

VRIJE UNIVERSITEIT BRUSSEL

Ontwerpmethodologie

4WE, 4TT, 4LR, 2.2LR, 2.2WB, 3.2LR

Prof. S. Vanlanduit



Vrije Universiteit Brussel

Deel II

Doelgerichte ontwerpaspecten

Hoofdstuk 5

Design for use (DFU)

5.1 Inleiding

Producten die ontworpen en geconstrueerd worden zijn veelal bestemd voor gebruikers die er op de een of andere manier mee omgaan. Dat moet dan wel doelmatig, comfortabel en veilig kunnen gebeuren. Om dit te kunnen bereiken is het noodzakelijk de gebruiker als uitgangspunt te beschouwen. De gebruiker die allerlei hebbelijkheden en onhebbelijkheden bezit, die een culturele achtergrond, een karakteristieke fysiek en persoonlijke kennis en ervaring heeft. Hierin bestaan uiteraard grote verschillen. In dit hoofdstuk wordt getracht inzicht te geven in deze verschillen en de wijze waarop hierop kan worden geanticipeerd bij het ontwerpen.

5.1.1 Wat is ergonomie?

Voor het succesvol ontwerpen van producten is het noodzakelijk aspecten te integreren uit relevante kennisgebieden. Gewoonlijk is dat een grote variëteit. Ergonomie is één van die kennisgebieden en de toepassing ervan bij het ontwerpen is niet onbelangrijk. Het is essentieel voor het al of niet bruikbaar zijn van de gerealiseerde producten. Met de inbreng van ergonomische aspecten in het ontwerpen wordt gestreefd naar producten die zijn aangepast aan menselijke eigenschappen. Dit bevordert de veiligheid, de gezondheid, het comfort en het doeltreffend functioneren van mensen. De term ergonomie is samengesteld uit de Griekse woorden 'ergon' (= arbeid, inspanning) en 'nomos' (= wet): 'de leer van de wetmatigheden van menselijk werk'. Belangstelling voor ergonomie ontstond op het moment dat men zich realiseerde dat werk en techniek niet vanzelf op de mens worden afgestemd, maar dat die afstemming een inspanning van ontwerpers vergt en het succes van die inspanning afhankelijk is van kennis van karakteristieken van de mens. De eerste

toepassingen dateren van de jaren twintig in de ontwikkeling van wetenschappelijke methoden met het oogmerk de arbeidsprestatie te maximaliseren, het 'Scientific Management'. Een verdere ontwikkeling vond plaats tijdens de Tweede Wereldoorlog, toen de noodzaak bleek van aanpassingen van wapentuig, dat in toenemende mate gemechaniseerd werd, aan de gebruiker. Aanvankelijk lag de nadruk op de werkplek-ergonomie, ergonomie in de beroepsuitoefening in de industriële omgeving, met het accent op de verhoging van de efficiëntie.

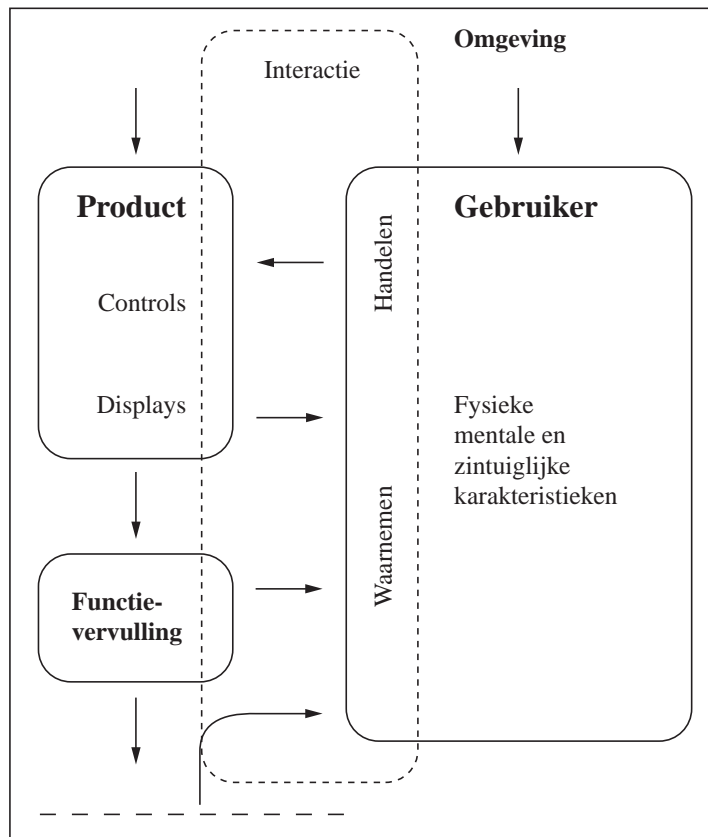
5.1.2 Het belang van ergonomie

Tegenwoordig is er ook veel aandacht voor ergonomie bij het ontwerpen van gebruiksgoederen, voor consumenten zowel als in de professionele sfeer, waarbij de nadruk ligt op comfort en veiligheid. Deze goederen worden in grote aantallen geproduceerd en de gebruikers ervan zijn voor de ontwerpers meestal anoniem, wat een onzekere factor vormt. Er zijn echter manieren om gegevens van deze gebruikers om te zetten in concrete producteisen, en vervolgens met gerichte productontwikkeling op adequate wijze op de interactie tussen mensen en producten te anticiperen. Producten die onhandig zijn, onduidelijke aanduidingen hebben voor het gebruik, onnodige vermoeidheid of ongemak veroorzaken, kortom in ergonomische zin tekortschieten, zullen gebruikers gemakkelijk frustreren en snel in onbruik raken. Dit kan de concurrentiepositie van de ondernemer die deze producten maakt en levert nadelig beïnvloeden.

5.1.3 Het Interactie-model

Aandacht voor ergonomische aspecten bij het ontwerpen is vooral belangrijk voor die dingen waarmee mensen op de een of andere manier contact hebben. Dat hoeft niet altijd een fysiek raakvlak te zijn, maar kan evenzeer zaken betreffen die zich op afstand van de gebruiker bevinden en die signalen geven door geluid en beeld, maar ook door hun vorm. In dat 'raakvlak' vindt interactie tussen product en gebruiker plaats. In het model in Figuur 5.1 wordt dit weergegeven. De functie van het product is hierin het startpunt. Wanneer de functie van het te ontwerpen product bepaald is -met andere woorden: vastgesteld is wat het omgaan met het product tot resultaat moet hebben- volgt hieruit gewoonlijk de rol van de gebruiker in termen van uit te voeren acties. Voor een deel leiden die acties tot concrete eisen die te formuleren zijn op grond van data van karakteristieken van de relevante groep van gebruikers. Een product bezit meestal bedieningsmiddelen (controls), zoals handgrepen, hendels, aan/uit-schakelaars, knoppen, schuiven, etc. Deze maken

het mogelijk dat de gebruiker fysieke handelingen uitvoert met het product. Informatieverschaffers (displays) op en aan het product zijn bijvoorbeeld wijzerplaten, indicatielampjes, schermen, teksten, etc., maar ook de vormen van productonderdelen en de vormen van sommige controls, die bijvoorbeeld een aanduiding kunnen zijn voor de beoogde hantering. Deze displays presenteren zich aan de gebruiker, die ze al dan niet herkent of begrijpt en die daarin aanleiding ziet tot nieuwe of aangepaste handelingen. Door deze acties functioneert het product en dit functioneren en het resultaat hiervan worden eveneens door de gebruiker waargenomen en verwerkt. Ook dit kan leiden tot aanpassing van handelen. Vanzelfsprekend speelt hierbij de omgeving waarin deze interactie plaatsvindt een rol. Ze kan van invloed zijn op de functieervulling, het product en zelfs de gebruiker.



Figuur 5.1: Het interactiemodel.

Het volgende voorbeeld uit de praktijk toont dat er bij interactie verschillen voorkomen die samenhangen met de karakteristieken van de ge-

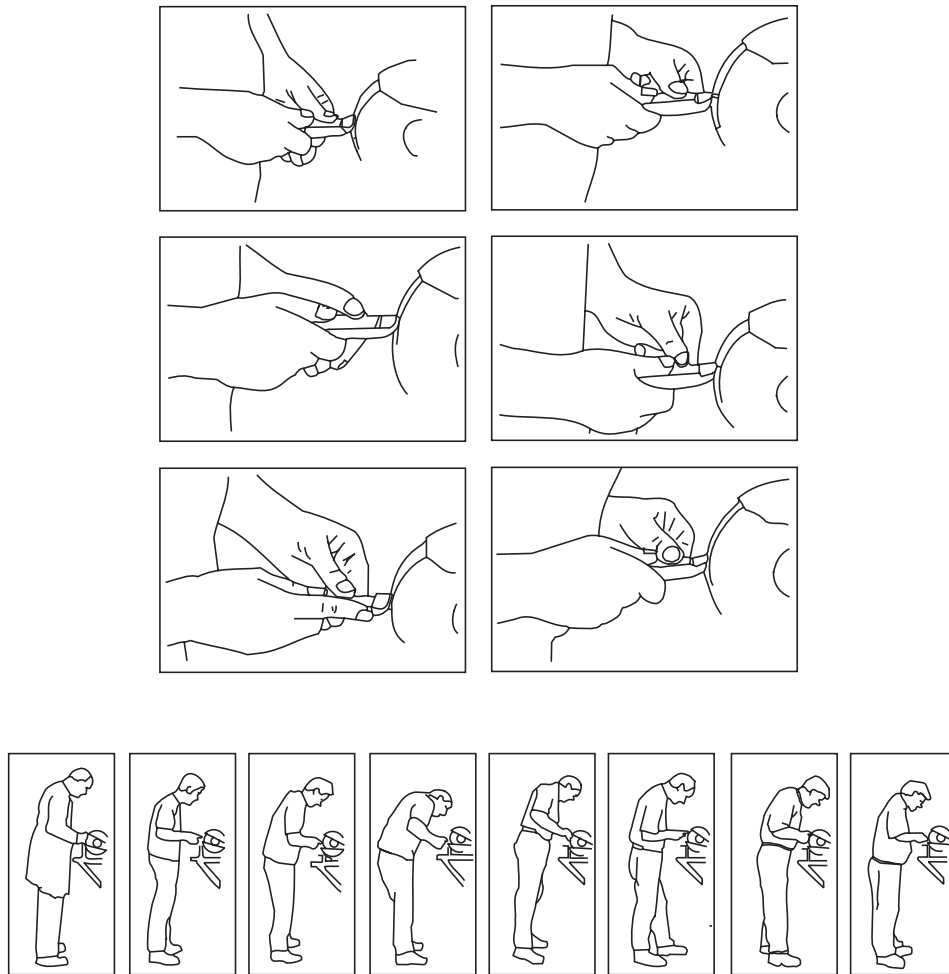
bruiker. Het (bestaande) product is een gereedschapslijpmachine in een werkplaats. De functie van het product is het slijpen van beitels. Displays op het product zijn onder andere aanduidingen voor het gebruik, veiligheidsaanduidingen, indicaties bij schakelaars, etc. Onder de controls vallen zowel de schakelaars en andere regelmechanismen, als de aanlegsteunen waartegen het werkstuk wordt afgesteund en eventuele afschermglazen. De afbeeldingen in Figuur 5.2 tonen van een aantal werkplaatsmedewerkers de lichaamshoudingen en de wijze waarop de beitel wordt vastgehouden. Te zien is dat de hoek waaronder de gebruiker de functieervulling waarneemt verschilt van persoon tot persoon. Evenzeer zijn er verschillen tussen de lichaamshouding en de houding van de armen en de handen. Ook de ervaring met dit werk en de persoonlijke opvattingen zijn niet gelijk. Dit alles leidt tot een interactie tussen gebruiker en product die kenmerkend is voor ieder van deze werknemers. Voor een belangrijk deel is dit terug te voeren op de persoonlijke karakteristieken.

Er is dus sprake van interactie tussen de gebruiker en het product, tussen de gebruiker en de functieervulling en tussen de gebruiker en de omgeving. De activiteiten van de gebruiker worden bepaald door diens fysieke, mentale en zintuiglijke karakteristieken. De eisen voor het productontwerp zijn grotendeels terug te voeren op deze karakteristieken en op de interacties. Over de genoemde karakteristieken is voldoende bekend om de betreffende eisen te formuleren. Het benoemen van de voorwaarden die de interactie stelt vereist echter een product of een of andere representatie ervan. Voor een bekende functie of een bekend product levert dit geen problemen op. Bij het ontwerpen van een product voor een nieuwe functieervulling of een nieuw product voor een reeds bestaande functie doet zich het probleem voor dat er in het model een element (het product) nog ontbreekt, zodat er over gebruikshandelingen en waarneming weinig of niets te zeggen valt. Om daarin inzicht te krijgen moeten zo vroeg mogelijk in het ontwerpproces gebruikers betrokken worden die geconfronteerd moeten worden met de bedenksels van de ontwerper in de vorm van proefmodellen, prototypen, etc.

5.1.4 Ergonomie en ontwerpen

Bij het ontwerpen zijn de volgende vragen over interactie met een gebruiksp-product van belang:

1. Wie zijn de gebruikers?
2. Wat is de omgeving?
3. Hoe gaan de gebruikers met producten om (interactie)?



Figuur 5.2: Houding van het lichaam en handen van verschillende personen.

4. Welke krachten worden uitgeoefend en welke houdingen worden ingenomen (fysieke karakteristieken)?
5. Wat wordt begrepen, onthouden of relateert aan eerdere ervaringen (mentale karakteristieken)?
6. Wat wordt waargenomen, gelezen, onderscheiden (zintuiglijke karakteristieken)?

De antwoorden op deze vragen vormen de aanzet tot eisen waaraan de displays en controls van een te ontwerpen product moeten voldoen. Voor een

deel zijn voor deze eisen de waarden of grenzen af te leiden uit de beschikbare gegevens over de karakteristieken van mensen. Voor een ander deel zullen deze eisen het resultaat zijn van observatie van (mogelijke) gebruikers bij het omgaan met soortgelijke producten, modellen of prototypen. Zelfs interviews met gebruikers na confrontatie met schetsen van productideeën kunnen gegevens opleveren. Het is van belang dat ergonomische aspecten vanaf het begin in het ontwerptraject worden betrokken. Door er aandacht aan te besteden bij de informatie-inwinning en in de analyse zijn ze medebepalend voor het programma van eisen. In latere fasen van het proces is bijsturing op ergonomische aspecten vaak niet meer mogelijk.

