricage onderdelen)			Fl. 55,51

			----+
totale fabricagekostprijs (kosten onderdelen / 0.75)			Fl. 74,01



Figuur 7. Foto's van de grill uit het kostprijs berekening voorbeeld

Informatie bronnen

- Produktontwerpen, structuur en ontwerpen; N.F.M. Roozenburg en J. Eekels, Lemma, Utrecht, 1991
- Materials Selection in Mechanical design; M.F. Ashby, Pergamon Press, Oxford, UK 1993
- Manufacturing with materials, pag. 12
- Materiaalkunde voor ontwerpers; P. van Mourik en J van Dam, DUP 1996
- Process selection, from design to manufacture. K.G. Swift and J.D. Booker, Arnold 1997
- Materiaalkunde voor industrieel ontwerpen, MK75, P van Mourik en J van Dam, Tu delft, 1995
- Spoomaker, J.L., ide440 Konstruktieleer 4, Delft 1997 > Hoofdstuk 7: Het calculeren van kunststofproducten.
- Ruwe, P. de, ide342 Vervaardigen 3, Delft 1996 > Montage en assemblage
- Luttervelt, C.A. Moulijn, K.A., Inleiding vervaardigingskunde deel 3.
- Kunststof & Rubber, September 2000
- Kunststof Information Augustus 2000

Materiaalkosten

Voor prijsindicaties van uiteenlopende materialen zijn prijsopgaven in euro's te vinden in de datasheets van idemat. Deze database is ontwikkeld voor milieugerichte productontwikkeling, maar is ook geschikt voor kostprijsberekening. Hij is te vinden op het Internet:

<http://www.io.tudelft.nl/research/dfs/idemat/index.htm>.

Voor meer recente informatie moet de laatst uitgekomen Cd-rom van idemat geraadpleegd worden.

In het blad Kunststof & Rubber staan geregeld prijzen en trends in prijsverloop van de belangrijkste kunststoffen vermeld. Dit blad heeft ook een website:

<http://www.kunststofonline.nl/>

Ook in het Duitse blad Kunststoff Information is actuele informatie over kunststoffen te vinden. Via hun website <http://www.kunststoffweb.de/ki> zijn recente prijsopgaven op te vragen.

Case kostprijsberekening

Groep 21: S. Evers, E.M.J. Janssen, N.H.F. Nijhof, B.R.F. Soetens, F. van Weeren.

Hoofdstuk 5 Groepsopdracht IDE442

5.1 Inleiding, leerdoelen en beoordeling

Het aantal materialen en vervaardigingstechnologieën is zo groot dat tijdens de opleiding tot Industrieel Ontwerper slechts de belangrijkste materialen en vervaardigingstechnologieën worden onderwezen. Door continue ontwikkelingen is het lastig om aan de student steeds de laatste gang van zaken te presenteren, terwijl er toch uiteindelijk van de ingenieur IO wordt verwacht dat deze overall van op de hoogte is. Hij/zij zoekt vaak naar (nieuwe) materialen en/of (nieuwe) vervaardigingstechnologieën voor het ontwerpen of herontwerpen van producten en geeft richting aan voor verder onderzoek. Verder wordt verwacht dat de IO'er de gevonden en toegepaste kennis zodanig presenteert, dat deze toegankelijk is voor vakgenoten. In deze groepsopdracht wordt je de kans geboden om veel aandacht te besteden aan het proces van materialiseren, zoals dat anders vluchtiger tijdens het ontwerpen plaatsvindt. De uitvoering moet je een basis bieden om later in de beroepspraktijk goed aan de slag te kunnen. Het accent ligt daarom op het zoeken naar geschikte materialen en/of vervaardigingstechnologieën bekeken vanuit verschillende gezichtspunten. Hierbij gaat het niet alleen om de feitelijke informatieverzameling maar ook om de keuze, de onderbouwing, de toepassing en het verder verdiepen. Noodzakelijk is het verkrijgen van inzicht in de relaties tussen materialen en vervaardigingstechnologieën en de integratie van materiaalkunde en vervaardigingstechnologie in het ontwerpproces. De bevindingen worden op een gestructureerde wijze schriftelijk vastgelegd en tevens zullen de resultaten geordend worden opgeslagen in een gegevensbestand, dat later kan dienen als een informatiebron voor Industrieel Ontwerpers.

Leerdoelen

De groepsopdracht IDE 442 gaat uit van de noodzaak de kennis van materialen en/of vervaardigingstechnologieën steeds verder te verdiepen, uit te breiden en toe te passen. Dit wordt geoefend aan de hand van een concrete opdracht, in de vorm van een scriptieonderwerp. Voor deze onderdelen/verschillende groepsopdrachten mag door de groepen zelf worden gekozen. Eventueel is er de mogelijkheid om in overleg met de coördinator, dhr. L. H. Langeveld zelf een groepsopdracht te formuleren. Deze opdracht zal inhoudelijk dan wel anders moeten zijn dan bestaande opdrachten en tevens zelfstandig uitvoerbaar moeten zijn.

Van een groep wordt verwacht de opdracht te analyseren, een probleemstelling te formuleren en relevante informatie te verzamelen. De informatie wordt verwerkt en uiteindelijk gepresenteerd in de vorm van een mondelinge presentatie, een scriptie en een concepttijdschriftartikel.

Het deel van de oefening is:

- leren omgaan met complexe vraagstukken met materiaalkundige, vervaardigingstechnologische en functionele aspecten
- zien en begrijpen van onderlinge relaties en afhankelijkheden tussen deze aspecten
- zich eigen maken van een systematische aanpak voor de keuze van materialen en vervaardigingstechnologieën op basis van functie-eisen en fabricage-eisen.
- leren omgaan met de best beschikbare middelen van informatie-inwinning
- mondeling en schriftelijk presenteren van de verkregen resultaten

Toetsing

Zowel de scriptie, het tijdschriftartikel als de mondelinge presentatie worden beoordeeld op inhoud, diepgang, stijl, kwaliteit van de presentatie en werkwijze. Elk groepslid krijgt hetzelfde cijfer mits de individuele inspanning geen aanleiding geeft hiervan af te wijken. Voorbeeld van criteria voor beoordeling van scriptie en artikel is opgenomen in bijlage 2.

5.2 Proces

De uitvoering van de groepsopdracht omvat het verzamelen van informatie over de opdracht, het structureren van de verzamelde informatie en het presenteren van het resultaat in de vorm van een scriptie, een concepttijdschriftartikel en een mondelinge presentatie.

Een mogelijke werkwijze voor de groepsopdracht: (zie Grafiek 1)

Analyseer de opdracht.

Zoek in de bekende bronnen naar informatie over het onderwerp van de opdracht en formuleer de probleemstelling aan de hand van de opdracht en de gevonden informatie.

Verdiep aan de hand van de probleemstelling het onderwerp van de opdracht verder. Maak gebruik van literatuur en de kennis die een expert bezit. Bezoek een bedrijf of instelling ter ondersteuning van het onderwerp. Indien noodzakelijk leg contact met makers en toepassers voor een vraaggesprek.

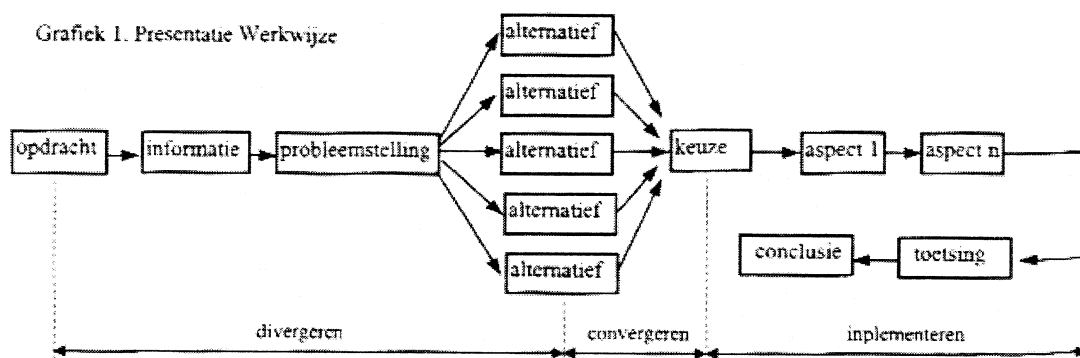
Formuleer een aantal alternatieven met verschillende combinaties van materialen en/of vervaardigingstechnologieën gerelateerd aan de probleemstelling. Kies daaruit het meest belovende of het meest interessante alternatief en beargumenteer de keuze. Maak de keuze zodanig dat de opdracht leidt tot een scriptie, waar de informatie wordt vastgelegd uit verschillende bronnen zoals; literatuur, expert, bedrijfsbezoek, makers, toepassers.