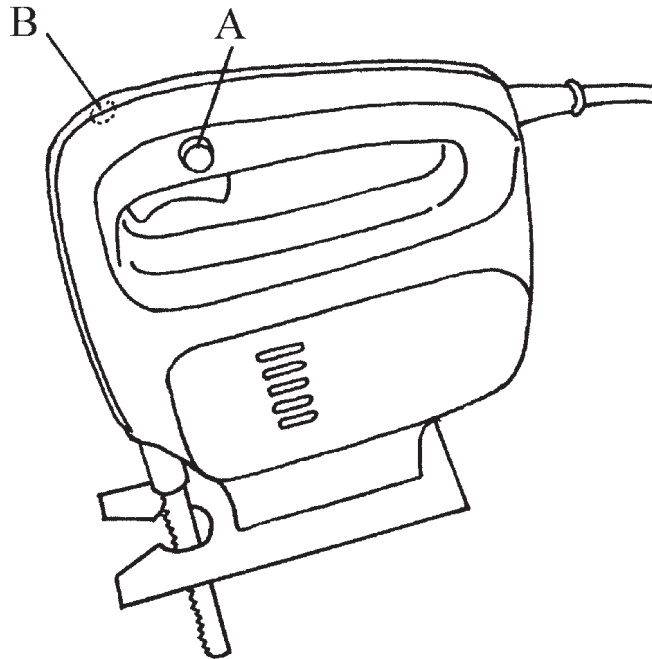
5.2 Gebruikers

5.2.1 Soorten gebruikers

Mensen verschillen. Niet alleen in sexe, leeftijd, ras en cultuur, maar ook in lichamelijke en mentale karakteristieken. Over veel maten en krachten van mensen zijn gegevens beschikbaar. Vooral lichaamsmaten kunnen van belang zijn voor het ontwerpen. Het gaat daarbij veelal om specifieke lichaamsdelen of samenstellingen daarvan. De gemiddelde mens die als ontwerpcriterium graag wordt gehanteerd, bestaat in feite niet. Van dat specimen zouden dan haast alle lichaamsdelen aan de gemiddelde waarde moeten voldoen en dat zou heel uitzonderlijk zijn. Voor de gegevens over karakteristieken van mensen staan bronnen in diverse vormen ter beschikking. Ruim 10% van de westerse bevolking is linkshandig. Vooral bij het hanteren van producten met een complexe bediening of die een nauwkeurige motoriek van de gebruiker vereisen, gebruikt men de voorkeurshand. Bij het ontwerpen van producten dient men zich daarom af te vragen of bediening door de rechter- zowel als de linkerhand probleemloos en veilig kan plaatsvinden.

5.2.2 Het gebruik van percentielen

Er zijn tabellen waarin de maten van de karakteristieken van het menselijk lichaam of delen daarvan worden vermeld. Gewoonlijk worden voor de verschillen tussen mensen percentielwaarden gebruikt. Deze gaan uit van een normale verdeling. Een percentiel geeft voor een bepaalde karakteristiek aan, welk gedeelte van een populatie in de normale verdeling onder deze waarde ligt. De ooghoogte van een volwassen Belgische man van bijvoorbeeld het 25e percentiel (P 25) is 162,6 mm. Dit wil zeggen dat 25 % van de populatie een ooghoogte (staand) heeft die onder deze waarde ligt en dus 75



Figuur 5.3: De knop, gemerkt met A, voor het vergrendelen van de aan-/uitschakelaar van handgereedschap wordt bij gebruik door linkshandigen gemakkelijk automatisch ingedrukt, zodat het apparaat onverwacht ingeschakeld blijft als men wil uitschakelen. Beter zou het zijn voor deze knop positie B te kiezen.

% er boven. Soortgelijke tabellen zijn er eveneens voor ouderen en voor kinderen. Er dient op gelet te worden of het gegevens betreft met of zonder kleding en/of schoeisel en van welke populatie de gegevens vermeld worden. In Figuren 5.12, 5.13 en 5.14 zijn tabellen met de berekende waarden in praktische stappen voor volwassenen (ongeschoeid) opgenomen. Voor veiligheid en bruikbaarheid van machines in relatie tot menselijke lichaamsafmetingen zijn er normbladen (België: NBN EN 547-1:1997: Veiligheid van machines - Menselijke lichaamsafmetingen - Deel 1 en 2 : Principes voor de bepaling van de vereiste afmetingen van toegangsoeningen in machines voor het gehele lichaam ; Nederland: NEN-EN 547-1 / -2/ -3). Bij de keuze van de percentielen die de grenzen aangeven waarbinnen bij het ontwerpen rekening gehouden moet worden, is het belangrijk te beseffen dat zich in de normale verdeling aan beide uitersten slechts geringe populaties bevinden. Hele grote en hele kleine mensen zijn er immers maar weinig. Meestal is het niet zinvol met deze uitersten rekening te houden. Zou men voor de breedte van een tweep-

ersoons zitbank in een bus uitgaan van 45,4 mm, de P 99 schouderbreedte voor mannen, dan resulteerde dat, inclusief enige toeslag voor kleding, in een maat van bijna een meter! Voorts zijn er karakteristieken, zoals de reikwijdte, die in standaardhouding (rechttop zittend) gemeten zijn. Met enige moeite kan iemand die voor de reikwijdte een waarde heeft die lager ligt dan het betreffende percentiel, toch wel verder reiken. Ook om deze reden kan overwogen worden om, voor een bepaald product, de uitersten van de percentielwaarden dichter bij elkaar te kiezen. Dus men moet niet klakkeloos P1 en P99 aanhouden, of nog erger P5 en P95.

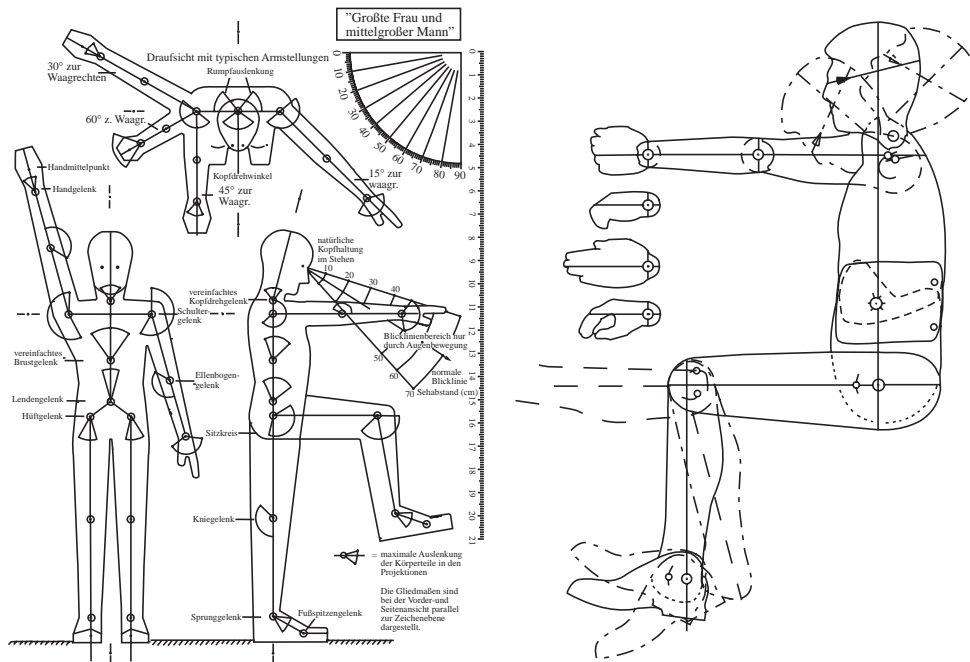
5.2.3 Mannikins

Mensmodellen of mannikins kunnen van groot nut zijn bij het beoordelen van een ontwerp. Meestal zijn het 2-D schaalmodellen, die wat afmetingen en verhoudingen betreft een menselijke figuur hebben, zoals de Kieler Puppe. Door draaipunten voor bepaalde gewrichten kunnen armen en benen in verschillende posities geplaatst worden, waardoor een snelle beoordeling van producten of omgevingen in aanzicht mogelijk is. Soortgelijke hulpmiddelen voor ontwerpbeoordeling zijn sjablonen waarmee snel mensfiguren getekend kunnen worden, zoals de mallen van Bosch.

In hoog tempo worden momenteel computerprogramma's ontwikkeld waarmee op het beeldscherm 3-D-mannikins kunnen worden gevisualiseerd en gemanipuleerd. Voor ontwerptoeepassingen is het daarbij van belang dat het betreffende product samen met de mannikin afgebeeld kan worden. Een eenvoudig, maar doeltreffend programma dat dit mogelijk maakt is ADAPS. Het is beschikbaar voor gebruik op een PC en kan menselijke figuren van diverse populaties weergeven, samen met een gebruiksomgeving. Bovendien is het blikveld van een gebruiker in een werkomgeving zichtbaar te maken. Figuur 5 laat een voorbeeld van toepassing van ADAPS zien. Het voordeel van het gebruik van zo'n programma is een besparing op de ontwerpkosten, aangezien snel een mock-up of proef-opstelling te realiseren is die anders 1:1 gebouwd moet worden om daar proefpersonen ter verifiëring in te kunnen plaatsen. Er zijn ook programma's met uitgebreidere mogelijkheden waarvoor een krachtiger computer nodig is, zoals Jack en Anthropos. Deze programma's kunnen haast levensechte personen afbeelden in een grote variëteit van houdingen en bewegingen. Ze zijn echter vrij kostbaar.

5.2.4 Menselijke kracht

Mensen verschillen onderling aanzienlijk in sterkte. De maximale kracht die de zwakste leden van een gebruikersgroep kunnen uitoefenen kan bijna 0



Figuur 5.4: Boschmal en Kieler Puppe.

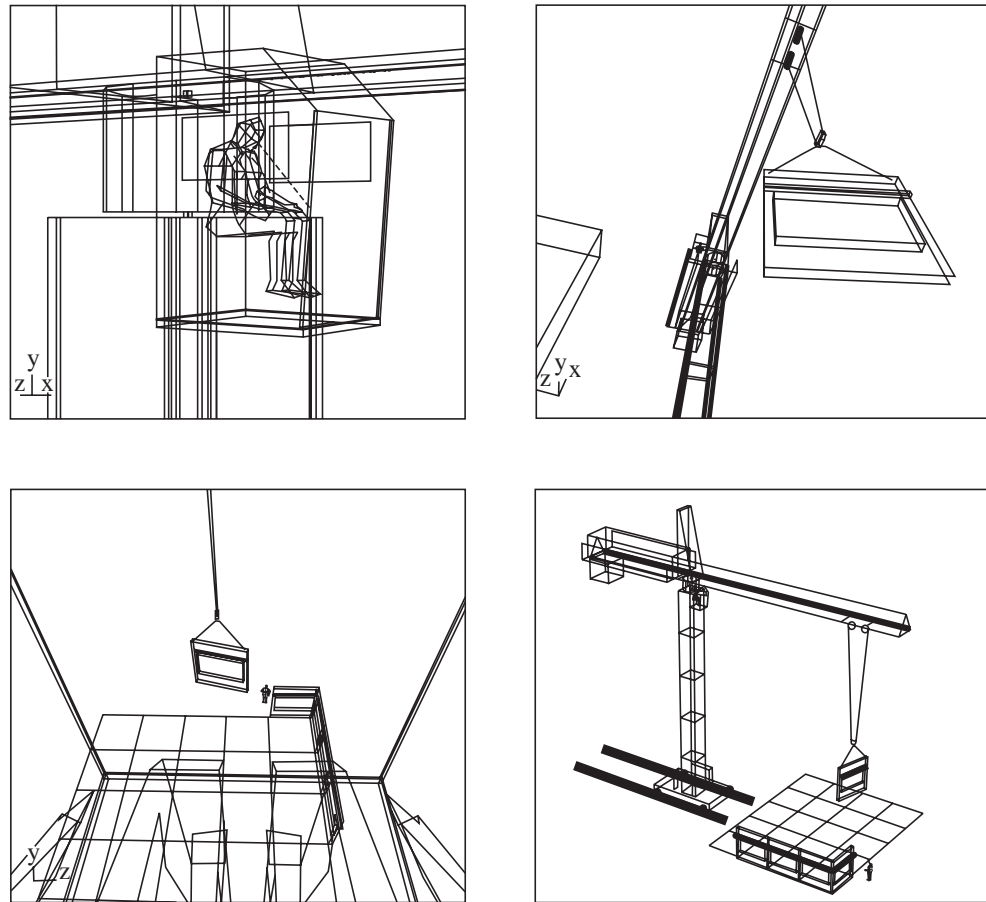
zijn (bijvoorbeeld bij ouderen), de maximale kracht van de sterksten kan oplopen tot meer dan drie maal het gemiddelde van de groep. Een bepaalde (maximale) kracht van een bepaalde doelgroep is vaak niet of heel moeilijk te vinden in de literatuur. In de beginfase van het ontwerpen heeft men echter meer aan een aantal vuistregels die zeer globaal zijn. Zij kunnen richting geven aan een te ontwerpen product dat prettig bedienbaar moet zijn en zorgen dat de capaciteiten van de gebruikers efficiënt benut worden. In een later stadium kan het belangrijk zijn de krachten van de doelgroep gedetailleerder te weten. Soms is hiervoor veldonderzoek nodig.

De volgende vuistregels kunnen ontwerpers behulpzaam zijn in de idee-fase.

Personen:

- Vrouwen kunnen maximaal gemiddeld tweederde van de maximale kracht van mannen leveren.
- Jongeren tot 20 jaar en ouderen vanaf 60 jaar kunnen minder maximale kracht leveren.

Houding:



Figuur 5.5: ADAPS: antropometrisch model in en bij een torenkraan. Een persoon zit in de kraancabine, een ander staat beneden. Van beide personen is bovendien het gezichtsveld te zien.

- Men kan met twee handen meer kracht uitoefenen dan met een, maar niet twee keer zoveel.
- Men kan meer kracht uitoefenen als er ondersteuning is, of iets om zich tegen af te zetten.
- Bij duw en trek kan de grootste kracht worden uitgeoefend tussen schouder- en ellebooghoogte.
- Bij torsie en knijpkracht geldt: hoe dicht bij het lichaam, des te meer kracht kan worden uitgeoefend.

- Soms kan gebruik van het lichaamsgewicht een taak verlichten.
- Gewrichten mogen niet belast worden in uiterste standen. Vaak kan de meeste kracht worden uitgeoefend met de gewrichten in een min of meer neutrale stand.
- Houd rekening met momenten. Een kortere arm geeft een kleiner moment. Kracht, tijd en snelheid
- Hoe langer kracht moet worden volgehouden, hoe lager de maximale kracht is.
- Bij lage, langdurige krachten moet rekening gehouden worden met de lichaamshouding.
- Hoe groter de beweging tijdens de krachttuioefening, des te vermoeiender deze is.
- Hoe sneller de beweging tijdens krachttuioefening, des te minder kracht kan worden uitgeoefend.

Vorm, textuur en afmetingen van het contactvlak van het product met de mens zijn ook van invloed op de grootte en het comfort van de uit te oefenen kracht. Richtlijnen voor het ontwerpen van een goede handgreep zijn te vinden in de paragraaf over handgrepen.

5.2.5 De zintuigen

De mens heeft vijf zintuigen: zien, horen, voelen, ruiken, proeven. Van deze zijn voor het ontwerpen zien en horen het belangrijkste. We kunnen slechts datgene waarnemen waarvoor onze zintuigen geschikt zijn wat betreft frequentie (Hz voor horen, nm voor zien), amplitude (dB voor horen, cd/m^2 voor zien) en tijd. Deze waarden zijn ook afhankelijk van elkaar. Aanwezige, niet-relevante signalen kunnen de waarneming storen ('ruis'). Voor het waarnemen van voor ons niet waarneembare dingen zijn er vele hulpmiddelen, waaronder microscoop, verrekijker, nachtkijker, lamp, stethoscoop en audio- en video-apparatuur. Voor ontwerpers is het van belang te zorgen dat de gewenste signalen waarneembaar zijn, liefst in het optimale werkgebied vallen, en dat er niet teveel ruis is.