Diep het gekozen alternatief verder uit door raadpleging van literatuur, expert, maker, en toepassers(s). Voorbeelden van onderzoeksaspecten staan in Tabel 1. Toets de uitwerking van het gekozen alternatief aan toepasbaarheid en maak een terugkoppeling naar de probleemstelling.

Trek conclusies uit het gekozen onderwerp betreffende keuze van materiaal en vervaardigingstechnologie, die relevant zijn voor de industrieel ontwerper.

Technologieën	Beheersing	Toepassing
Materialen	Procescapaciteiten	Geschiedenis

samenstelling, structuur, eigenschap	temperatuur, druk, afmeting, snelheid, etc.	
Processen	Kosten	Cases
Werkmethodieken	Neveneffecten	Design Rules
Recepten		Trends
Productiemiddelen		
Speciale gereedschappen		



Scriptie

De volgende eisen gelden voor de scriptie:

Er moet informatie uit ten minste vier verschillende literatuurbronnen zijn verwerkt.

Er moet informatie uit minimaal één rapportage over het contact met een expert en/of een gebruiker en/of bedrijfsbezoek zijn verwerkt, deze rapportage moet worden opgenomen in de bijlage.

Maximaal 25 bladzijden hoofdtekst en figuren.

De bijlage mag niet groter zijn dan 5 bladzijden.

De volgende onderdelen behoren tot de scriptie:

- titelpagina
- inhoudsopgave
- samenvatting in het Nederlands en in het Engels (maximaal 1 pagina)
- inleiding (met daarin de probleemstelling)
- hoofdstuk: beschrijving alternatieven
- hoofdstuk: beschrijving en argumentatie van keuze en gekozen alternatief, beschrijving van de verdieping van enkele aspecten van het gekozen alternatief
- hoofdstuk: toetsing van toepasbaarheid en levensvatbaarheid
- hoofdstuk: conclusies van materiaalkeuze en fabricagetechnologie
- overzicht van bronnen: literatuurlijst technische documentatie, bedrijfsbezoeken, experts
- bijlage omvat korte rapportage(s) van eventuele contacten met experts, gebruikers, bedrijfsbezoeken, bedrijfsinformatie en technische informatie

Let op!

De geraadpleegde bronnen ondersteunen via verwijzingen in de tekst de gebruikte argumentatie, het gepresenteerde feitenmateriaal en/of de gepresenteerde conclusies.

Tijdschriftartikel

Het concepttijdschriftartikel wordt geschreven voor een technisch vakblad, waarop ook veel industrieel ontwerpers geabonneerd zijn. Deze vakbladen zijn o.a.: De Constructeur, Product, Materialen, Kunststof en Rubber. In het artikel wordt de technologie, de toepassing, de mogelijkheden en de voor- en nadelen van het gekozen onderwerp nader beschreven. Het artikel moet een opmaak hebben als voor een tijdschrift met een pakkende titel en mag een omvang hebben van maximaal vier bladzijden inclusief figuren en tabellen.

Voortgangsrapportage

De voortgangsrapportage houdt' een korte presentatie van ongeveer 10 minuten en 5 minuten vragen en discussie. Deze vindt plaats in een colloquiumzaal. Er zullen twee docenten zijn die de middag of ochtend begeleiden.

Hier moeten de volgende punten aan de orde komen:

probleemstelling

informatiebronnen (hoe, wat, waar, wie, hoeveel, bedrijf, de gevolgde weg) alternatieven

keuzetoelichting van het alternatief voor verdieping

planning van de komende activiteiten

een voorlopige inhoudsopgave van de scriptie

eventuele belemmeringen en al ontdekte valkuilen

Maak duidelijk dat de groepsopdracht, het specifieke onderdeel nog steeds alles te maken heeft met een personenauto en als zodanig bij de eindpresentatie geïntegreerd kan worden met andere onderdelen.

Mondelinge Presentatie

De informatie uit de scriptie wordt mondeling gepresenteerd in de vorm van een voordracht van ongeveer 20 minuten. De voordracht is voor begeleiders en medestudenten, maar gericht op het vakgebied industrieel ontwerpen. De gepresenteerde informatie moet begrijpelijk en verifieerbaar zijn maar niet triviaal. Tijdens de presentatie kan zonder meer gebruik worden gemaakt van een overheadprojector, diaprojector, schoolbord en videoprojector (beamer).

5.3 Organisatie en verplichtingen

Verplichte aanwezigheid

Voor het vak IDE 442 Materialiseren' moet worden voldaan aan de verplichte aanwezigheid bij de volgende programmaonderdelen:

introductiecollege en kennismaking met de begeleider, keuze van

groepsopdracht; voortgangsrapportage van vier sessies inclusief eigen groep

(circa één uur); presentatie den gehele middag/ochtend inclusief eigen groep;

eindgesprek met eerste begeleider, bekendmaking cijfer en een terugkoppeling van het bereikte resultaat (circa 30 min, afspraak maken met begeleider).

Groepen en begeleiding

De groepen bestaan uit minimaal drie en maximaal vijf studenten. Je kan vooraf; bij de coördinator, inschrijven als groep en je onderwerp kiezen. Anders wordt de groep ingedeeld en het onderwerp vastgesteld door de coördinator. Elke groep heeft een eerste begeleider en een tweede begeleider. De eerste begeleider is het aanspreekpunt voor vragen en problemen. De tweede begeleider wordt pas aangesproken als de ander niet bereikbaar is door afwezigheid of ziekte begeleiders nemen geen beslissingen voor jullie over de richting van het onderwerp, je kunt uiteraard wel hun opinie vragen. Mank daarvoor zelf telefonisch afspraken met je begeleider

5.4 In te leveren werk

Voorafgaand aan de mondelinge presentatie moeten de volgende onderdelen bij de begeleider ingeleverd zijn:

1. scriptie (max. 25 pagina's en max. 5 pagina's aan bijlage(n), ingebonden A4)
2. tijdschriftartikel (max. 4 pagina's)

Daarnaast moeten voor de mondelinge presentatie bij Lau langeveld Ingeleverd worden:

1. scriptie ingebonden
2. scriptie in digitale vorm; per email of per discette/CD
3. tijdschriftartikel op papier
4. tijdschrift artikel in digitale vorm; email/ discette/CD

Alle genoemde onderdelen moeten voor de presentatie ingeleverd zijn, anders geen presentatie en geen cijfer!

Bepaling van het eindcijfer IDE442

Het eindcijfer ontstaat door het combineren van het resultaat van het theorieel deel en het resultaat van het groepsopdrachtdeel in de verhouding 1:1. Voor het groepsopdrachtdeel ligt de helft van het gewicht bij de scriptie en de andere helft bestaat uit: tijdschriftartikel, voortgangsrapportage en mondelinge presentatie. Het eindcijfer van het gehele vak wordt pas doorgegeven aan de Onderwijs- en Studentenadministratie als zowel het theorieel deel als het groepsopdrachtdeel een resultaat hebben van 5 of hoger. Een behaald resultaat voor een van deze delen blijft geldig totdat aan de eisen voor het gehele vak is voldaan.

5.5 Handige tips

Aanwezige informatie

In het technisch documentatiecentrum van de Faculteit van het Industrieel Ontwerpen (ook bij de coördinator) is een groot aantal scripties en jaarbundels te vinden. Met dit werk is in het kader van het keuzevak io69 'Technologie van de massafabricage' gemaakt. Deze voorloper heeft een sterke verwantschap met de IDE 442 groepsopdracht wat betreft onderwerpen en tijdsbesteding. Het inzien van minstens een van deze bundels wordt warm aanbevolen! Hieruit zijn handige tips naar voren gekomen uit eerder opgedane ervaring. Ook zijn de scripties in te zien van het cursusjaar 1996- 1997~ het eerste jaar dat IO-studenten het vak IDE 442 Materialiseren uitvoerden.