5.2.6 Horen

De mate van luidheid van geluid wordt weergegeven in deciBel. Per definitie is 0 dB (bij 1.000 Hz) de gehoordrempel, hieronder kan men geluiden niet waarnemen. Vanaf 140 dB doet geluid pijn aan de oren. Wat frequentie betreft loopt het hoorbare gebied van 20 tot 20.000 Hz. Deze range wordt kleiner als men ouder wordt. Het optimale werkgebied ligt tussen 3000 en 6000 Hz bij 40 – 80 dB. Als ontwerper krijgt men op twee manieren te maken met geluid: als nuttig signaal dat een boodschap overbrengt en als overbodig signaal dat nuttige signalen maskeert of zelfs gehoorbeschadiging kan veroorzaken. Vanaf 85 dB kan gehoorbeschadiging optreden, afhankelijk van de duur van de blootstelling. Nuttige signalen Auditieve signalen bestaan niet alleen uit lawaai maar ook uit nuttige signalen die gebruikt kunnen worden in de communicatie met product of omgeving. Een kenmerk van auditieve informatie is dat de reactie van de mens erop sneller is dan op een visueel signaal. Een auditief signaal kan men het best gebruiken als de reactie snel moet zijn, als er veel visuele informatie is en als het een belangrijk signaal is. Gebruik niet meer dan vier of vijf toonhoogten en drie tot vijf luidheden als de geluiden los van elkaar onderscheiden moeten worden. Om complexe boodschappen over te brengen kan spraak worden gebruikt. Door technologische ontwikkelingen kan spraak steeds vaker toegepast worden bij communicatie met machines.

5.2.7 Zien

Het menselijk oog kan kleuren zien, maar alleen als er voldoende licht is. Bij minder licht worden andere receptoren op het netvlies ingeschakeld die zwart/wit beelden aan de hersenen doorgeven. Vandaar dat in het schemerduister kleuren bijna niet te onderscheiden zijn. De capaciteit van het visuele systeem om details te onderscheiden wordt 'gezichtsscherpte' genoemd. Voor de gezichtsscherpte is de beeldhoek waarin het object bekeken wordt van belang. Die wordt bepaald door de grootte van het object en de afstand van het object tot het oog, en wordt uitgedrukt in booggraden. Een beeldhoek van één boogminuut in zwart-wit kan door iemand met een normaal gezichtsvermogen nog net onderscheiden worden. Factoren die de visuele waarneembaarheid direct beïnvloeden zijn: grootte van de beeldhoek, luminantie/helderheid, helderheidscontrast en tijdsduur van waarneming. Hoe groter de helderheid, des te groter de gezichtsscherpte. Helderheidscontrast is de verhouding tussen helderheden, en wordt uitgedrukt als een verhoudingsgetal. Het oog is gevoelig voor helderheidscontrasten. Hoe groter de totale hoeveelheid licht, des te groter is de contrastgevoeligheid. De tijds-

duur van een waarneming moet minimaal 0,1 seconde zijn om het beeld bewust te kunnen opnemen. Het gebied dat men kan omspannen met n blik heet 'blikveld'. Bij verouderen wordt onder andere het blikveld kleiner, kan men dichtbij niet meer scherp zien, neemt de adaptatietijd toe en nemen kleurgevoeligheid en gezichtsscherpte af. Door de afnemende gezichtsscherpte is ter compensatie een hoger verlichtingsniveau nodig om nog goed te kunnen zien. Grote helderheden en reflecties hinderen oudere mensen echter ook sneller en ze hebben langer na-effect. De gezichtsscherpte is voor kleuren veel kleiner dan bij zwart-wit zien, minimaal 0,5 booggraad. Bij het toepassen van kleur op producten, bij beeldschermen en in grafiek moet men hierop letten. Bovendien is slechts 18% van het blikveld in staat om kleur te onderscheiden. Als twee kleurvlakken te ver uit elkaar worden geplaatst is het niet mogelijk in één blik tegelijkertijd hun kleur waar te nemen. De maximale afstand waarop ze nog te herkennen zijn varieert, afhankelijk van de kleur en de richting, tussen de 14 en de 47 graden uit het midden, met een gemiddelde van ruim twintig graden.

Kleurenblindheid Een deel van de bevolking is in bepaalde mate kleurenblind of 'kleuren-zwak'. Dit is het geval bij 8% van de mannen en 0,5% van de vrouwen. Rood/groen kleurenzwakte komt het meeste voor. Bij kleurcoderingen moet men er aan denken tegelijk ook op een andere manier (redundant) te coderen, bijvoorbeeld op plaats of vorm, zodat de situatie ook voor kleurenblinden duidelijk is. Dit geldt in het bijzonder voor rood en groen. Kleurcodering is handig voor (snelle) identificatie en voor overzicht op een groot instrumentenpaneel.

5.3 Interactie

Een goede interactie tussen mens en product is de essentie van de ergonomie, zoals reeds is beschreven in de inleiding. Het omgaan met een product is bij uitstek interactie te noemen. Mens en product geven elkaar informatie en reageren afhankelijk daarvan op elkaar. Een actie van de mens ontlokt het product een (re)actie en vice versa, kortom er is actie in twee richtingen tussen mens en product. Voor een optimale interactie is het belangrijk dat mens en product elkaar begrijpen. De ontwerper heeft alleen invloed op het product, en dient met de gebruiker in het achterhoofd het product zodanig te ontwerpen dat een goede interactie uitgelokt wordt. Let wel: hier staat 'een' goede interactie, niet 'de' goede interactie, omdat er meestal meer manieren zijn om een product juist te hanteren of bedienen. In deze paragraaf worden bediening en daarmee samenhangende ergonomische aspecten behandeld. Waar moet een goede bediening aan voldoen? In dit hoofdstuk worden al-

gemene richtlijnen gegeven voor goede interactie, in paragraaf 5.4.5 wordt meer concreet advies gegeven voor het ontwerp van een bedieningsmiddel.

5.3.1 Logische bediening

In de eerste plaats moet de bediening van een product logisch zijn. Dit geldt voor de indeling van het paneel, de volgorde van bediening, de bijschriften bij de knoppen en de meters, enz. Het lijkt een open deur, maar gezien het grote aantal onlogisch te bedienen producten dat we telkens weer tegenkomen is het niet overbodig om hier de aandacht op te vestigen. De volgorde van de bediening moet dan wel logisch zijn, maar indien de volgorde niet belangrijk is, verdient het voorkeur de bedieningsvolgorde niet kritisch te maken. Dat wil zeggen, het apparaat moet bij een andere dan de voorgeschreven manier van bedienen ook werken en zeker niet op tilt gaan. De bediening moet daarnaast zoveel mogelijk 'fool-proof' zijn. Fouten moeten in principe niet mogelijk zijn. Eventuele vergissingen moeten door de gebruiker ingezien en hersteld kunnen worden. Als het product vastloopt dan moet dit ook duidelijk zijn, evenals wat men kan doen om het op te lossen.

5.3.2 Compatibiliteit

Een goede bediening moet compatibel zijn. De term 'compatibel' wordt in verschillende vakgebieden gebruikt en betekent letterlijk 'met elkaar in overeenstemming te brengen'. In de ergonomie wordt ermee bedoeld dat de kenmerken en reacties van een product in overeenstemming zijn met de verwachtingen van de gebruikers. Indien men een hendel omhoog beweegt verwacht men dat in het bijbehorende display de wijzer omhoog gaat. Indien men een radio ziet verwacht men daarop minstens een knop voor zenderkeuze en een knop voor volumeregeling. De verwachting van de gebruiker kan verschillende oorzaken hebben.

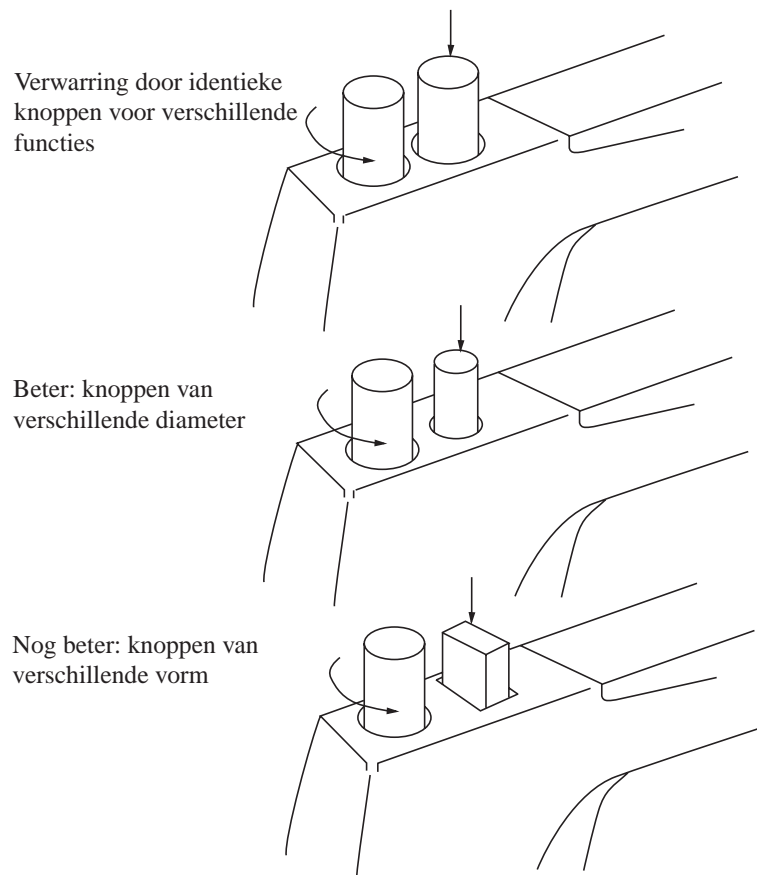
Verlengstuk De gebruiker verwacht bijvoorbeeld dat het product werkt als een verlengstuk van zijn eigen ledematen en daarom eenzelfde beweging veroorzaakt. Bij het samenknijpen van de poten van een tang of een pincet gaan de uiteinden ervan naar elkaar toe.

Geometrische overeenstemming Door de geometrische overeenstemming verwacht de gebruiker na het omhoog bewegen van de hendel dat de wijzer op het display eveneens omhoog zal gaan. Er zijn vele variaties mogelijk, in te delen in compatibiliteit van plaats, richting, vorm, omvang of grootte, snelheid en vertraging. Compatibel van plaats is bijvoorbeeld het bedieningspaneel in een lift, de knoppen voor de hogere

verdiepingen zitten bovenaan. De compatibele relaties van richting zijn in het algemeen als volgt:

- naar links, naar achteren, tegen de klok in, naar beneden = minder, afname, uit;
- naar rechts, naar voren, met de klok mee, naar boven = meer, toename, aan.

Bij knoppen kan de ontwerper de vorm laten aansluiten bij de verwachtingen van de bedieningsrichting. Maak bijvoorbeeld een draaiknop bij voorkeur rond en schuif- en duwknoppen bij voorkeur rechthoekig.



Figuur 5.6: Knoppen voor draaien en drukken moeten goed te onderscheiden zijn.

Dit is vooral belangrijk om verwarring te voorkomen als knoppen met verschillende bedieningswijzen zich naast elkaar bevinden.

5.3.3 Aangeleerde codes

Er is een aantal algemeen aanvaarde codes die aangeleerd zijn. Een ontwerper kan hier gebruik van maken. Een voorbeeld is de codering van waterkranen: rood is warm, dus de rode kraan geeft warm water; blauw is koud, dus de blauwe kraan geeft koud water. De kleur rood associëren we verder met 'stop, gevaar, waarschuwing, brand' en zij kan deze boodschappen dus uitdragen op een product. De volgende betekenisvolle kleuren komen van pas bij het ontwerpen van producten in het algemeen en bedieningspanelen in het bijzonder:

- rood = warm, stop, gevaar, pas op, alarm;
- groen = veilig, start;
- geel = aandacht;
- oranje = riskant;
- blauw = koud, informatie, reparatie;
- paars = radio-activiteit.

Een andere aangeleerde code is de drietonige hoorn, die direct wordt geassocieerd met een gehaaste ziekenwagen. De aangeleerde codes kunnen worden uitgebreid naar het verwachtingspatroon met betrekking tot het gehele product. Sommige producten zijn zodanig ingeburgerd in een bepaalde vorm of met een bepaalde bediening, dat zij in een andere vorm moeilijk herkend worden. Een radio hoort nu eenmaal bedieningsmiddelen voor volumeregeling en zenderkeuze te hebben. Sommige producten zijn wel herkenbaar maar door een afwijkend bedieningspatroon onhandig. Gebruikers kunnen zich niet-compatibele bediening eigen maken, maar het is af te raden om die toe te passen in een ontwerp. De leertijd van niet-compatibele bediening is langer en in panieksituaties worden er snel fouten gemaakt. De ontwerper moet daarom terdege rekening houden met eenmaal aangeleerde ervaringen. In sommige gevallen is het nodig om hiervoor gebruiksonderzoek te doen.

5.3.4 Terugkoppeling

Terugkoppeling (feedback) is een noodzakelijke voorwaarde voor goede mens-product-interactie. Terugkoppeling is het vergelijken van het effect van de gegeven informatie of instructie met de bedoeling van die informatie of instructie. Een gebruiker moet kunnen merken dat zijn bedieningshandeling goed overgekomen is bij het product, en het moet ook duidelijk zijn wat de volgende stap is en hoe lang de gebruiker daarop moet wachten. Vertraging bij de feedback is ongewenst. Als het verschil in tijd tussen bediening en effect te groot is dan wordt de interactie moeilijk. Er zijn producten die 'feed forward' hebben ofwel 'vooruitkoppeling'. Hierbij wordt door het product aangegeven wat de volgende stap is die de gebruiker moet nemen in de bediening. Een bekend voorbeeld hiervan is zijn automaten die de volgende actie op een display aangeven. Ook computerprogramma's waar men gegevens in moet vullen, kunnen volgens het principe van vooruitkoppeling werken.

5.3.5 Redundantie

Bij redundantie wordt bepaalde informatie omtrent de bediening dubbel of zelfs driedubbel gegeven. Dat geeft zekerheid als een van de systemen defect is, of als één systeem niet waar te nemen is (auditief/visueel). Redundante codering is handig voor mensen die auditief of visueel gehandicapt zijn, en soms is het gewoon prettig. Het is vaak riskant zich te verlaten op één code-dimensie, bijvoorbeeld een paneel dat uit een grote hoeveelheid gelijke knoppen bestaat die alleen van plaats verschillen. Redundant coderen versnelt het leren onderscheiden en geeft ook bij vermoeide of nerveuze waarnemers meer zekerheid van een juiste perceptie. Een voorbeeld van een meervoudig redundant bedieningspaneel is het toetsenbord van een computer, dat zowel visuele, auditieve als tactiele terugkoppeling geeft over het effect.

5.3.6 Intelligente producten

Intelligente producten zijn producten die cognitieve functies kunnen uitoefenen. Ze kunnen onthouden, beslissen of zelfs leren. De laatste jaren is er een grote toename van intelligente producten, niet alleen in de professionele sfeer, maar ook voor dagelijks gebruik in het huishouden. Bij intelligente producten kan de interactie ingewikkelder, uitgebreider en gevarieerder zijn dan bij 'simpele' producten. De spreiding in soorten interactie is groter en de leertijd wordt langer. Veel intelligente producten zijn relatief nieuw, waardoor de herkenbaarheid van uiterlijk en gebruik een probleem kan zijn voor het algemene publiek. Hierdoor zal de voorspelbaarheid van de interactie

afnemen. Het ontwerpen van een intelligent product wordt daar niet makkelijker door en een ergonoom kan in dit geval een nuttige bijdrage leveren. Bij een ontmoeting met een onbekend product zal de gebruiker eerst (soms onbewust) kijken of hij het product kent of vergelijkbare elementen in zijn geheugen kan vinden. Daarna wordt het product meestal op goed geluk uitgeprobeerd en pas als men vastloopt haalt men de gebruiksaanwijzing of een ervaren gebruiker er bij. Bij een ontmoeting met een bekend product heeft de gebruiker al een bepaald beeld in zijn hoofd: hoe het product er uitziet, hoe het aanvoelt, hoe het bediend kan worden en wat het resultaat is. Dit totale beeld noemen we het 'productbeeld'. De gebruiker kan het gebruik nu plannen, want handelingen en volgorde zijn bekend.