Naslagwerk voor goed rapporteren en presenteren

Maak gebruik van het boek 'Rapportage techniek', R. Elling, B. Andeweg J. De Jong C. Swankhuisen. Wolters-Noordhoff 1994. Dit boek is in te zien bij de faculteitsbibliotheek. Lees vooral H5 Schrijven met een groep, H6 Structureren en H7 Eisen aan rapportonderdelen. Deze hoofdstukken bevatten veel bruikbare informatie zoals: de formulering van een titel § 6.3.4 en §7.2 of correct gebruik maken van literatuurverwijzingen §7.10.1 Bij dit boek hoort een on-line schrijfhulp Ganesh helper 2.0, dit hulpprogramma is voor 125,- te koop in de bibliotheek.

Tevens is er in de faculteitsbibliotheken LOI-cursus 'Mondeling Presenteren' aanwezig.

Informatie inwinnen

Technologische informatie komt op allerlei plaatsen in de wereld voor. De meest toegankelijke bronnen zijn toch wel de technische bibliotheken met hun boeken, tijdschriften en wetenschappelijke publicaties. Let vooral op de verwijzingen in de literatuur. Via internet kan

ook naar informatie worden gezocht bv. met behulp van search engines. Zie hiervoor IDE 350 ((Inleiding Onderzoeksleer.

De experts die werken bij kennisinstellingen, (technische) universiteiten en bedrijven kunnen jullie ook goed advies geven waar belangrijke informatiebronnen te vinden zijn. Bij branche- en consumentenorganisaties, maar ook bij de octrooiraad, ligt vaak de informatie voor het oprapen. De vraag naar informatie moet gericht zijn op het onderwerp (product, materiaal of technologie) en overeenkomen met de deelstellingen.

Experts benaderen

De telefoon is de aangewezen weg om experts te traceren en te benaderen. Bedenk wel, zij hebben weinig tijd voor advies. Bereid zo'n gesprek goed voor. Breek het gesprek niet af voordat je gesprekspartner twee nieuwe ingangen heeft aangedragen. Als je de kans aangeboden krijgt om een expert te bezoeken, grijp deze kans dan. Ook het bezoeken van vakbeurzen in binnen- en buitenland biedt vaak een goede gelegenheid de expert te ontmoeten en hem vragen te stellen.

Bedrijfsbezoek

Het bedrijfsbezoek werkt zeer efficiënt, in een oog opslag valt alles op zijn plaats. Zien doet geloven in het onderwerp. Bovendien krijg je een verificatie van je eigen gedachtespinsels. Je doet tevens enorm veel nieuwe ideeën op die je nooit bedenkt achter een bureau. Lukt het echt niet om een bedrijf of persoon te vinden, vraag dan aan je begeleider of coördinator naar een adres van een bedrijf of persoon.

Planning

Stel het waken aan de scriptie niet uit! De eerste klap is een daalder waard. Informatie verzamelen kost veel tijd, vaak veel meer dan geschat. Bovendien ben je ook gebonden aan de openingstijden van bibliotheken, werktijden van bedrijven. Eenmaal opgelopen achterstand loop je moeilijk in. Neem contact op met je begeleider als je vastloopt met de opdracht. De begeleider lost jouw

problemen niet op. Hij kan en mag je alleen maar op gang helpen, zodat je verder kunt met de opdracht. Convergeer tijdig, maak een keuze uit de alternatieven die verder uitgewerkt wordt voor de voortgangsrapportage. Zorg voor een heldere keuze waar de gehele groep achter staat, laat Je geen alternatief opdringen door de begeleider. Denk wel aan de diepgang die moet worden bereikt voor een goed resultaat. Leg deze keuze vast
Gebruik de voortgangsrapportage voor verificatie of je op de goede weg bent, leg hierbij de nadruk op het proces dat de groep doorloopt Na de voortgangsrapportage moet je voldoende tijd plannen voor het schrijven van de scriptie, verdieping van het onderwerp, eventuele bedrijfsbezoek(en) en contact met export(s). Niet vergeten! Begin tijdig aan de presentatievoorbereiding en zorg voor de benodigde audiovisuele middelen. Laat de inhoud van de scriptie tijdens de presentatie aan bod komen.