Als productgebruik geheel ingesleten is, hoeft de gebruiker niet meer te plannen; hij kan zonder nadenken de handelingen verrichten. Vaak kan het ook blindelings, aangezien de mens ook een motorisch geheugen bezit, waardoor handelingen gereproduceerd kunnen worden zonder te denken. Een goed voorbeeld hiervan is het bespelen van een muziekinstrument. Een wat eenvoudiger voorbeeld is het vinden van een lichtknop in een bekende maar donkere kamer. Bij intelligente producten is de leertijd langer en duurt het dus langer vóór deze fase van routinegebruik bereikt wordt. Bij monotoon werk kan de aandacht van de gebruiker na enige tijd onwillekeurig verslapen, evenals bij het langdurig toezicht houden op producten of processen (dit wordt 'vigilantietaak' genoemd). Hiermee moet rekening gehouden worden bij het ontwerpen van regelkamers en controletaken.

5.3.7 Grafische informatie

Voor goed bruikbare grafische informatie op en rond producten moet een analyse gemaakt worden van de gebruikers, het doel, het soort informatie en omgeving en omstandigheden. Vele aspecten spelen hierbij een rol. Wat de gebruiker betreft zijn dat bijvoorbeeld haast, culturele achtergrond, leeftijd en gezichtsscherpte. In deze paragraaf worden pictogrammen, ideogrammen, alfanummerieke tekens en hun zichtbaarheid en begrijpelijkheid behandeld.

Een pictogram is een gestileerde afbeelding van een object, persoon of proces. (bijvoorbeeld een bed als afbeelding voor een hotel). Een ideogram is een abstracte afbeelding met een bepaalde gegeven betekenis (bijvoorbeeld een (rood of groen) kruis voor EHBO en de meeste verkeersborden). Pictogrammen en ideogrammen moeten zonder uitleg begrijpelijk zijn voor de gebruikers. Sommige zijn universeel en bij iedereen bekend (mannetje/vrouwetje voor WC) maar de meeste zijn niet zo eenvoudig vanzelf te begrijpen voor mensen die er onbekend mee zijn. Kortom, pictogrammen dienen met terughoudendheid gebruikt te worden om informatie over te brengen en

als men ze wil gebruiken zal onderzocht moeten worden of de gebruikers ze op de juiste manier interpreteren. Voor ideogrammen geldt dat nog sterker.

Alfanumerieke tekens zijn letters, cijfers en lettertekens. Bij een bladzijde bedrukte tekst leest een lettertype met schreef iets beter dan een schreefloos lettertype, bijvoorbeeld de Times. Op een bedieningspaneel of voor bewegwijzering worden meestal slechts enkele tekens of woorden vermeld. Hiervoor zijn juist schreefloze letters in het algemeen wat beter leesbaar, bijvoorbeeld de Univers, de Gill Sans of de Helvetica. Donkere tekens op een lichte achtergrond hebben hierbij de voorkeur, behalve bij een beeldscherm met weinig omgevingslicht en voor slechtziende lezers, dan zijn lichte tekens op een donkere achtergrond het best zichtbaar.

The figure displays two rows of text. The top row shows the words 'Univers' and 'Times' in a light, thin, sans-serif font. The bottom row shows the same words 'Univers' and 'Times' in a dark, bold, sans-serif font. This visual comparison illustrates how the same typeface can appear differently depending on the background and weight.

Figuur 5.7: De lettertypes univers en times.

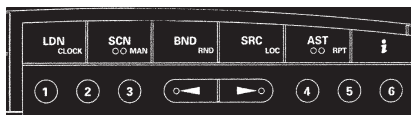
Bij een groot helderheidscontrast tussen letters en achtergrond, bijvoorbeeld tekst op een beeldscherm, worden de lichte objecten op het netvlies wat groter afgebeeld dan ze werkelijk zijn. Dit heet overstraling. Hierdoor moet de lijndikte van lichte tekens op een donkere achtergrond dunner zijn dan bij gewone letters, en omgekeerd moet de lijndikte van donkere tekens op een lichte achtergrond dikker zijn.

Voor een goede identificeerbaarheid moet de beeldhoek groot genoeg zijn. Deze wordt bepaald door de afmeting van de informatie en de afstand ervan tot het oog van de lezer. Hoe groot de beeldhoek zou moeten zijn is afhankelijk van de omgeving (licht, plaatsing, atmosferische invloeden zoals rook of mist), de materialisering (materiaal, lettertype, kleur, helderheid, afmetingen van details) en de omstandigheid (belang van de tekst, geestestoestand van de gebruikers). Voor alfanumerieke tekens wordt een minimale tekenhoogte van tien boogminuten geadviseerd, doch voor comfortabel lezen moeten ze groter zijn. De minimale cijfer- en letterhoogte bij een bepaalde leesafstand kan ook berekend worden uit de volgende formule: $H = 0,0022 \times D + K1 + K2$, waarbij H = cijferhoogte in mm, D = kijkafstand in mm $K1$ en $K2$ zijn correctiefactoren:

$$K1 = \begin{cases} 1.5mm & \text{indien lichtsterkte} > 10lx \text{ en afleesvwn. gunstig;} \\ 4.0mm & \text{indien lichtsterkte} > 10lx \text{ en afleesvwn. ongunstig;} \\ 4.0mm & \text{indien lichtsterkte} < 10lx \text{ en afleesvwn. gunstig;} \\ 6.5mm & \text{indien lichtsterkte} < 10lx \text{ en afleesvwn. ongunstig.} \end{cases} \quad (5.1)$$

$K2 = 1.9mm$ voor belangrijke tekst (zoals waarschuwingen) en $K2 = 0$ in alle andere gevallen.

Bijgaande afbeelding toont teksten op ware grootte van het bedieningspaneel van een autoradio. Bij bediening met gestrekte arm bedraagt de kijkafstand ongeveer 700 mm. Volgens de voorgaande formule zou de letterhoogte, onder gunstige omstandigheden, tenminste 3mm moeten bedragen. Ze is echter slechts 2 mm! Bij ongunstige omstandigheden zou de letterhoogte zelfs 8 mm moeten bedragen.



Figuur 5.8: Te kleine tekst op het paneel van een autoradio (1:1).

Een andere vuistregel is dat de hoogte van letters en cijfers onder gewone omstandigheden 0,5% van de leesafstand moet zijn, mits deze afstand groter is dan 600 mm. Voor belangrijke mededelingen onder ongunstige omstandigheden dient men 1% van de leesafstand te nemen. Het is belangrijk dat grafische informatie goed zichtbaar is en blijft. Bij displays met een wijzer moeten de cijfers zodanig staan dat ze niet door de wijzer aan het zicht kunnen worden onttrokken.

5.3.8 Gebruiksaanwijzing

Producten moeten bij voorkeur zodanig ontworpen worden dat er geen informatie nodig is voor installatie en gebruik. Veel gebruikers beginnen bij het product zelf en grijpen pas naar de gebruiksaanwijzing als ze zijn vastgelopen. Toch is heldere productinformatie meestal onontbeerlijk voor een goed product. Prettig leesbare en duidelijke informatie draagt er toe bij dat het gelezen wordt. Zo bevordert men bijvoorbeeld het opvolgen van veiligheidsinstructies en het snel traceren en oplossen van problemen. Het verdient aanbeveling de productinformatie tegelijk met het product te 'ontwerpen'.

Zodoende wordt de ontwerper gedwongen de interactie tussen mens en product onder de loep te nemen. Bij een mock-up hoort minstens een gebruiksaanwijzing, zeker bij complexe producten, en bij een werkend prototype hoort de complete productinformatie in de juiste lay-out. Bij een complex product kan men door middel van een gebruiksonderzoek inzicht krijgen in het effect van de gebruiksaanwijzing. De gebruiksaanwijzing bevat, indien van toepassing, de volgende informatie:

- Informatie over transport en opslag. Hoe moet het product behandeld worden? Sommige informatie moet ook op de verpakking staan (bijvoorbeeld 'deze kant boven').
- Aanwijzingen voor installatie of montage. Zie ook aanwijzingen voor gebruik.
- Aanwijzingen voor gebruik. Geef instructies stap voor stap en in de juiste volgorde. Ga uit van de resultaten die een gebruiker wil bereiken, en niet van de functies van de bedieningsmiddelen. Dat wil zeggen: leg bij een horloge uit hoe het alarm wordt ingesteld, in plaats van wat de functie van de 'mode'-knop is.
- Analyse van problemen. Beschrijf mogelijke problemen en hoe ze opgelost kunnen worden door de gebruiker. Denk ook aan problemen, veroorzaakt door onoordeelkundig, onverwacht en oneigenlijk gebruik. Geef aan wanneer hulp van een specialist nodig is.

Formulering:

- Formuleer kort, eenvoudig en eenduidig. Gebruik echter geen telegramstijl en laat geen lidwoorden weg, dit leest onprettig en kan zinnen meerduidig maken.
- Gebruik werkwoorden in de gebiedende wijs en niet in de lijdende vorm. Met andere woorden: vertel de gebruiker wat hij moet doen, vertel niet wat er met het product gebeurt.
- Gebruik geen ontkennende formulering, behalve als benadrukt moet worden wat nooit mag worden gedaan.
- Geef de productinformatie in alle benodigde talen.

Illustraties:

- Laat illustraties en toelichting duidelijk bij elkaar staan, en zó dat de lezer ze in één oogopslag samen kan zien;

- Laat in de illustratie het product zien vanuit het perspectief van de gebruiker;
- Duidelijke tekeningen zijn meestal te prefereren boven foto's.

5.3.9 Productveiligheid

Productveiligheid beoogt het bereiken van afwezigheid van gevaar voor gebruiker en omgeving bij het omgaan met producten. Net als met ergonomie begon de aandacht voor veiligheid op het terrein van de arbeidsomstandigheden in de industrie. De toename van de beschikbaarheid van consumentengoederen die vaak technisch complex van aard op allerlei wijzen risico's met zich meebrachten, vormde aanleiding tot aandacht voor de veiligheid van de consument. In de vorm van onder andere Warenwet-besluiten zijn voor veel producten en productgroepen bepalingen opgesteld die de veiligheid van gebruikers moeten waarborgen. Momenteel worden er steeds meer Europese Richtlijnen van kracht waarmee men handelsbelemmeringen als gevolg van technische aspecten wil uitsluiten. Uitgebreide informatie over het ontwerpen van veilige producten is te vinden in de literatuur. Zeer belangrijk is de wetgeving aangaande Productaansprakelijkheid. Deze wet, een uitvoering van een Europese richtlijn, gaat uit van de bescherming van de consument tegen de sterkere producent. De producent kan aansprakelijk gesteld worden voor letsel en schade als gevolg van een gebrek aan een product. Volgens deze wet is er sprake van een gebrek als een product niet die veiligheid biedt die men ervan mag verwachten onder normale en te verwachten omstandigheden. Het is duidelijk dat deze wet voor de fabrikant weinig zekerheid biedt. Eventuele premies voor verzekeringen tegen dit soort claims kunnen echter gunstig beïnvloed worden als de fabrikant kan aantonen deugdelijk op mogelijke gebreken te anticiperen door gebruiksonderzoek uit te voeren.

5.3.10 Gebruiksonderzoek

Enige zekerheid over de wijze waarop gebruikers met een te ontwerpen product om zullen gaan krijgt men pas als het product werkelijk beschikbaar is en gebruikers het laten functioneren. Niettemin bestaat er een methode om hierin al tijdens de productontwikkeling inzicht in te krijgen: het gebruiksonderzoek. In een situatie die zo dicht mogelijk komt bij wat in de praktijk te verwachten is worden proefpersonen geobserveerd en ondervraagd tijdens confrontatie met schetsen, modellen of prototypen van het te ontwerpen product. De proefpersonen dienen zo goed mogelijk overeen te komen met de te

verwachten gebruiker in sexe, leeftijd, cultuur, etc. Een groot aantal proefpersonen is niet noodzakelijk. Gebleken is dat met 5 a 10 al goede resultaten te behalen zijn. In de literatuur is te vinden hoe gebruiksonderzoek kan worden uitgevoerd.

5.4 Producten

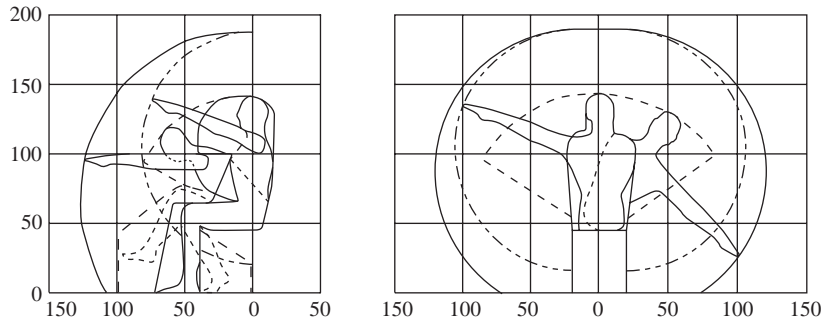
Voor het ontwerpen van producten zijn vuistregels te noemen die voor een belangrijk deel betrekking hebben op de hiervoor behandelde onderwerpen:

- Bedenk wie de toekomstige gebruikers kunnen zijn.
- Het productbeeld dat de ontwerper heeft, moet aansluiten bij het productbeeld van de toekomstige gebruikers.
- Let op verschillen tussen soorten gebruikers.
- Beperk de vrijheid van de volgorde van handelingen zo min mogelijk.
- Laat gebruikers hun eigen tempo bepalen.
- Geef onmiddellijk kennis van resultaat van handelingen.
- Gebruik eenduidige, samenhangende en compatibele codering voor signaalgevers en bedieningsonderdelen.
- Vermijd monotonie en vigilantietaken.
- Bied bij langdurige taken enige prikkelvariatie aan.
- Zorg dat de gebruikers niets hoeven te onthouden tijdens het gebruik.
- 'Moeilijke' functies mogen de primaire taakuitvoering en leerprocessen niet hinderen.
- Toets deze regels doorlopend tijdens het ontwerpen van het product.

5.4.1 Ruimten

Voor de beoordeling van de bereikbaarheid van producten en van de bewegingsruimte in een productomgeving is het voor ontwerpers van belang zich bewust te zijn van de mogelijkheden van de gebruikers. De grafieken die aangeven wat het potentieel bereik is van mensen bij het uitvoeren van bepaalde taken worden antropometrische enveloppen genoemd. Ze zijn van

belang voor het ontwerpen van ruimten, zoals cabines, zitplaatsen, werkposities, kruipruimten, et cetera. In diverse publicaties over ergonomie zijn gegevens over dergelijke enveloppen te vinden en er bestaat een normblad: DIN 33.402.