Taakverdeling

De scriptie, tijdschriftartikel en presentatie is groepswerk; hierop warden alle groepsleden aangesproken. Het is vaak effectief om de uitvoerende taken goed te verdelen, zoals informatie inwinnen, eindredactie, opmaak en de presentatie. Wijs verschillende verantwoordelijken aan. Let hierbij op de verschillende kwaliteiten en vaardigheden van de groepsleden! Zie ook 115 van het boek 'Rapportage techniek'

Presentatie

Presenteer professioneel! Verifieer of alle benodigde middelen aanwezig zijn en dat de apparatuur goed werkt. Zorg dat de presentatie binnen de beschikbare tijd past. Organiseer een juiste volgorde van het benodigde materiaal, zoeken in een berg overheads stoort erg. Ga niet tijdens de presentatie improviseren, dit leidt vaak tot chaos. Laat een groepslid de presentatie houden. Als de presentatie toch door meerdere groepsleden wordt verzorgd draag dan zorg voor een perfecte afstemming van de verschillende onderdelen.

Succes!

Betrokken personen en bereikbaarheid:

voor verdere vragen omtrent de groepsopdracht IDE442:
coördinator ir. Lau Langeveld, Leeghwaterstraat 35, kamer 1.14, telefoon
(278)6366

voor vragen en problemen omtrent het literatuuronderzoek:
mw. J.A.B. sc. Kopecká, Jaffalaan kamer 33.33, telefoon (278)3001.

verantwoordelijke docenten voor het gehele vak IDE442 Materialiseren 3:
Dr. Prabhu. Kandachar, Leeghwaterstraat 35, kamer 0.08, telefoon (278)5769

bijlagen

1 Van isotropie tot keuzediagram

Materiaaleigenschappen zijn de eigenschappen van een stof verwerkt tot een product. Dit betekent dat deze eigenschappen altijd voortkomen uit een bestanddeel gerelateerd aan de stof welke gerelateerd is aan de vervaardiging. Een ontwerper is niet perse geïnteresseerd in een stof of in een materiaal, hij/zij stelt belang in een stel eigenschappen op een bepaalde plek op een bepaalde periode.

De stofeigenschappen zijn erg bepaald door structuren van de stoffen in kwestie. Belangrijke aspecten van deze structuur zijn het kristalrooster en de scheikundige karakterisering van in de stof aanwezige atomen (atoommassa en valentie). Uit deze factoren valt onmiddellijk af te leiden dat op het oog uiteenlopende eigenschappen analoge samenhangen hebben. Hierop is te baseren dat het verstandig is sommige eigenschappen tegen elkaar uit te zetten. Voor volslagen isotrope stoffen wordt hieronder een poging gedaan de onderlinge relaties van eigenschappen aan te geven. Veel definities van eigenschappen zijn terug te vinden in het boek Materiaalkunde voor Ontwerpers.

Bij isotropie geldt het volgende verband tussen de E-modulus, de glijdingsmodulus G, en de compressiemodulus K:

$$E = \frac{3G}{1 + \frac{G}{3K}} \quad G = \frac{E}{2(1 + \nu)} \quad K = \frac{E}{3(1 - 2\nu)} \quad (1)$$

Hierin is ν de constante van Poisson, met $\nu \approx 0,3$ volgt:

$$G \approx \frac{3}{8} E \quad K \approx E \quad (2)$$

2 Sterkte van materialen

De sterkte van een vaste stof is erg afhankelijk van de soort vaste stof. Van metalen wordt gewoonlijk gegeven de 0,2% treksterkte, dat is de spanning in een trekstaaf bij 0,2% rek, gewoonlijk aangeduid met σ_y (engels: yield strength). Voor druk en trek kan men ruwweg dezelfde waarde nemen. Voor kunststoffen is de sterkte gedefinieerd als de spanning σ_y waarbij de trek-rek kromme niet-lineair wordt, bij circa 1% rek. Kunststoffen zijn circa 20% sterker in druk dan in trek. De sterkte van keramiek en glas is erg afhankelijk van de belastingssituatie. Onder druk is de sterkte gelijk aan de breuksterkte σ_f^c (c = compression; f = fracture strength) deze is veel groter dan de breuksterkte bij trek σ_f^t (t = tension). Hiervoor geldt:

$$\sigma_f^c \approx 15\sigma_f^t \quad (3)$$

De beschikbare sterkte van een materiaal hangt ook af van het belastingsgeval. Voor metalen geldt bij een inwendige spanningstoestand het Von Mises criterium, met $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ als hoofdspansingen.