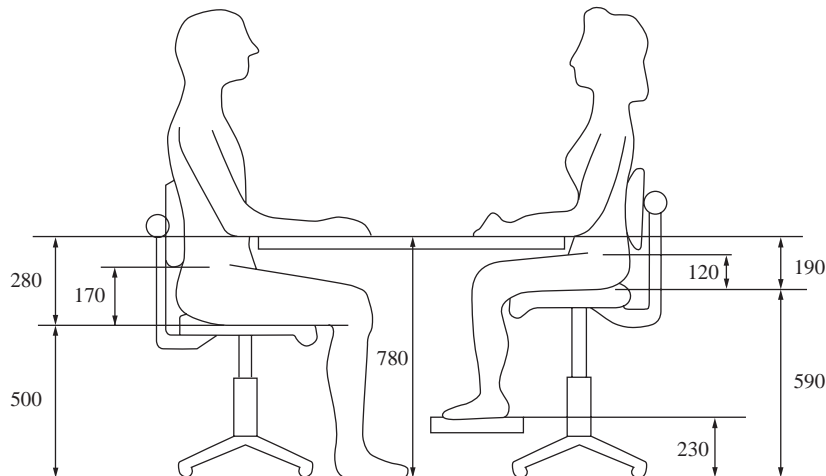


Figuur 5.9: Reikenveloppen DIN 33.401 voor het 95e percentiel volwassen Duitse man (lichaamslengte 1865 mm).

5.4.2 Ondersteuning

Er zijn relatief veel bezigheden die in een zittende houding uitgevoerd worden. Een goede ondersteuning van het lichaam is van groot belang voor een comfortabele zithouding. Comfort wordt verkregen door een ondersteuning die minimale spierspanning vergt. Voor een stoel waarop zittend werkzaamheden verricht moeten worden, al dan niet aan een tafelblad, zijn enkele algemene regels van belang. De hoogte van de zitting moet gelijk zijn aan of iets kleiner zijn dan de lengte van de onderbenen. Dit voorkomt druk op de dijen waardoor vermoeidheid en slapende benen kunnen optreden. Ook het gaan verzitten, wat een essentiële eis is voor goed zitten, wordt dan moeilijker. Rugleuning en zitvlak moeten steeds vrijwel loodrecht op elkaar staan om afschuifkrachten op huid en weefsel in het zitvlak te voorkomen. De rugleuning dient steun te geven aan de bovenrand van het bekken en de lendewervels. De rugleuning moet aan de onderzijde ruimte vrij laten voor de billen en aan de bovenkant niet hoger reiken dan tot onder de schouderbladen, zodat deze niet naar voren gedrukt worden. Hierdoor wordt het ter ontspanning rekken van de schouders naar achter belemmerd en het is hinderlijk bij zijwaartse bewegingen. Het zal duidelijk zijn dat een dergelijke stoel niet in één maat voor gebruikers van verschillend postuur bruikbaar is. Gewoonlijk worden daarom verstelmogelijkheden voorzien of wordt een

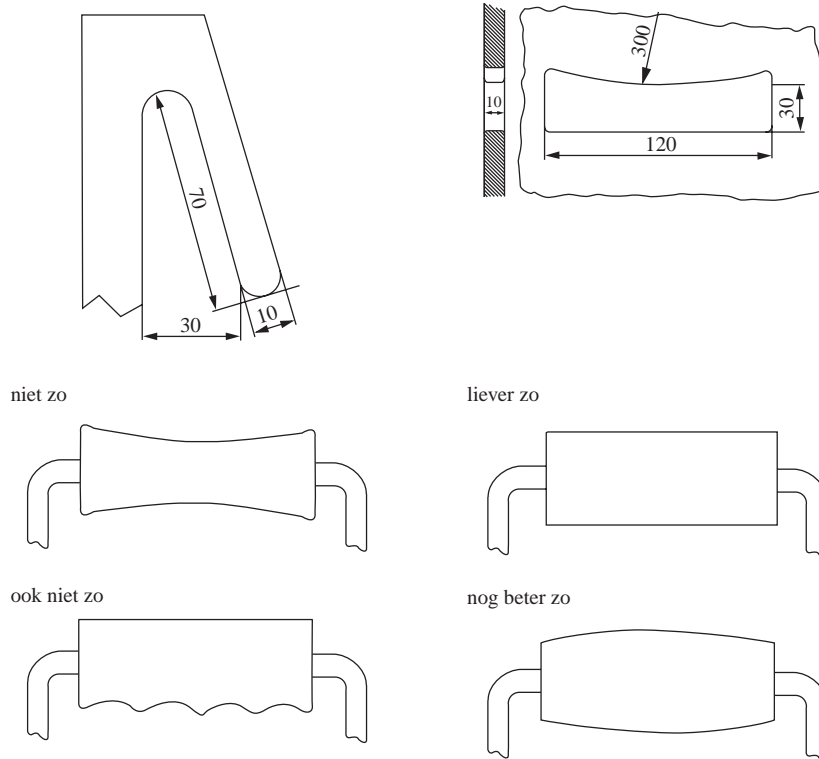
reeks stoelen van verschillende afmetingen toegepast zoals bij schoolmeubilair. Voor praktische toepassingen worden in Figuur 5.10, in zijaanzicht, de maten aangegeven voor (verstelbaar) werkmeubilair voor een 90% oplossing.



Figuur 5.10: Ondersteuning voor personen in een werksituatie (90% oplossing).

5.4.3 Handgrepen

Voor tillen, grijpen, vasthouden of verplaatsen is soms zoveel kracht vereist dat een daarvoor te ontwerpen handvat een goede greep mogelijk moet maken. Een optimale greepdiameter voor tillen door volwassenen is ongeveer 30 mm. Om beknellen te voorkomen dient rekening te worden gehouden met een vrije vingerruimte van minstens 30 a 35 mm. Voor de breedte van een greep is 120 mm een bruikbare maat. Handgrepen met holten en rondingen die overeenkomen met hand en vingervormen zijn sterk af te raden. Door de grote variëteit in handafmetingen passen ze bijna nooit! In Figuur 5.11 staan aanbevolen maten en vormen voor handgrepen, alsmede aan te raden en af te raden vormen voor draaggrepen. Een goede diameter voor dragen is 30 tot 40 mm, zonder uitsteeksels, scherpe hoeken of randjes met een ronde of ovale doorsnede. Bij torsie is het belangrijk om een goede 'greepmogelijkheid' te hebben, zodat er niet geknepen hoeft te worden tijdens het draaien. Bij het openen van veel verpakkingen wordt de kracht van de gebruikers gelimiteerd door de beperkte gelegenheid tot vasthouden.



Figuur 5.11: Aanbevolen maten en vormen voor handgrepen.

5.4.4 Gereedschap

De vorm van een gereedschap of handwerktuig kan sterk van invloed zijn op de lichaamshouding tijdens het hanteren en als gevolg daarvan vermoeidheid en ongemak veroorzaken. Meestal houdt dit verband met de uit te oefenen krachten. In het algemeen dient er te worden gestreefd naar een krachttuioefening die in het verlengde van de pols/onderarm ligt, waarbij de pols zoveel mogelijk recht gehouden kan worden. Voor krachttuioefening met de hand is een vorm aan te bevelen die de hand goed vult en enigszins bol is teneinde een redelijke drukverdeling te krijgen. Bij gereedschappen zoals tangen, waarvan de benen naar elkaar geknepen moeten worden met de hand, dienen deze benen daarom een ronding naar buiten te bezitten met een straal van ongeveer 220 mm. Een beenlengte van 90 tot 110 mm en een grootste maat op de buitenzijden van de benen van 70 mm zijn aan te bevelen. Uiteraard mogen er geen scherpe kanten aan zitten. Handgrepen aan elektrische of pneumatische gereedschappen, zoals boormachines, en dergelijke, zijn bij voorkeur eveneens enigszins bol, om de hand goed te vullen. Voor de plaatsing van

een handgreep aan een dergelijk gereedschap moet aandacht besteed worden aan de ligging van het massamiddelpunt ten opzicht van de greep, een en ander afhankelijk van de functie van de machine.

5.4.5 Bedieningspanelen

Zorg dat een bedieningspaneel zich onder handbereik van de gebruiker bevindt. De indeling van een bedieningspaneel moet logisch zijn. De bedieningsmiddelen kunnen van elkaar onderscheiden worden en/of worden geclusterd naar functie, door middel van plaats, afmeting, textuur, kleur, vorm, grafiek en als uiterste redmiddel tekst. Bij grote of complexe bedieningspanelen is het verstandig de bedieningsmiddelen redundant te coderen. Nieuwe gebruikers zoeken bij eerste kennismaking met een apparaat onbewust naar bekende kenmerken of overeenkomsten met bekende producten. Bijvoorbeeld een toets met een pijltje er op, een rode 'stop' knop of een knop met 'Power'. Maak bij het ontwerpen gebruik van deze herkenningpunten. Numerieke toetsenborden Er zijn twee verschillende soorten numerieke toetsenborden. Een is de standaard voor rekenmachines, de andere is de standaard voor telefoons. Het telefoontoetsenbord sluit beter aan bij de verwachting: de cijfers kunnen van links naar rechts en van boven naar beneden worden gelezen, zoals we gewend zijn. Dit toetsenbord wordt ook iets sneller en accurater bediend. Karakteristiek van bedieningsmiddel Een drukknop of tiptoets moet een doorsnede van minimaal 13 tot 25 mm hebben, met een minimale tussenruimte van 8 tot 13 mm. Voor optimale waarden van andere bedieningsmiddelen en voor krachten op bedieningsmiddelen. De meeste bedieningsmiddelen kunnen standaard worden ingekocht. Toch moet gecontroleerd worden of ze aan de ergonomische eisen voldoen. Er worden veel producten verkocht met onergonomische bedieningsmiddelen, bijvoorbeeld veel te kleine toetsen op een telefoon.

Bijschriften Bijschriften worden over het algemeen boven de bedieningsmiddelen geplaatst, zodat de gebruiker het bijschrift ook kan lezen tijdens het bedienen. De plaatsing van bijschriften ten opzichte van de bedieningsmiddelen moet per product consequent gebeuren, om verwarring te voorkomen. Plaatsing van het bijschrift op het bedieningsmiddel maakt het onzichtbaar gedurende het gebruik, maar heeft wel het voordeel dat onduidelijk is welk bijschrift bij welke knop hoort. Nog een aantal regels voor bijschriften en instructies op bedieningspanelen:

- Gebruik gewone woorden of standaard vaktermen.
- Gebruik hele woorden, geen afkortingen, mits er plaats voor is. Label de instrumenten liever naar wat ze meten dan naar wat ze zijn.

Bijvoorbeeld 'Ohm' in plaats van 'ohmmeter', 'RPM' in plaats van 'speedometer' en 'uur' of 'min.' in plaats van 'klok'.

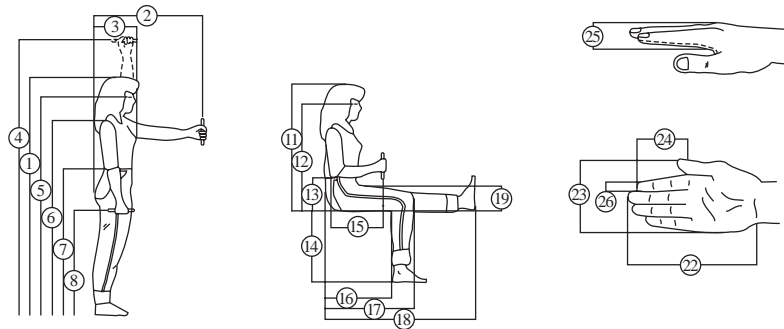
- Vermijd woorden die meer betekenissen hebben, bijvoorbeeld 'Vuur' is zowel een waarschuwing voor brand, als een commando om te schieten.
- Gebruik bij voorkeur kapitalen (hoofdletters) zonder schreef, die zijn van afstand beter leesbaar dan 'kleine' letters.
- Houdt instructiebijschriften zo kort mogelijk.
- Vermijd bij codering het nummer '1' in combinatie met letters, en de letter 'L' in combinatie met cijfers, om verwarring te voorkomen.
- Vermijd het 'aaneensmelten' van bijschriften. Dit kan gebeuren als tijdens het ontwerp van een bedieningspaneel geen rekening gehouden wordt met de lengte van de bijschriften.
- Maak een onderscheid tussen het belang van verschillende groepen bedieningsmiddelen met behulp van grootte en/of kleur.
- Alle bijschriften moeten zo permanent mogelijk worden aangebracht, dat wil zeggen dat ze slijtvast en vandalismebestendig moeten zijn. Bij laag lichtniveau moeten ze verlicht worden. Verhoogde letters die bijvoorbeeld meegegoten zijn in een behuizing zijn niet bij voorbaat goed leesbaar. Ze moeten gekleurd worden met een contrasterende kleur om beter zichtbaar te zijn. Hetzelfde geldt voor gegraveerde of ingeslagen belettering. Bovendien moeten deze opgevuld worden om te voorkomen dat de belettering vuil en stof verzamelt. Vermijd glanzende inkt of lak, en glazen of kunststof stofkappen, tenzij ze anti-reflecterend zijn behandeld.

Displays Voor melding van resultaten kunnen schalen met wijzers gebruikt worden, mechanische tellers, of elektronische displays in velerlei vormen. Het grote voordeel van tellers is de hoge afleessnelheid en een minimale kans op afleesfouten. Voor kwalitatieve informatie zijn schalen met wijzers aan te bevelen. Schalen kunnen rond, halfrond of recht worden uitgevoerd. De wijzer kan bewegen ten opzichte van de schaal, of omgekeerd. De volgorde van getallen moet oplopen van links naar rechts, van onder naar boven, en kloksgewijs voor cirkelschalen. Bij cirkelschalen moet de stand van de cijfers horizontaal zijn, dus niet radiaal. Uitlezen voor precisie (kwantitatief) globaal (kwalitatief) vereist een verschillend soort display.

- Precies: bij een gewone teller, of bij een lopende schaal met cijfers, precisie-onderverdeling en vaststaande wijzer is de aflezing het meest correct. Deze schaal is echter zeer ongeschikt voor kwalitatief aflezen.
- Minder precies: ronde of halfronde schaal met cijfers, grove onderverdeling en bewegende wijzer
- Globale indicatie: ronde schaal met kleurvlak-aanduiding (bijvoorbeeld een onderverdeling in 'groen = veilig, geel = aandacht en rood = gevaar'), zonder cijfers die in dit geval niet belangrijk zijn (zoals de aanduiding van temperatuur van koelvloeistof in een auto).

Een aanduiding van gevaar wordt het snelst opgemerkt als er bij de wijzer of in de gevarezone een rode pijl of een rood vlak verschijnt op het moment dat het gevaar zich voordoet. Als richtlijnen voor schaalindicatie op een wijzerplaat gelden dat bij een maximale afleesafstand van 600 mm de minimaal te gebruiken lijndikte 0,2 mm, de minimale afstand tussen graderingsstreepjes 0,8 mm en tussen twee hoofdindicatiestrepen ongeveer 8 mm is. Bij grotere afstanden nemen de afmetingen evenredig toe. Complexe bedieningspanelen Sommige producten zijn complex en hebben een paneel met veel bedieningsmiddelen. In dat geval dient men de bediening zo eenvoudig en duidelijk mogelijk te maken door een goed ontwerp van het bedieningspaneel en een juiste koppeling met de te bedienen functies. Vermindering van het aantal knoppen en schakelaars heeft niet automatisch tot gevolg dat de bediening eenvoudiger wordt! Bediening door middel van een klein aantal knoppen die ieder diverse functies vervullen, kan zelfs aanzienlijk lastiger zijn dan het bedienen door middel van een paneel met veel knoppen, aangezien de gebruiker geen overzicht heeft, met de bedieningswijze bekend moet zijn, de functies van de knoppen uit het hoofd moet kennen en soms méér handelingen moet verrichten om tot resultaat te komen (bijvoorbeeld het doorlopen van een menu). Met behulp van de huidige technologie is het voor de ontwerper makkelijker om bijvoorbeeld één display met twee knoppen te maken waarmee een menu doorlopen wordt. Het oogt ook simpel, maar desondanks is de bediening ervan het vaak niet. Dit irriteert de gebruiker en kan leiden tot disfunctioneren van het product.

vrouwen													
	P1	P2.5	P3	P5	P10	P25	P50	P75	P90	P95	P97	P97.5	P99
1 lichaamslengte	150,0	152,4	152,9	154,4	156,8	160,7	165,1	169,5	173,4	175,8	177,3	177,8	180,2
2 reikdiepte	60,1	61,8	62,1	63,1	64,8	67,5	70,4	73,3	76,0	77,7	78,7	79,0	80,7
3 borstdiepte	20,7	22,0	22,3	23,2	24,5	26,7	29,1	31,5	33,7	35,0	35,9	36,2	37,5
4 reikhoogte	173,0	175,8	176,4	178,2	181,0	185,6	190,7	195,8	200,4	203,2	205,0	205,6	208,4
5 ooghoogte	139,5	141,6	142,1	143,5	145,6	149,2	153,2	157,2	160,8	162,9	164,3	164,8	166,9
6 schouderhoogte	122,4	124,6	125,1	126,5	128,8	132,5	136,6	140,7	144,4	146,7	148,1	148,6	150,8
7 ellebooghoogte	95,1	96,7	97,0	98,0	99,6	102,2	105,1	108,0	110,6	112,2	113,2	113,5	115,1
8 vuisthoogte	65,5	67,1	67,4	68,4	69,9	72,5	75,3	78,1	80,7	82,2	83,2	83,5	85,1
9 heupbreedte	30,0	31,0	31,2	31,9	32,9	34,6	36,5	38,4	40,1	41,1	41,8	42,0	43,0
10 schouderbreedte	31,5	32,3	32,4	32,9	33,6	34,9	36,2	37,5	38,8	39,5	40,0	40,1	40,9
11 kruin-zitvlak hoogte	79,7	80,9	81,2	82,0	83,2	85,2	87,4	89,6	91,6	92,8	93,6	93,9	95,1
12 ooghoogte	67,5	68,7	69,0	69,7	70,9	72,9	75,0	77,1	79,1	80,3	81,0	81,3	82,5
13 elleboog-zitvlak hgt	17,7	18,7	18,9	19,5	20,5	22,1	23,8	25,5	27,1	28,1	28,7	28,9	29,9
14 knieholte hoogte	34,5	35,4	35,6	36,2	37,1	38,6	40,3	42,0	43,5	44,4	45,0	45,2	46,1
15 elleboog-grijp diepte	27,7	28,5	28,7	29,2	30,0	31,3	32,8	34,3	35,6	36,4	36,9	37,1	37,9
16 bil-knieholte diepte	41,9	43,1	43,4	44,1	45,3	47,3	49,4	51,5	53,5	54,7	55,4	55,7	56,9
17 bil-knieschijf diepte	52,7	53,8	54,1	54,8	55,9	57,8	59,9	62,0	63,9	65,0	65,7	66,0	67,1
18 bil-voet diepte	94,4	96,3	96,7	97,9	99,8	103,0	106,5	110,0	113,2	115,1	116,3	116,7	118,6
19 dijbeen hoogte	10,7	11,4	11,5	11,9	12,5	13,6	14,7	15,8	16,9	17,5	17,9	18,0	18,7
20 ellebogenbreedte	34,2	36,1	36,5	37,8	39,7	42,9	46,5	50,1	53,3	55,2	56,5	56,9	58,8
21 heupbreedte	31,6	32,8	33,1	33,9	35,1	37,2	39,5	41,8	43,9	45,1	45,9	46,2	47,4
22 handlengte	15,6	15,9	16,0	16,2	16,5	17,1	17,7	18,3	18,9	19,2	19,4	19,5	19,8
23 handbreedte	8,0	8,2	8,3	8,4	8,6	9,0	9,4	9,8	10,2	10,4	10,5	10,6	10,8
24 lengte wijsvinger	6,1	6,2	6,2	6,3	6,5	6,7	7,0	7,3	7,5	7,7	7,8	7,8	7,9
25 handdikte	2,0	2,1	2,1	2,2	2,3	2,5	2,7	2,9	3,1	3,2	3,3	3,3	3,4
26 breedte wijsvinger top	1,3	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7	1,7
27 lichaamsgewicht	41,7	45,4	46,2	48,5	52,2	58,3	65,0	71,7	77,8	81,5	83,8	84,6	88,3



Figuur 5.12: Antropometrische maten van de vrouwenpopulatie.

mannen													
	P1	P2.5	P3	P5	P10	P25	P50	P75	P90	P95	P97	P97.5	P99
1 lichaamslengte	164,5	166,9	167,4	168,8	171,2	175,1	179,4	183,7	187,6	190,0	191,4	191,9	194,3
2 reikdiepte	65,8	67,3	67,6	68,4	69,8	72,2	74,4	77,2	79,6	81,0	81,8	82,1	83,6
3 borstdiepte	22,5	23,5	23,7	24,3	25,3	26,9	28,6	30,3	31,9	32,9	33,5	33,7	34,7
4 reikhoogte	191,1	194,5	195,2	197,3	200,7	206,2	212,3	218,4	223,9	227,3	229,4	230,1	233,5
5 ooghoogte	152,0	154,4	154,9	156,3	158,7	162,6	166,9	171,2	175,1	177,5	178,9	179,4	181,8
6 schouderhoogte	136,1	138,2	138,7	140,0	142,2	145,7	149,6	153,5	157,0	159,2	160,5	161,0	163,1
7 ellebooghoogte	102,2	104,0	104,4	105,5	107,3	110,2	113,4	116,6	119,5	121,3	122,4	122,8	124,6
8 vuisthoogte	72,4	73,5	73,8	74,5	75,6	77,4	79,4	81,4	83,2	84,4	85,0	85,3	86,4
9 heupbreedte	31,4	32,1	32,2	32,6	33,3	34,4	35,6	36,8	37,9	38,6	39,0	39,1	39,8
10 schouderbreedte	37,0	37,7	37,8	38,2	38,9	40,0	41,2	42,4	43,5	44,2	44,6	44,7	45,4
	P1	P2.5	P3	P5	P10	P25	P50	P75	P90	P95	P97	P97.5	P99
11 kruin-zitvlak hoogte	86,0	87,2	87,5	88,3	89,5	91,6	93,9	96,2	98,3	99,5	100,3	100,6	101,8
12 ooghoogte	74,3	75,5	75,8	76,5	77,7	79,7	81,8	83,9	85,9	87,1	87,8	88,1	89,3
13 elleboog-zitvlak hgt	17,7	18,7	18,9	19,5	20,5	22,1	23,8	25,5	27,1	28,1	28,7	28,9	29,9
14 knieholte hoogte	39,9	40,8	41,0	41,6	42,5	44,0	45,7	47,4	48,9	49,8	50,4	50,6	51,5
15 elleboog-grijp diepte	33,1	33,8	33,9	34,4	35,1	36,2	37,5	38,8	39,9	40,6	41,1	41,2	41,9
16 bil-knieholte diepte	44,8	45,9	46,2	46,9	48,0	49,8	51,8	53,8	55,6	56,8	57,4	57,7	58,8
17 bil-knieschijf diepte	55,5	56,5	56,7	57,4	58,4	60,1	62,0	63,9	65,6	66,6	67,3	67,5	68,5
18 bil-voet diepte	95,7	97,5	97,9	99,0	100,8	103,8	107,1	110,4	113,4	115,2	116,3	116,7	118,5
19 dijbeen hoogte	11,3	11,7	11,8	12,1	12,6	13,3	14,1	14,9	15,6	16,1	16,4	16,5	16,9
20 ellebogenbreedte	38,8	40,0	40,3	41,1	42,3	44,4	46,7	49,0	51,1	52,3	53,1	53,4	54,6
21 heupbreedte	32,8	33,6	33,7	34,2	34,9	36,2	37,5	38,8	40,1	40,8	41,3	41,4	42,2
	P1	P2.5	P3	P5	P10	P25	P50	P75	P90	P95	P97	P97.5	P99
22 handlengte	17,2	17,5	17,6	17,8	18,1	18,7	19,3	19,9	20,5	20,8	21,0	21,1	21,4
23 handbreedte	9,9	10,1	10,2	10,3	10,5	10,8	11,1	11,4	11,7	11,9	12,0	12,1	12,3
24 lengte wijsvinger	6,6	6,8	6,9	7,0	7,2	7,5	7,8	8,1	8,4	8,6	8,7	8,8	9,0
25 handdikte	2,4	2,5	2,5	2,6	2,6	2,8	2,9	3,0	3,2	3,2	3,3	3,3	3,4
26 breedte wijsvinger top	1,7	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	1,9	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,1
27 lichaamsgewicht	52,7	56,4	57,2	59,5	63,2	69,3	76,0	82,7	88,8	92,5	94,8	95,6	99,3

Figuur 5.13: Antropometrische maten van de mannenpopulatie.

mannen en vrouwen													
	P1	P2.5	P3	P5	P10	P25	P50	P75	P90	P95	P97	P97.5	P99
1 lichaamslengte	149,8	153,4	154,1	156,4	172,3	172,3	172,3	172,3	172,3	172,3	172,3	172,3	194,4
2 reikdiepte	61,7	63,5	63,8	64,9	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	83,4
3 borstdiepte	21,5	22,7	22,9	23,7	28,9	28,9	28,9	28,9	28,9	28,9	28,9	28,9	36,2
4 reikhoogte	169,6	174,7	175,8	178,9	201,5	201,5	201,5	201,5	201,5	201,5	201,5	201,5	233,4
5 ooghoogte	138,6	142,0	142,7	144,9	160,1	160,1	160,1	160,1	160,1	160,1	160,1	160,1	181,5
6 schouderhoogte	122,6	125,8	126,5	128,5	128,6	143,1	143,1	143,1	143,1	143,1	143,1	143,1	163,6
7 ellebooghoogte	94,9	97,2	97,7	99,1	109,3	109,3	109,3	109,3	109,3	109,3	109,3	109,3	123,6
8 vuisthoogte	67,6	69,1	69,5	70,4	77,4	77,4	77,4	77,4	77,4	77,4	77,4	77,4	87,1
9 heupbreedte	30,5	31,4	31,5	32,1	36,1	36,1	36,1	36,1	36,1	36,1	36,1	36,1	41,6
10 schouderbreedte	31,4	32,5	32,8	33,5	38,7	38,7	38,7	38,7	38,7	38,7	38,7	38,7	46,0
	P1	P2.5	P3	P5	P10	P25	P50	P75	P90	P95	P97	P97.5	P99
11 kruin-zitvlak hoogte	79,8	81,5	81,9	82,9	90,7	90,7	90,7	90,7	90,7	90,7	90,7	90,7	101,5
12 ooghoogte	67,5	69,2	69,6	70,7	78,4	78,4	78,4	78,4	78,4	78,4	78,4	78,4	89,3
13 elleboog-zitvlak hgt	17,7	18,7	18,9	19,5	23,8	23,8	23,8	23,8	23,8	23,8	23,8	23,8	29,9
14 knieholte hoogte	34,4	35,8	36,1	36,9	43,0	43,0	43,0	43,0	43,0	43,0	43,0	43,0	51,6
15 elleboog-grijp diepte	27,9	29,0	29,3	30,0	35,2	35,2	35,2	35,2	35,2	35,2	35,2	35,2	42,4
16 bil-knieholte diepte	42,9	44,1	44,3	45,1	50,6	50,6	50,6	50,6	50,6	50,6	50,6	50,6	58,3
17 bil-knieschijf diepte	53,6	54,8	55,1	55,8	61,0	61,0	61,0	61,0	61,0	61,0	61,0	61,0	68,3
18 bil-voet diepte	95,0	96,9	97,3	98,4	106,8	106,8	106,8	106,8	106,8	106,8	106,8	106,8	118,6
19 dijbeen hoogte	10,9	11,5	11,6	11,9	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	17,9
20 ellebogenbreedte	36,2	37,9	38,2	39,3	46,6	46,6	46,6	46,6	46,6	46,6	46,6	46,6	57,0
21 heupbreedte	31,6	32,7	32,9	33,6	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	45,4
	P1	P2.5	P3	P5	P10	P25	P50	P75	P90	P95	P97	P97.5	P99
22 handlengte	15,7	16,1	16,2	16,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	21,3
23 handbreedte	7,9	8,3	8,3	8,6	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	12,6
24 lengte wijsvinger	6,0	6,2	6,3	6,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	8,8
25 handdikte	2,2	2,3	2,3	2,3	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	3,4
26 breedte wijsvinger top	1,2	1,3	1,3	1,3	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	2,2
27 lichaamsgewicht	43,9	48,1	49,0	51,7	70,5	70,5	70,5	70,5	70,5	70,5	70,5	70,5	97,1

Figuur 5.14: Antropometrische maten van de mannen en vrouwenpopulatie.

Hoofdstuk 6

Design for assembly (DFA)

6.1 Doel: kostenbesparing

Het doel van design for assembly (DFA) is kostprijsbesparing door een eenvoudiger en goedkoper samengesteld product te ontwerpen. Door middel van een analyse van de montage, gebaseerd op de eerste schetsen en een voorlopige stuklijst, worden knelpunten in het ontwerp in beeld gebracht. Wanneer een team ontwerpers de methode consequent toepast, wordt de creativiteit geprikkeld en ontstaan nieuwe concepten. De methode is in 1980 bedacht door G. Boothroyd en P. Dewhurst van de Universiteit van Rhode Island. Zij ontwikkelden trilvullers, schudgoten en andere hulpmiddelen voor de automatische assemblage van consumenten-elektronica. Uitgangspunt was een kant-en-klare tekening van een technisch product. Bij het oplossen van de assemblageproblemen ontdekten ze dat bij het ontwerp te weinig rekening was gehouden met mogelijke complicaties bij de productie. Daarom verlegden ze hun aandacht naar het voortraject: het ontwerpproces. De hier beschreven methode is een vereenvoudigde versie van de oorspronkelijke methode van Boothroyd. De essentie blijft gehandhaafd, tijdrovende administratieve procedures blijven achterwege. Design for assembly is, evenals de waardeanalyse (WA) die besproken werd in Hoofdstuk 4, een methode om overtollige kosten in het productontwerp te elimineren.

6.2 De methode

De methode is gebaseerd op een achtstappenplan. Aan een DFA-onderzoek gaat een actie van het management vooraf, namelijk het verstrekken van een opdracht aan een team. Het team doorloopt de volgende stappen:

- Opdrachtfase: bepalen taak, target, team, termijn.

- Informatiefase: vergaren specialistische informatie.
- Visualisatiefase: opstellen montageschema.
- Analysefase: montagetijden en 'verdachte' items opsporen.
- Provocatiefase: aangeven knelpunten.
- Creatieve fase: ideeëngeneratie, brainstormtechnieken.
- Evaluatiefase: keuze maken uit alternatieven.
- Invoeringsfase: implementatie en resterende knelpunten.