$$E = \frac{S}{r_0} = S \cdot \rho^{1/3} \quad (4)$$

Voor kunststoffen wordt het effect van de uitwendige druk (p) in rekening gebracht:

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 = 2\sigma_f^2 \left(1 - \frac{\beta \cdot p}{\sigma_f} \right)^2 \quad (5)$$

Hierin brengt β het effect van de druk in rekening en er geldt dus:

$$p = -\frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) \quad (6)$$

De hardheid is een ruwe maat voor de sterkte als vuistregel kan worden gegeven:

$$H \approx 3\sigma_f \quad (7)$$

De E-modulus kan in beginsel geschreven worden in afhankelijkheid van de interatomaire krachten S en de onderlinge afstand tussen de atomen r_0 :

$$E = \frac{S}{r_0} \quad (8)$$

In ruwe benadering geldt voor

$$r_0 \approx \frac{1}{\rho\sqrt{3}} \quad (9)$$

zodat voor E geschreven kan worden

$$E \approx S \cdot \rho^{1/3} \quad (10)$$

$$v = \left(\frac{E}{\rho} \right)^{1/2} \quad \log E = \log \rho + 2 \log v \quad (11)$$

Daarom heeft het zin E uit te zetten als functie van ρ . De geluidssnelheid in een materiaal hangt af van de E-modulus en de dichtheid. Dus kunnen we in de

grafiek van log E tegen Log ρ lijnen van constante geluidssnelheid met helling 1 tekenen.

Omdat bij isotrope materialen E uitwisselbaar is met G en K, kunnen we dit diagram ook voor G en K gebruiken. De E-modulus is verbonden met de waarde van σ_y voor metalen: Op grond van dit verband is het redelijk om σ_y tegen ρ uit te zetten.

De eigenschappen van een vaste stof zijn in nulde benadering bepaald door het kristalrooster en de atoomsoort. Dit inzicht is vastgelegd in de Gruneisen-constante:

$$\gamma_G = \frac{3\alpha \cdot E}{\rho \cdot C_v} \quad (12)$$

α = thermische uitzettingscoëfficiënt [-]

ρ = dichtheid [kg/m^3]

C_v = soortelijke warmte [J/kg K]

De Gruneisen-constante varieert tussen de 0,4 en 4, en voor de meeste vast stoffen is hij ongeveer 1. Aangezien $\rho \cdot C_v$ vrijwel constant is vertelt de vergelijking van de Gruneisen-constante dat α proportioneel is aan $1/E$. Zo heeft diamand met de hoogste modulus een van de laagste uitzettingscoëfficiënten elastomeren met de laagste moduli expanderen het meest.

De E-modulus is een maat voor de interatomaire krachten en zal dus een verband vertonen met de smelttemperatuur T_m

$$E \approx T_m \quad T_m \text{ in graden Kelvin} \quad (13)$$

Deze vuistregel is bijzonder handig bij de onderlinge afweging van verschillende materialen. Combinatie van de Gruneisen constante en E evenredig met T_m levert het inzicht dat de thermische uitzettingscoëfficiënt omgekeerd evenredig is met T_m (in kelvin). De grootte $\rho \cdot C_v$ is voor veel vaste stoffen bij benadering gelijk aan:

$$\rho \cdot C_p \approx 3 \cdot 10^6 \text{ J/mK}$$

Hiermede zijn enkele van de relevante samenhangen in globale zin gegeven. Deze samenhangen zijn gebruikt om materiaalgegevens grafisch weer te geven. Omdat materiaalgegevens ook beïnvloed worden door microstructurele en samenstellingseffecten zijn deze materiaalgegevens geaglomereerd in zogenaamde Ashby-diagrammen. De eigenschappen van vervaardigingstechnieken hangen samen via de specifieke mogelijkheden van die techniek en via de stoffen die met deze vervaardigingstechniek verwerkt worden.