6.2.1 Opdrachtfase

Net als bij WA kan de opdracht aan de constructeur luiden: a. ontwikkel door middel van DFA van product Y1 een variant Y2 die komende vijf jaar geproduceerd gaat worden met een jaaraantal van 500; b. realiseer een kostprijnsreductie van 20%; c. inviteer specialisten van inkoop, fabricage en lab; d. presenteer binnen vier weken een voorstel.

6.2.2 Informatiefase

Als voorbereiding op een DFA-onderzoek doet de constructeur het volgende:

- hij verzamelt de eisen waaraan het ontwerp moet voldoen, vertaald in de functies die het product moet verrichten;
- hij zorgt voor een eerste uitgewerkte schets van het product met stuklijst en bewerkingen;
- hij stelt een concept-montageschema op (montagevolgorde);
- hij plant een aantal sessies en roept het team bij elkaar. Doorgaans zijn daarbij specialisten op het gebied van fabricage(vorbereiding) en calculatie aanwezig.

6.2.3 Visualisatiefase

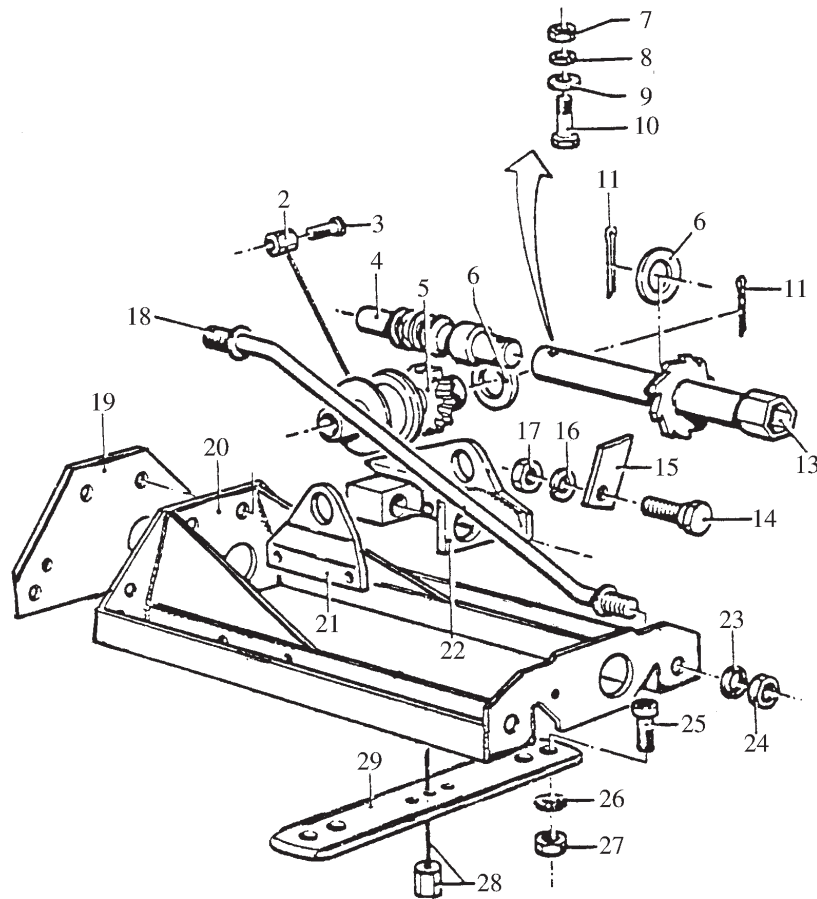
Vanaf deze fase vinden alle activiteiten met het hele team plaats. Het definitieve montageschema wordt op de volgende wijze vastgesteld.

- Ga ervan uit dat de onderdelen één voor één gemonteerd worden. Het montageschema bestaat uit lijnstukjes die zijn genummerd in de montagevolgorde. Zie als voorbeeld Figuur 6.1 met de samenstelling van een bandelier van een vrachtauto en Figuur 6.2 met het montageschema.
- Een lijnstukje kan een onderdeel, een subassemblage of een bewerking of proces voorstellen. Een bewerking of proces wordt gedefinieerd als een handeling waarbij geen nieuw onderdeel wordt toegevoegd aan het product.
- De naam van het onderdeel of de bewerking wordt bij het lijnstukje geschreven. Onderdelen en bewerkingen in kleine letters, subassemblages in hoofdletters.
- Aan elk apart onderdeel of groep identieke onderdelen geven we een volgnummer. Zo geven we de montage van vier identieke bouten op eenvoudig te bereiken plaatsen met één lijnstukje in het schema aan. Wanneer we echter een van de vier bouten op een moeilijk toegankelijke plaats monteren, krijgt deze een apart nummer.
- Als een onderdeel onmiddellijk na het plaatsen in de samenstelling wordt bevestigd door een bewerking zoals inklikken of buigen, krijgen het onderdeel én de bewerking samen één nummer.
- Een subassemblage wordt als een apart onderdeel beschouwd en wordt net als een onderdeel aangevoerd en in samenstelling gemonteerd.
- Bewerkingen en processen worden in het montageschema aangegeven met ringetjes langs het lijnstuk (oooooo).

6.2.4 Analysefase

We maken bij het DFA-proces gebruik van vijf werkbladen (zie Figuren 6.4 tot 6.9):

- Werkblad 1: Tijden voor het pakken en plaatsen van producten.
- Werkblad 2: Tijden voor bewerkingen, processen en vastdraaien.
- Werkblad 3: Regels om 'verdachte' onderdelen op te sporen.
- Werkblad 4: Tabel met zeven kolommen voor registratie montage-plan.
- Werkblad 5: Evaluatieformulier met besparingen.

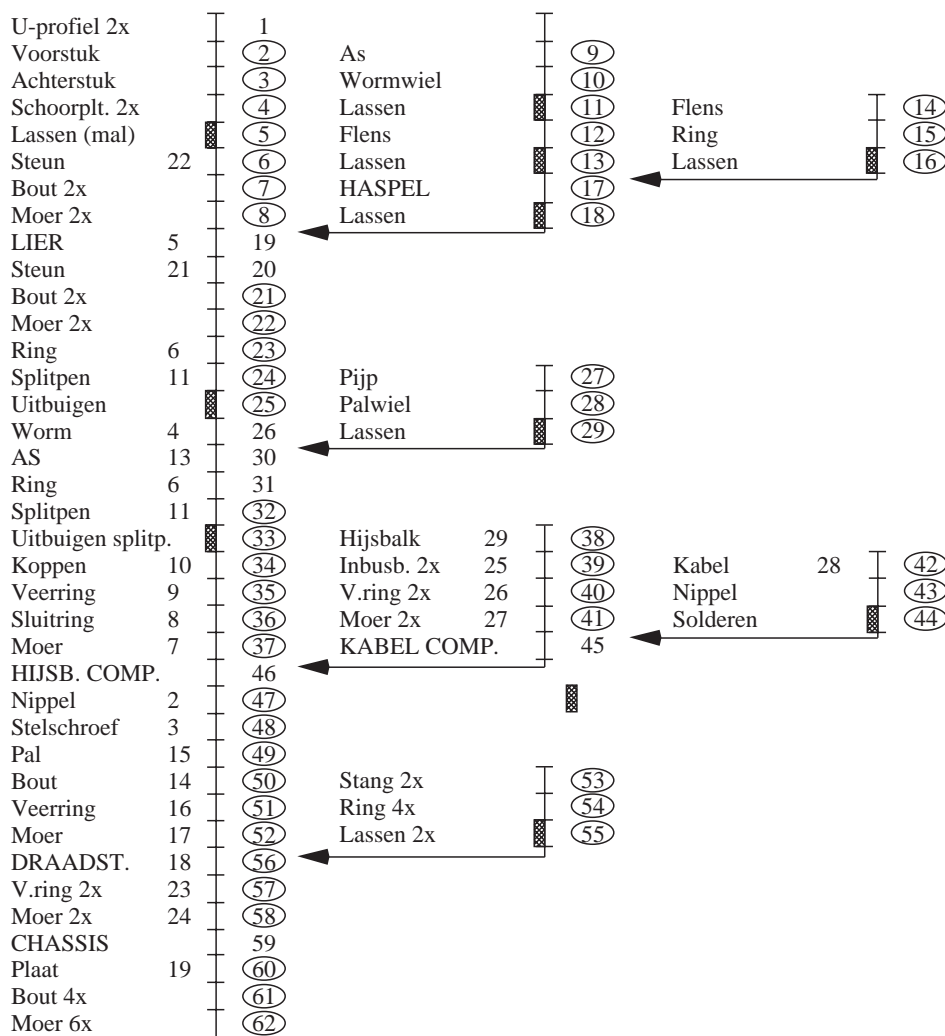


Figuur 6.1: Bandelier.

De werkbladen 1, 2 en 3 bevatten gegevens die tijdens de analysefase, bij het invullen van werkblad 4, geraadpleegd kunnen worden.

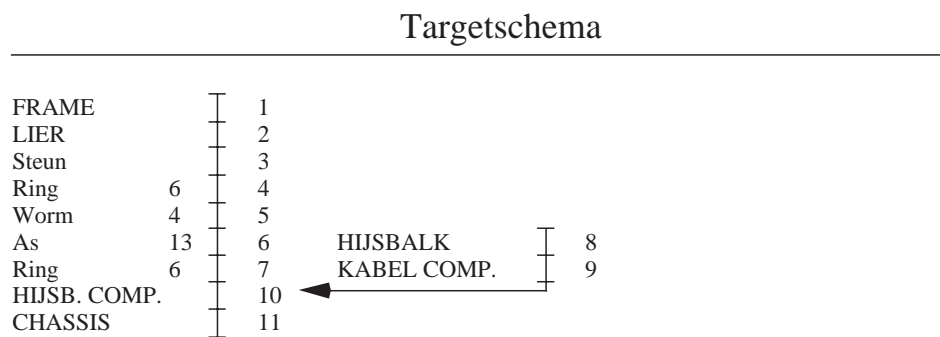
Werkblad 1: Tijden voor het pakken en plaatsen van producten Aan de hand van de tijdnormen van werkblad 1 worden op werkblad 4 de tijden ingevuld voor het uit de voorraad pakken en plaatsen van onderdelen. Voor producten is deze tijd afhankelijk van het gewicht en in mindere mate van de omvang. Voor bevestigingsonderdelen is deze tijd gebaseerd op gemiddelde praktijkwaarden. De tijd wordt uitgedrukt in perioden (1 periode is 36 sec., 1 uur telt 100 perioden). Bij gebruik van hulpgereedschap worden toeslagen toegekend zoals die op het werkblad zijn aangegeven. Ook bij montage aan een productielijn worden er vooraf vastgestelde toeslagen toegekend, afhankelijk van de loopafstand tussen samenstelling en onderdelenvoorraad.

Montageschema bandelier



Figuur 6.2: Bandelier montageschema.

Werkblad 2: Tijden voor bewerkingen, processen en vastdraaien Werkblad 2 bevat de meest voorkomende bewerkingen en processen. Tijden voor het lassen worden verkregen door de tijden van elke las afzonderlijk te bepalen en te sommeren. De tijden voor het bevestigen van moeren, nippels en dergelijke zijn afgeleid van de tijden bij het monteren met luchtsleutels. Lakbehandelingen blijven bij DFA buiten beschouwing. Ze spelen uiteraard wel



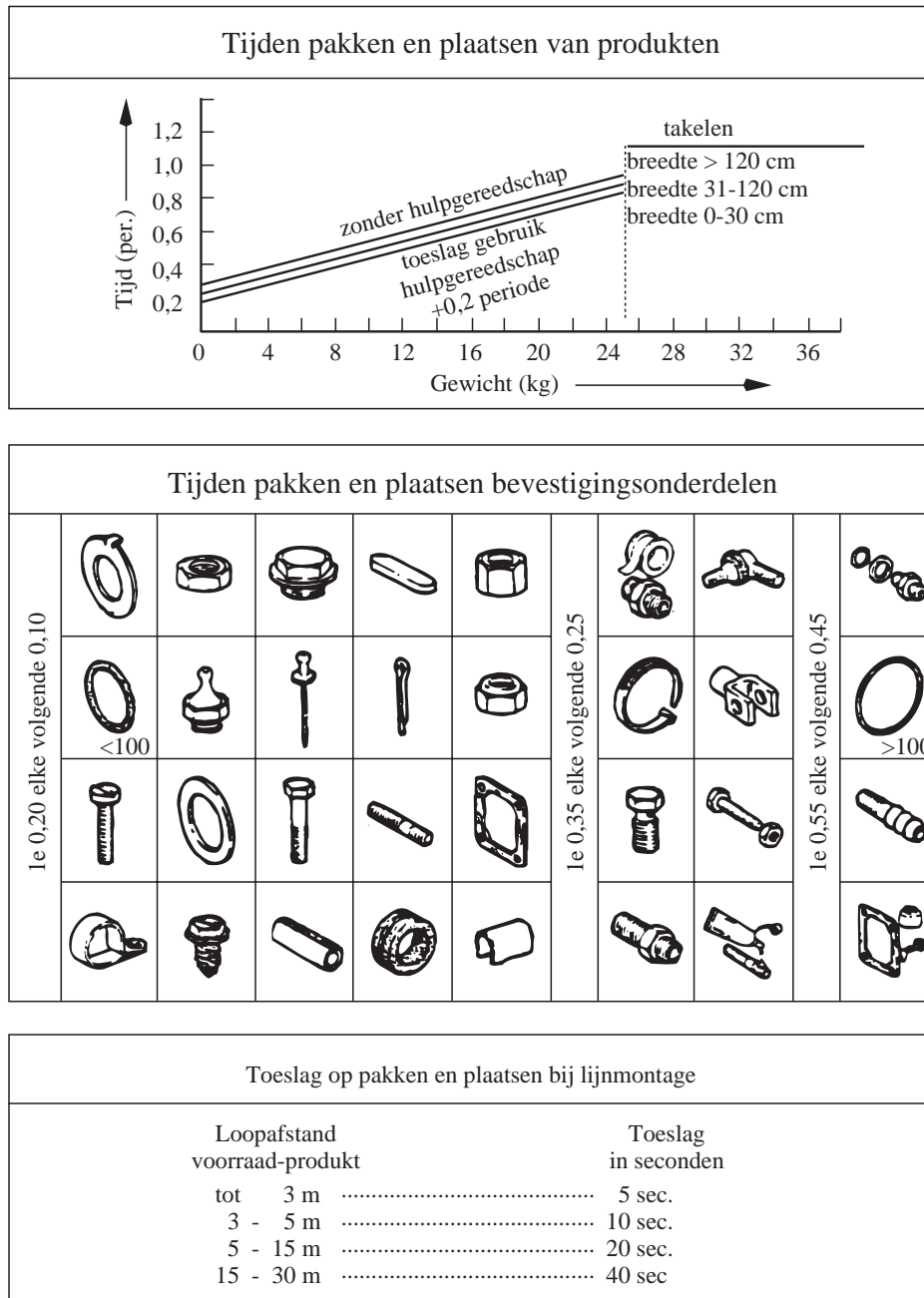
Figuur 6.3: Targetschema montageschema.

een rol bij het kostprijsstechnisch afwegen van alternatieven.

Werkblad 4: Tabel met 7 kolommen voor registratie montageplan Werkblad 4 wordt als volgt ingevuld: Kolom 1 (nummer): Nummer overeenkomstig de lijnstukken uit het montageschema. Kolom 2 (omschrijving): Naam onderdeel of omschrijving proces, waarbij drie regels gelden: 1. onderdelen en bewerkingen in kleine letters; 2. subassemblages in hoofdletters; 3. bewerkingen ongeveer twee centimeter van de kantlijn (zie voorbeeld werkblad 4). Kolom 3 (aantal identieke handelingen): Het aantal identieke montages of bewerkingen die achtereenvolgens plaatsvinden. Kolom 4 (tijd voor pakken en plaatsen): Aan de hand van de tijdnormen van werkblad 1 worden hier de tijden ingevuld voor het uit de voorraad pakken en plaatsen van onderdelen. Zonodig worden tijden geschat; deze worden gemarkeerd met de letter 'S'. De gevonden tijd wordt vermenigvuldigd met het aantal identieke handelingen uit kolom 3. Kolom 5 (montagetijd): Aan de hand van de tijdnormen van werkblad 2 worden hier de tijden ingevuld voor bewerking en processen en voor het vastdraaien van bevestigingsonderdelen. Indien nodig wordt een schatting gemaakt, gemarkeerd met de letter 'S'. De gevonden tijd wordt vermenigvuldigd met het aantal handelingen uit kolom 3.











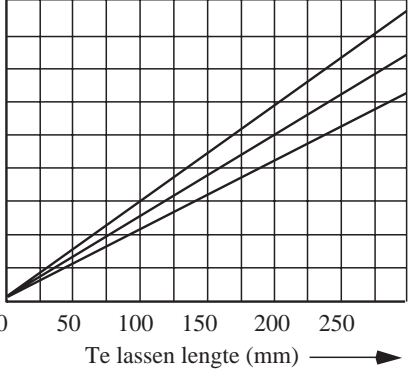













Kolom 6 (totale montagetijd): De som van de tijden in kolom 4 en 5. Kolom 7 (theoretische minimumaantal onderdelen): Aan de hand van de drie beslissingsvragen van werkblad 3 wordt van elk onderdeel nagegaan of het 'verdacht' is of niet. Een 'verdacht onderdeel' kan in theorie worden weggelaten door zijn functies te integreren in een ander onderdeel. Kolom 7 bevat het aantal uit kolom 3 verminderd met het aantal 'verdachte' onderdelen.

Werkblad 1



Figuur 6.4: Werkblad 1.

Werkblad 2

Tijden voor bewerking en processen (tijd in periode van 36 sec.)												
 <p>Doorsmeren met vet -aangedreven vooras, fusee 0,60 -lagers sleepas 1,00 -trekhaak 0,40</p>	 <p>Borgpen 0,20</p>	 <p>Buigen 0,20</p>	 <p>Dompelen in vloeistof 0,15</p>									
 <p>Indrijven met hamer/slagijzer</p>	 <p>Inpersen met handpers 0,20</p>	 <p>Klinken 0,20</p>	 <p>Lijmen 0,35</p>									
<p>Indrijflengte (mm)</p> <table border="1"> <tr> <td>0 - 20</td> <td>21 - 100</td> <td>101 - 100</td> </tr> <tr> <td>lichte passing 0,15</td> <td>0,30</td> <td>0,35</td> </tr> <tr> <td>(middel) zware passing 0,30</td> <td>0,60</td> <td>0,95</td> </tr> </table>	0 - 20	21 - 100	101 - 100	lichte passing 0,15	0,30	0,35	(middel) zware passing 0,30	0,60	0,95	 <p>Natrekken met momentsleutel 0,20</p>		
0 - 20	21 - 100	101 - 100										
lichte passing 0,15	0,30	0,35										
(middel) zware passing 0,30	0,60	0,95										
<p>Lassen</p> 												
-insmeren aanlegvlakken 0,15												
Tijden voor vastdraaien van bevestigingsonderdelen												
	0,20		0,20		0,25		0,25		0,30		0,30	
	0,35		0,35		0,40		0,40		0,45		M6-M12 0,80	
											M14-M16 1,75	

Figuur 6.5: Werkblad 2.

Werkblad 3

Beslissingsregels voor Design For Assembly:

1. Beweegt het onderdeel ten opzichte van naburige onderdelen zodanig dat de beweging niet kan worden gerealiseerd door elastische of plastische materiaaleigenschappen?
2. Moet het onderdeel om functionele redenen van een ander materiaal zijn dan reeds gemonteerde onderdelen?
3. Moet het onderdeel gescheiden zijn van alle andere onderdelen om montage van het produkt mogelijk te maken?

Indien het antwoord op alle vragen „nee” luidt, hebben we te maken met een „verdacht” onderdeel dat zich in principe leent voor integratie.

Figuur 6.6: Werkblad 3.

6.2.5 Provocatiefase

Het team stelt voor de tijden in de kolommen 4 en 5 van werkblad 4 een drempelwaarde vast. Dit gebeurt arbitrair op grond van de montagetijden die er uitspringen. Alle pak-, plaats- en montagetijden die langer duren dan hun respectievelijke drempelwaarde komen in aanmerking voor een poging tot verbetering of vereenvoudiging. Problemen worden nu als volgt in het montageschema aangegeven:

- bij 'verdachte' onderdelen volgnummer omcirkelen;
- arcering loodrecht op lijnstuk indien de tijd uit kolom 4 langer duurt dan de norm;
- balk met arcering richting lijnstuk indien de tijd uit kolom 5 langer duurt dan de norm aangeeft.

Na het aanwijzen van de knelpunten stellen we een target-montageboom op waaruit alle in theorie te integreren delen verwijderd zijn. Deze target-boom kan nog vereenvoudigd worden door middel van een functieanalyse van de resterende onderdelen (is het onderdeel nodig?). Vervolgens kunnen we doelgericht zoeken naar constructieve oplossingen die het target-schema zoveel mogelijk benaderen.

Werkblad 4

Design for assembly

Bandelier

1	2	3	4	5	6	7
Nr.	Omschrijving	aantal indent.	tijden wrkb.1	tijden wrkb.2	tot. tijd	th. min wrkb.3
38	<i>Hijsbalk</i> (stuknr. 29)	1	0,3		0,3	
39	<i>Inbusbout</i> (25)	2	0,3	0,4	0,7	
40	<i>Veerring</i> (26)	2	0,3		0,3	
41	<i>Moer</i> (27)	2	0,2	0,2	0,4	
42	<i>Kabel</i> (28)	1	0,3		0,3	
43	<i>Nippel</i>	1	0,2		0,2	
44	<i>Solderen</i>			S; 1	1	
45	<i>Kabel compleet</i>	1	0,3		0,3	1
46	<i>Hijsbalk compleet</i>	1	0,4		0,4	1
47	<i>Nippel</i> (2)	1	0,2		0,2	
48	<i>Stelschroef</i> (3)	1	0,2	0,2	0,4	
49	<i>Pal</i> (15)	1	0,2		0,2	
50	<i>Bout</i> (14)	1	0,2	0,2	0,4	
		15			5,1	2

Figuur 6.7: Werkblad 4.

6.2.6 Creatieve fase

Het zoeken naar oplossingen om de verdachte onderdelen van de bandelier kwijt te raken, leidt bijvoorbeeld tot de in Figuur 6.8 geschetste alternatieven. Een functieanalyse gaat nog een stapje verder en kan leiden tot integratie van onderdelen of tot geheel nieuwe concepten. Het totaal aantal onderdelen is in alle geschetste alternatieven drastisch teruggebracht. De ideeën die leiden tot deze constructies volgen niet logischerwijze uit het DFA-proces, maar ontstaan uit het denken over alternatieven voor de 'verdachte' onderdelen.

6.2.7 Evaluatiefase

In de evaluatiefase worden verschillende alternatieven met elkaar vergeleken en tegen elkaar afgewogen. Twee dimensies spelen daarbij een doorslaggevende rol: de functieervulling en de kostprijs. Weging vindt plaats op dezelfde wijze als bij waardeanalyse is omschreven. DFA is bedoeld om kosten te besparen; het is geen methode om kost wat kost minder onderdelen toe te passen. Als een constructie duurder of service-onvriendelijker wordt door onderdelen te integreren, heeft integratie geen zin. In feite is DFA een geforceerde manier van brainstormen.

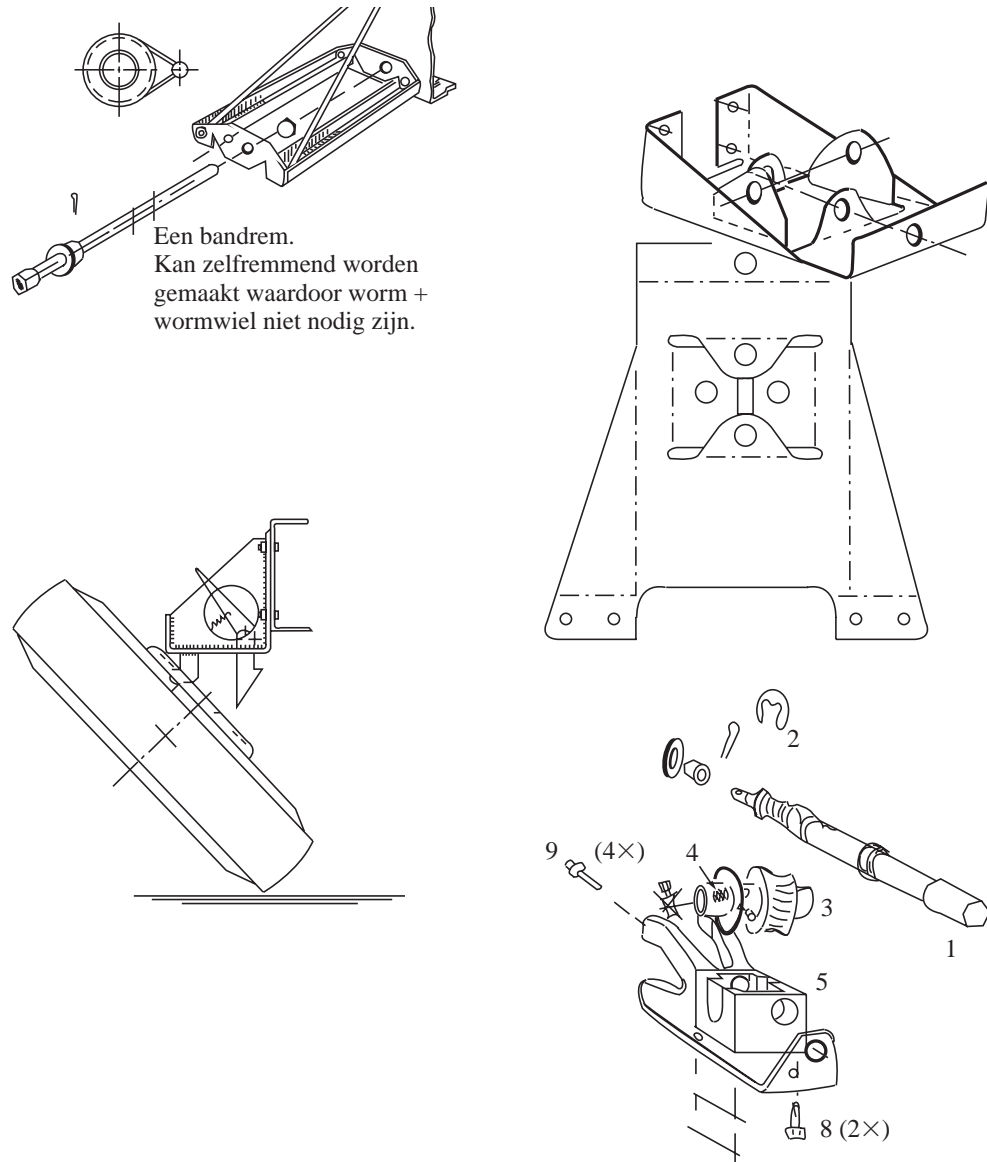
Met behulp van de tijdens de creatieve fase verkregen resultaten kan een nieuw montageschema worden opgesteld. Problemen die (nog) niet zijn opgelost moeten hierin worden aangegeven op dezelfde manier als bij stap 4, en zoals beschreven bij de analysefase in paragraaf 6.2.4.

6.2.8 Invoeringsfase

Ten behoeve van de presentatie van de resultaten van het DFA-team kunnen op werkblad 5 vermeld worden:

- besparing op het aantal onderdelen;
- besparing op het aantal processen;
- besparing op de montagetijd;
- besparing op de fabricagekostprijs.

Behalve de besparingen moeten op werkblad 5 ook de (nog) niet opgeloste problemen vermeld worden. Toepassing van DFA blijkt in de praktijk tot aanzienlijke besparingen te leiden. De besparingen die afgelopen jaren zijn gerealiseerd bij Philips, Volvo en DAF door toepassing van DFA op enkele tientallen producten, bedragen 20 tot 50% van het aantal onderdelen, het



Figuur 6.8: Geschetste alternatieven voor de bandlier.

aantal subassemblages en de kostprijs. Bij Ford USA wordt design for assembly regelmatig toegepast. Op een carburateur werd bijvoorbeeld een besparing op de kostprijs bereikt van 25%. Natuurlijk is DFA niet de enig zaligmakende methode om een product te optimaliseren. Wel is het een snelle methode vanwege de eenvoudige systematiek. Een vuistregel is dat bij het optimaliseren van een nieuw product ongeveer 75% van de mogelijke

Werkblad 5			
DFA-onderwerp: <i>Matrashouder</i>			
Datum: <i>December '88</i>			
Besparing	Oud	Nieuw	Besparings- percentage
Aantal onderdelen	13	3	77%
Aantal processen	3	1	66%
Montagetijd (S)	158	32	80%
Fabricagekostprijs	12,-	4,-	66%
Invoeren wijzigingen			
Ontwerpcapaciteit	6 dagen		
Beproevingcapaciteit	2 dagen		
Investerings	f 5.000,-		
Onopgeloste problemen:			
– <i>Tekening buiggereedschap maken.</i>			
– <i>Inserts in bedschaal.</i>			
– <i>Bevestiging aan hemel.</i>			
– <i>Optimaliseren montage.</i>			

Figuur 6.9: Werkblad 5.

besparingen reeds door DFA in kaart kan worden gebracht. Door middel van waardeanalyse kan het resterende deel verdiend worden. Maximaal rendement van de methode wordt verkregen indien het management de volgende aanbevelingen in acht neemt:

- zorg dat DFA structureel en niet ad hoc wordt ingepast;
- zorg dat de methode bekend raakt door middel van korte cursussen;
- pas ze consequent toe op alle producten;
- draag er zorg voor dat de procedure volledig doorlopen wordt;
- zorg dat de resultaten binnen het bedrijf openbaar worden.

Een checklist voor de assemblagefase is weergegeven in Figuur 6.10.

Assemblagefase	ja	nee
<ol style="list-style-type: none">1. Is het aantal onderdelen geminimaliseerd?2. Zijn de assemblagehandelingen eenvoudig?3. Is een (deels) automatische assemblage mogelijk?4. Is de toegankelijkheid van assemblagegereedschappen in orde?5. Zijn de onderdelen eenvoudig aan te voeren?6. Zijn de onderdelen eenvoudig te hanteren?7. Zijn de bramen verwijderd?8. Zijn de gebruikte materialen goed onderling verbindbaar met de gekozen verbindingsmethoden?9. Is er rekening gehouden met de losneembaarheid van verbindingen voor onderhoud en hergebruik?		

Figuur 6.10: Checklist voor de assemblagefase.